

AWS D1.1/D1.1M:2015

AWS authorized Spanish language version



Código de soldadura estructural – acero



*Traducción de la 2.a impresión,
agosto de 2016*



AWS D1.1/D1.1M:2015

**Documento original aprobado por el
Instituto Nacional Estadounidense de Normalización
28 de julio de 2015**

Código de soldadura estructural— Acero

23^{ra} edición

Reemplaza a la norma AWS D1.1/D1.1M:2010

Preparado por el
Comité D1 de Soldadura Estructural de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS)

Con la dirección del
Comité de Actividades Técnicas de la AWS

Documento original aprobado por la
Junta Directiva de la AWS

Resumen

Este código cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada realizada con aceros al carbono y de baja aleación utilizados comúnmente en la construcción. Las Secciones 1 a 9 constituyen un conjunto de reglas para la regulación de la soldadura en la construcción con acero. En este código se incluyen nueve anexos normativos y once anexos informativos. Con el documento también se incluye un comentario sobre el código.



ISBN: 978-0-87171-864-8

© 2015 by American Welding Society

Todos los derechos reservados

Impreso en Estados Unidos de América

Fe de erratas: segunda impresión, febrero de 2016

Derechos de fotocopiado. No podrá reproducirse ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos ni transmitirla en forma alguna (mecánica, fotocopia, grabación u otro), sin la previa autorización escrita del propietario de los derechos de autor.

La Sociedad Americana de Soldadura concede la autorización para fotocopiar artículos para el uso exclusivo interno, personal o educativo, o para el uso exclusivo interno, personal o educativo de determinados clientes, siempre que se abone el cargo adecuado al Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, tel: (978) 750-8400; Internet: <www.copyright.com>.

Descargo de responsabilidad

Esta publicación es una traducción del American National Standard original en inglés. La única versión aprobada por el American Standard Institute es la versión en inglés. Aunque se han llevado a cabo los máximos esfuerzos para crear una traducción precisa, AWS no garantiza la precisión o exactitud del texto, y AWS tampoco se hace responsable por ningún error, ambigüedad u omisión que aparezca en este documento como resultado de la traducción. El texto en inglés es la única versión oficial y será la cual deberá ser referida en caso de conflicto.

Disclaimer

This publication is translated from the original English version of an American National Standard. The only version approved by the American Standard Institute is the English language version. While reasonable efforts have been made to ensure an accurate translation, AWS makes no warranty as to precision or completeness, nor is AWS responsible for any errors, omission, or ambiguities appearing in this document as a result of the translation. The English text is the only official version and shall be referred to in case of dispute.

Declaración sobre el uso de las normas de la Sociedad Americana de Soldadura

Todas las normas (códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, métodos, clasificaciones y guías) de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) son normas de consenso voluntario desarrolladas según las reglas del Instituto Nacional Estadounidense de Normalización (ANSI). Cuando se incorporan o anexan normas nacionales estadounidenses de la AWS a documentos que están incluidos en las leyes y regulaciones estatales o federales o a las regulaciones de otros organismos gubernamentales, estas disposiciones tienen toda la autoridad que les otorga la ley. En tales casos, cualquier cambio a estas normas de la AWS debe ser aprobado por el organismo gubernamental con la jurisdicción legal correspondiente antes de que puedan formar parte de aquellas leyes y regulaciones. En todos los casos, estas normas tienen toda la autoridad legal que les otorga el contrato u otro documento que invoque las normas de la AWS. Cuando exista una relación contractual, los cambios a o las desviaciones de los requisitos de una norma de la AWS debe acordarse entre las partes vinculadas.

Las normas nacionales estadounidenses de la AWS se desarrollan mediante un desarrollo de normas de consenso que reúne a voluntarios que representan una diversidad de opiniones e intereses a fin de llegar a un consenso. Si bien la AWS administra el proceso y establece las reglas para fomentar ecuanimidad durante el desarrollo del consenso, no ensaya, evalúa ni verifica en forma independiente la exactitud de la información ni la solidez de cualquier criterio contenido en sus normas.

La AWS se exime de toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedades u otros daños de cualquier índole, ya sean especiales, indirectos, emergentes o compensatorios, que surjan directa o indirectamente de la publicación, el uso de o la confiabilidad en esta norma. Asimismo, la AWS no expresa garantía alguna en cuanto a la exactitud o integridad de cualquier información aquí publicada.

Al publicar y poner a disposición esta norma, la AWS no se compromete a prestar servicios profesionales o de otra índole para o en nombre de ninguna persona o entidad, ni tampoco se compromete a realizar tarea alguna que cualquier persona o entidad adeude a terceros. Cualquier persona que use estos documentos debe confiar en su propio criterio o, según corresponda, buscar el asesoramiento de un profesional competente a fin de determinar el ejercicio de las debidas precauciones en cualquier circunstancia. Se da por sentado que el uso de esta norma y sus disposiciones se confían a personal debidamente calificado y competente.

Esta norma puede ser reemplazada por la publicación de nuevas ediciones. Además, la norma puede ser corregida mediante la publicación de enmiendas o erratas, o bien complementarse con la publicación de apéndices. La información sobre las ediciones más recientes de las normas de la AWS, incluso las enmiendas, erratas y apéndices se publica en la página web de la AWS (www.aws.org). Los usuarios deben asegurarse de tener la edición, las enmiendas, las erratas y los apéndices más recientes.

La publicación de esta norma no autoriza la violación de ninguna patente o nombre comercial. Los usuarios de esta norma deben aceptar todas las responsabilidades por la violación de cualquiera de los puntos de patentes o nombres comerciales. La AWS se exime de toda responsabilidad por la violación de patentes o nombres comerciales de productos que resulte de la utilización de esta norma.

La AWS no controla, supervisa ni exige el cumplimiento de esta norma, ni está facultada para hacerlo.

En ocasiones, el texto, las tablas o las figuras se imprimen incorrectamente, lo que constituye una errata. Cuando se descubren, dichas erratas se publican en la página web de la AWS (www.aws.org).

Las interpretaciones oficiales de cualquiera de los requisitos técnicos de esta norma se podrán obtener únicamente mediante el envío de una solicitud escrita al comité técnico correspondiente. Dichas solicitudes deben dirigirse a la Sociedad Americana de Soldadura, a la atención de: Managing Director, Technical Services Division, 8669 NW 36 St, # 130, Miami, FL 33166 (véase Anexo N). Con respecto a las consultas técnicas formuladas sobre las normas de la AWS, se pueden ofrecer opiniones verbales sobre dichas normas. Estas opiniones se ofrecen sólo como una colaboración con los usuarios de esta norma y no constituyen asesoramiento profesional. Tales opiniones representan únicamente la opinión personal de las personas que las ofrecen. Estas personas no hablan en nombre de la AWS, como así tampoco estas opiniones verbales constituyen opiniones o interpretaciones oficiales o no oficiales de la AWS. Además, las opiniones verbales son informales y no se deben usar como reemplazo de una interpretación oficial.

Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por parte del Comité D1 de Soldadura Estructural de la AWS. Se deberá revisar cada cinco años y, en caso contrario, se deberá ratificar o retirar. Se agradecerá cualquier comentario (recomendaciones, adiciones o supresiones) así como cualquier otra información pertinente que pueda ser útil para mejorar esta norma, y se deben enviar a la sede de la AWS. Tales comentarios recibirán atenta consideración por parte del Comité D1 de Soldadura Estructural de la AWS y el autor de los comentarios recibirá información acerca de la respuesta del Comité a dichos comentarios. Se invita a asistir a las reuniones del Comité D1 de Soldadura Estructural de la AWS para expresar verbalmente sus comentarios. Los procedimientos para la apelación de una decisión adversa en relación con dichos comentarios figuran en las Reglas de funcionamiento del Comité de Actividades Técnicas. Se puede obtener una copia de estas reglas en la Sociedad Americana de Soldadura, 8669 NW 36 St, # 130, Miami, FL 33166.

Dedicatoria

El Comité D1 de Soldadura Estructural y el Subcomité D1Q de Estructuras de Acero dedican esta 23ª edición de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, a Keith Landwehr. Durante sus 15 años de servicio, Keith contribuyó con sus 30 años de experiencia al desarrollo de las publicaciones D1.1, *Código de soldadura estructural—Acero*, D1.4, *Código de soldadura estructural—Acero reforzado*, D1.8, *Código de soldadura estructural—Complemento sísmico* y otras normas nacionales. La comunidad D1 extrañará por siempre a Keith por su compromiso, pero por sobre todo, por su amistad y sabios consejos, y esperamos que su dedicación inspire a la comunidad de soldadura estructural a alcanzar la excelencia, la cual Keith logró durante sus años de servicio.

Personal

Comité D1 de Soldadura Estructural de la AWS

A. W. Sindel, presidente	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>
T. L. Niemann, vicepresidente	<i>Departamento de Transporte de Minnesota</i>
R. D. Medlock, 2.º vicepresidente	<i>High Steel Structures, LLC</i>
J. Molin, secretaria	<i>Sociedad Americana de Soldadura (AWS)</i>
F. G. Armao	<i>The Lincoln Electric Company</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
T. M. Burns	<i>AlcoTec Wire Corporation</i>
H. H. Campbell, III	<i>Pazuzu Engineering</i>
R. D. Campbell	<i>Bechtel</i>
R. B. Corbit	<i>CB&I</i>
M. A. Grieco	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company (Retirado)</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures, LLC</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
J. Lawmon	<i>American Engineering & Manufacturing, Incorporated</i>
N. S. Lindell	<i>Oregon Iron Works, Incorporated</i>
D. R. Luciani	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid and Associates, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>AMEC E&I</i>
D. K. Miller	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
T. J. Schlafly	<i>American Institute of Steel Construction</i>
D. R. Scott	<i>PSI, Incorporated (Retirado)</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
R. W. Stieve	<i>Parsons Corporation</i>
M. M. Tavarani	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts (Retirado)</i>
P. Torchio, III	<i>Williams Enterprises of Georgia, Incorporated</i>
D. G. Yantz	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>

Asesores del Comité D1 de Soldadura Estructural

W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
E. M. Beck	<i>AMEC</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
R. A. Dennis	<i>Consultor</i>
G. L. Fox	<i>Consultor</i>
H. E. Gilmer	<i>Tampa Tank-Florida Structural Steel</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill and Associates, Incorporated</i>

Asesores del Comité D1 de Soldadura Estructural (Continúa)

M. L. Hoitomt	<i>Hoitomt Consulting Services</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post & Associates, Incorporated</i>
K. K. Verma	<i>Consultor</i>
B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>

Subcomité D1Q de Acero de la AWS

T. Schlafly, presidente	<i>Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)</i>
P. Torchio, III, vicepresidente	<i>Williams Enterprises of Georgia, Incorporated</i>
J. Molin, secretaria	<i>Sociedad Americana de Soldadura (AWS)</i>
M. Bernasek	<i>C-spec</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
J. W. Cagle	<i>C P Buckner Steel Erection, Incorporated</i>
H. H. Campbell, III	<i>Pazazu Engineering</i>
W. P. Capers	<i>Walt Disney World Company</i>
R. V. Clarke	<i>TEAM Industrial Services, Incorporated</i>
D. A. Dunn	<i>PSI, Incorporated (Retirado)</i>
M. E. Gase	<i>Midwest Steel Incorporated</i>
W. S. Houston	<i>Pro-Weld Stud Welding Associates</i>
M. J. Jordan	<i>Johnson Plate and Tower Fabrication</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company (Retirado)</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel Company</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures, LLC</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
K. Landwehr	<i>Consultor</i>
D. R. Luciani	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
R. P. Marslender	<i>Kiewit Offshore Services, Ltd.</i>
G. S. Martin	<i>GE Oil & Gas</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>AMEC E&I</i>
J. I. Miller	<i>Chevron</i>
S. P. Moran	<i>Weir American Hydro</i>
J. C. Nordby	<i>Entergy</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
D. R. Scott	<i>PSI, Incorporated (Retirado)</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>
R. W. Stieve	<i>Parsons Corporation</i>
S. J. Thomas	<i>Consultor</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Asesores del Comité D1Q de Acero

N. J. Altebrando	<i>STV, Incorporated</i>
U. W. Aschemeier	<i>Subsea Global Solutions</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
H. A. Chambers	<i>SNH Market Consultants</i>
H. E. Gilmer	<i>Tampa Tank-Florida Structural Steel</i>
M. A. Grieco	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts</i>
J. Guili	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>

Asesores del Comité D1Q de Acero (Continúa)

C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
R. L. Holdren	<i>Arc Specialities</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski and Masters, Incorporated</i>
W. Jaxa-Rozen	<i>Bombardier Transportation</i>
J. E. Koski	<i>Stud Welding Products, Incorporated</i>
N. S. Lindell	<i>Oregon Iron Works</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid and Associates, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, LLC</i>
D. K. Miller	<i>The Lincoln Electric Company</i>
J. A. Packer	<i>Universidad de Toronto</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
M. M. Tayarani	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts (Retirado)</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Tech College</i>
K. K. Verma	<i>Consultor</i>
P. Workman	<i>Tru-Weld</i>
D. A. Wright	<i>Wright Welding Technologies</i>
D. G. Yantz	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>

Grupo de Trabajo de Diseño del Subcomité D1Q

W. P. Capers, presidente	<i>Walt Disney World Company</i>
T. Green, vicepresidente	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
D. B. Ferrell	<i>Ferrell Engineering, Incorporated</i>
W. Jaxa-Rozen	<i>Bombardier Transportation</i>
M. J. Jordan	<i>Johnson Plate and Tower Fabrication</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel Company</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
J. M. Ocel	<i>Federal Highway Administration</i>
J. A. Packer	<i>Universidad de Toronto</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
T. J. Schlafly	<i>Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>

Asesores del Grupo de Trabajo de Diseño del Subcomité D1Q

O. W. Blodgett	<i>The Lincoln Electric Company (Retirado)</i>
J. Desjardins	<i>Bombardier Transportation</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Grupo de Trabajo de Precalificación del Subcomité D1Q

D. R. Luciani, copresidente	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>
P. Torchio, III, copresidente	<i>Williams Enterprises of Georgia, Incorporated</i>
C. Zanfir, vicepresidente	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>
W. J. Bell	<i>Atlantic Testing Laboratories</i>
H. H. Campbell, III	<i>Pazuzu Engineering</i>
K. Landwehr	<i>Consultor</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>

Grupo de Trabajo de Precalificación del Subcomité D1Q (Continúa)

J. I. Miller	<i>Chevron</i>
S. P. Moran	<i>Weir American Hydro</i>
J. C. Norby	<i>Entergy</i>
R. E. Shaw, Jr.	<i>Steel Structures Technology Center, Incorporated</i>
A.W. Sindel	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>

Asesor del Grupo de Trabajo de Precalificación del Subcomité D1Q

J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Grupo de Trabajo de Calificación del Subcomité D1Q

T. C. Myers, presidente	<i>Consultor</i>
S. J. Findlan, vicepresidente	<i>CB&I Power</i>
M. Bernasek	<i>C-spec</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
M. G. Collins	<i>ConocoPhillips Company</i>
M. W. Elsemore	<i>The Boeing Company</i>
M. J. Harker	<i>Idaho National Laboratory</i>
R. L. Holdren	<i>Arc Specialties</i>
J. J. Kenney	<i>Shell International E & P</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company (Retirado)</i>
R. P. Marslender	<i>Kiewit Offshore Services, Ltd.</i>
D. W. Meyer	<i>ESAB Welding & Cutting Products</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>
D. A. Stickel	<i>Caterpillar, Incorporated</i>
B. M. Toth	<i>CB&I</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Technical College</i>

Asesores del Grupo de Trabajo de Calificación del Subcomité D1Q

D. R. Lawrence II	<i>Consultor</i>
G. S. Martin	<i>GE-Oil & Gas</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
K. K. Verma	<i>Consultor</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>
D. G. Yantz	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>

Grupo de Trabajo de Fabricación del Subcomité D1Q

H. E. Gilmer, presidente	<i>Tampa Tank-Florida Structural Steel</i>
J. I. Miller, vicepresidente	<i>Chevron</i>
S. E. Anderson	<i>HRV Conformance Verification</i>
W. J. Bell	<i>Atlantic Testing Laboratories</i>
H. H. Campbell, III	<i>Pazuzu Engineering</i>
R. V. Clarke	<i>TEAM Industrial Services, Incorporated</i>
M. E. Gase	<i>Midwest Steel, Incorporated</i>
M. A. Grieco	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts</i>
C. Hanson	<i>ADF Group, Incorporated</i>
R. L. Holdren	<i>Arc Specialties</i>
C. W. Holmes	<i>Modjeski & Masters, Incorporated</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company (Retirado)</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures, LLC</i>

Grupo de Trabajo de Fabricación del Subcomité D1Q (Continúa)

V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
K. Landwehr	<i>Consultor</i>
E. S. LaPann	<i>Consultor</i>
C. A. Mankenberg	<i>Shell International E & P</i>
G. S. Martin	<i>GE-Oil & Gas</i>
E. S. Mattfield	<i>Stonebridge Steel Erection</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, LLC</i>
J. E. Mellinger	<i>Pennoni Associates, Incorporated</i>
R. L. Mertz	<i>Alta Vista Solutions</i>

Asesores del Grupo de Trabajo de Fabricación del Subcomité D1Q

W. G. Alexander	<i>WGAPE</i>
B. Anderson	<i>Molex Incorporated</i>
J. W. Cagle	<i>C. P. Buckner Steel Erection, Incorporated</i>
R. A. Dennis	<i>Consultor</i>
G. L. Fox	<i>Consultor</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill & Associates</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid & Associates, Incorporated</i>
J. E. Myers	<i>Consultor</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post and Associates, Incorporated</i>
T. J. Schlafly	<i>Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)</i>
J. Sokolewicz	<i>Trinity Rail</i>
R. H. R. Tide	<i>Wiss, Janney, Elstner Associates</i>
K. K. Verma	<i>Consultor</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Grupo de Trabajo de Inspección del Subcomité D1Q

G. S. Martin, presidente	<i>GE-Oil & Gas</i>
P. G. Kinney, vicepresidente	<i>Acute Technological Services</i>
S. E. Anderson	<i>HRV Conformance Verification</i>
U. W. Aschemeier	<i>Subsea Global Solutions</i>
R. V. Clarke	<i>Team Industrial Services, Incorporated</i>
J. M. Davis	<i>Davis NDE-Olympus NDT</i>
D. A. Dunn	<i>PSI, Incorporated (Retirado)</i>
K. R. Fogleman	<i>Valmont Industries</i>
M. E. Gase	<i>Midwest Steel, Incorporated</i>
H. E. Gilmer	<i>Tampa Tank-Florida Structural Steel</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
P. T. Hayes	<i>GE Inspection Technologies LP</i>
R. K. Holbert	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>
S. W. Kopp	<i>High Steel Structures, Incorporated</i>
E. S. LaPann	<i>Consultor</i>
N. S. Lindell	<i>Oregon Iron Works, Incorporated</i>
C. A. Mankenberg	<i>Shell International E & P</i>
E. S. Mattfield	<i>Stonebridge Steel Erection</i>
J. E. Mellinger	<i>Pennoni Associates, Incorporated</i>
J. Merrill	<i>AMEC E&I</i>
R. L. Mertz	<i>Alta Vista Solutions</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
D. R. Scott	<i>PSI, Incorporated (Retirado)</i>
D. G. Yantz	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>

Asesores del Grupo de Trabajo de Inspección del Subcomité D1Q

E. M. Beck	<i>MACTEC Engineering & Consulting</i>
S. M. Duke	<i>Departamento de Transporte de Florida</i>
G. J. Hill	<i>G. J. Hill & Associates</i>
J. H. Kiefer	<i>ConocoPhillips Company (Retirado)</i>
D. L. McQuaid	<i>D. L. McQuaid & Associates, Incorporated</i>
K. J. Steinhagen	<i>PSI, Incorporated</i>
R. W. Stieve	<i>Parsons Corporation</i>
T. W. Studebaker	<i>St. Louis Testing</i>
K. K. Verma	<i>Consultor</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Subcomité del Grupo de Trabajo D1Q de Soldadura de Pernos

W. S. Houston, presidente	<i>Pro-Weld Stud Welding Associates</i>
U. W. Aschemeier, vicepresidente	<i>Subsea Global Solutions</i>
H. A. Chambers	<i>Consultor</i>
D. A. Dunn	<i>PSI, Incorporated</i>
J. Guili	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>
B. C. Hobson	<i>Image Industries</i>
J. E. Koski	<i>Stud Welding Products, Incorporated</i>
D. R. Luciani	<i>Oficina Canadiense de Soldadura (CWB)</i>
C. W. Makar	<i>Cox Industries</i>
S. P. Moran	<i>PDM Bridge, LLC</i>
P. Torchio, III	<i>Williams Enterprises of Georgia, Incorporated</i>
M. M. Tayarani	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts (Retirado)</i>
J. L. Uebele	<i>Waukesha County Technical College</i>
P. Workman	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>

Asesores del Grupo de Trabajo de Soldadura de Pernos del Subcomité D1Q

C. B. Champney	<i>Nelson Stud Welding</i>
R. D. Campbell	<i>Bechtel</i>
J. Guili	<i>Tru-Weld Equipment Company</i>
S. Schraff	<i>Nelson Stud Welding</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Grupo de Trabajo Permanente de Tubulares de D1Q

J. J. Kenney, presidente	<i>Shell International E & P</i>
M. A. Grieco, vicepresidente	<i>Departamento de Transporte de Massachusetts</i>
E. L. Bickford	<i>Acute Technological Services</i>
R. V. Clarke	<i>TEAM Industrial Services, Incorporated</i>
D. B. Ferrell	<i>Ferrell Engineering, Incorporated</i>
R. B. Fletcher	<i>Atlas Tube</i>
P. A. Huckabee	<i>Gill Engineering Associates, Incorporated</i>
L. A. Kloiber	<i>LeJeune Steel, consultor</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
P. W. Marshall	<i>MHP Systems Engineering</i>
J. Mayne	<i>Valmont Industries, Incorporated</i>
J. A. Packer	<i>Universidad de Toronto</i>
R. Sause	<i>ATLSS Center Lehigh University</i>

Asesores del Grupo de Trabajo Permanente de Tubulares de D1Q

J. J. Edwards	<i>DOT Quality Services</i>
M. J. Mayes	<i>Mayes Testing Engineers, Incorporated</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, LLC</i>
T. L. Niemann	<i>Departamento de Transporte de Minnesota</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
T. J. Schlafly	<i>Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>
J. L. Warren	<i>CB&I</i>

Grupo de Trabajo Permanente de Nuevos Materiales de D1M

J. L. Warren, presidente	<i>CB&I</i>
T. J. Schlafly, vicepresidente	<i>Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)</i>
W. P. Capers	<i>Walt Disney World Company</i>
D. A. Koch	<i>Bechtel National, Incorporated</i>
V. Kuruvilla	<i>Genesis Quality Systems</i>
R. D. Medlock	<i>High Steel Structures, LLC</i>
D. C. Phillips	<i>Hobart Brothers Company</i>
J. L. Schoen	<i>Nucor-Yamato Steel</i>

Asesores del Grupo de Trabajo Permanente de Nuevos Materiales de D1M

B. M. Butler	<i>Walt Disney World Company</i>
C. W. Hayes	<i>The Lincoln Electric Company</i>
M. L. Hoitomt	<i>Consultor</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
J. W. Post	<i>J. W. Post & Associates, Incorporated</i>
D. D. Rager	<i>Rager Consulting, Incorporated</i>
D. Rees-Evans	<i>Steel Dynamics</i>
A. W. Sindel	<i>Alstom Power Steam, Incorporated</i>

Prefacio

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

La primera edición del *Code for Fusion Welding and Gas Cutting in Building Construction* (*Código de soldadura por fusión y corte por gas para la construcción de edificios*) fue publicada por la Sociedad Americana de Soldadura en 1928 y denominada Código 1 Parte A; fue revisada y reeditada en 1930 y 1937 bajo el mismo título. Fue revisada nuevamente en 1941 y denominada D1.0. La versión D1.0 se revisó nuevamente en 1946, 1963, 1966 y en 1969. La edición de 1963 publicó una versión con enmiendas en 1965 y la edición de 1966 publicó una versión con enmiendas en 1967. El código se combinó con la versión D2.0, *Specifications for Welding Highway and Railway Bridges* (*Especificaciones para soldaduras de puentes carreteros y ferroviarios*) en 1972, recibió la denominación D1.1 y se cambió el título a *Código de soldadura estructural de la AWS*. La versión D1.1 se revisó nuevamente en 1975, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 y en 2010. En 2011 se publicó una segunda edición de la versión D1.1:2010. Desde 1972 hasta 1988 el código D1.1 cubrió las soldaduras de edificios y puentes. En 1988, AWS publicó la primera edición de AASHTO/AWS D1.5, *Bridge Welding Code* (*Código de soldadura para puentes*); simultáneamente, el código D1.1 cambió sus referencias de edificios y puentes a estructuras cargadas estáticamente y estructuras cargadas dinámicamente, respectivamente, para que el código fuera aplicable a un rango más amplio de aplicaciones de estructuras. Después de publicar la edición de 2010, se decidió que el *Código de Soldadura estructural — Acero* de la AWS se publicará en un ciclo de revisión de cinco años en lugar de un ciclo de revisión de dos años. Esto se hizo con el fin de sincronizar el ciclo de publicación del Código de Soldadura Estructural — Acero de la AWS con los ciclos de publicación de la Steel Building Specification (Especificación para Edificaciones en Acero) y el International Building Code (Código Internacional de Construcción) de la AISC. La presente edición de 2015 corresponde a la 23.ª edición en inglés de D1.1.

El texto subrayado en las secciones, subsecciones, tablas, figuras o formularios indica un cambio con respecto a la edición de 2010. Una línea vertical en el margen de una tabla o figura también indica un cambio con respecto a la edición de 2010.

El siguiente es un resumen de los cambios técnicos más importantes que aparecen en D1.1/D1.1M:2015:

La edición 2015 del código ha sido reorganizada. Las disposiciones, tablas y figuras con respecto a estructuras tubulares que anteriormente estaban ubicadas a lo largo del código ahora están dentro de la Sección 9 titulada “Estructuras Tubulares”. La reorganización demandó numerosos cambios de referencias y la renumeración de las subsecciones, tablas y figuras. Muchas de las tablas en la Sección 4 tenían disposiciones para placas además de conductos o tuberías. La tablas se dividieron únicamente para incluir las placas si aparecían en la Sección 4 y los conductos o tuberías si aparecían en la Sección 9. Debido a esta división en la información de las tablas también hubo muchos cambios en las notas al pie definidas en las tablas.

Las secciones 1, 7 y 8 solo tuvieron leves modificaciones como consecuencia de la reorganización. Sin embargo, las secciones 2, 3, 4, 5 y 6 tuvieron grandes modificaciones como consecuencia de la reorganización.

Resumen de los cambios

Sección/Tabla/ Figura/Anexo	Modificación
Sección 2	El cambio más significativo en la Sección 2 con respecto a la edición 2010 es que la Parte D titulada “Requisitos específicos para el diseño de conexiones tubulares (Cargadas estática o cíclicamente)” fue reubicada en la Sección 9.
2.4.2.7	Se agregó vocabulario específico con respecto al cálculo de la garganta efectiva de una combinación de soldadura en ranura de bisel con PJP y soldadura en filete.

Resumen de los cambios (Continúa)

Sección/Tabla/ Figura/Anexo	Modificación
2.9.3.5	Se agregaron disposiciones para las soldaduras envolventes en los lados opuestos de un plano común para permitir la soldadura para sello.
Tabla 2.5	Los casos y las figuras de curvas de fatiga se revisaron para que concuerden con el estándar AISC 360.
3.7.4	Las disposiciones con respecto al gas de protección se revisaron para permitir el uso de electrodos clasificados para AWS A5.36.
3.13.2.1	Subsección nueva que proporciona las condiciones bajo las que se permite usar material de respaldo que no sea de acero en especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) precalificadas.
Tabla 3.1	Tabla modificada reposicionando los metales de aporte en los grupos correspondientes en la Tabla 3.2. Se actualizó la lista de metales base que se permiten en la WPS precalificada y se corrigió el grupo de algunos de los grados del metal base.
Tabla 3.2	Tabla nueva para los requisitos de metales de aporte con información que anteriormente figuraba en la Tabla 3.1 con el agregado de una clasificación para A5.36 para electrodos de acero al carbono y de baja aleación para FCAW y electrodos metálicos con núcleo para los procesos GMAW.
Tabla 3.3	(Anteriormente Tabla 3.2) Se revisaron los metales base para que se correspondan con aquellos de la Tabla 3.1
Tabla 3.4	(Anteriormente Tabla 3.3) Se agregó la especificación AWS A5.36.
Tabla 3.7	(Anteriormente Tabla 3.6) Aclaración de una variable de parámetro SAW.
Notas para las Figuras 3.2 y 3.3	Se agregó la nota "O" que permite diversas orientaciones de los elementos conectados en la ranura con penetración de junta completa (CJP), las juntas en T y en esquina.
Figura 3.5	Figura nueva para los detalles de la junta de soldadura filete precalificada.
Figura 3.6	Figura nueva para la ranura con penetración de junta completa (CJP), las juntas en T y en esquina.
4.12.3	Reestructurada para una mejor lectura.
4.21	(Anteriormente 4.25, 4.26, 4.30) "Alcance de la calificación" reorganizada.
4.27.7	(Anteriormente 4.36.7) Aclaración de los requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) cuando se ensayan probetas de tamaño reducido.
Tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.10 y 4.11	La información de las tablas que hace referencia a los conductos y tuberías ahora aparece en las tablas de la Sección 9.
Tablas 4.5, 4.6 y 4.9	Se agregaron disposiciones para los electrodos clasificados para AWS A5.36.
5.3.2.5	Se agregó vocabulario y una aclaración con respecto a los requisitos de respaldo cuando se suelda con electrodos de bajo hidrógeno para aceros ASTM A514 y A517.
5.3.4	Se reorganizó la lista de especificaciones de metales de aporte de la AWS para GMAW y FCAW y además se agregó la especificación AWS A5.36.
5.6	Aclaración del vocabulario con respecto a las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasada.
5.7	Se trasladó el vocabulario con respecto al ranurado con oxígeno de las subsecciones 5.14.6 y 5.25.
5.8.1	Revisada para su aclaración.
5.8.3	Revisada para eliminar el estándar ASTM A709 100 (690) y 100W (690W) y para incluir el estándar ASTM A709 grado HPS 100W [HPS 690W] por ASTM.
5.9	(Anteriormente 5.9 titulado "Respaldo, gas de respaldo o insertos", se eliminó) (Anteriormente 5.10) Reestructurada para su aclaración.

Resumen de los cambios (Continúa)

Sección/Tabla/ Figura/Anexo	Modificación
5.9.1.3	(Anteriormente 5.10.3) El “espesor del respaldo” se revisó para crear un requisito general para que el respaldo de acero sea un de un espesor suficiente para impedir que se derrita. Los espesores explícitos anteriormente requeridos se movieron al comentario a modo de recomendaciones.
5.14.1–5.14.4	(Anteriormente 5.15) Los requisitos de limpieza del sustrato se revisaron de manera importante.
5.14.6	(Anteriormente 5.15.2) Revisada para aclarar cuándo se permite el ranurado con oxígeno.
5.17.2	(Anteriormente 5.18.2) Revisada para su aclaración con respecto a cuándo las ubicaciones de la profundidad del alma desde las bridas de tracción de las vigas se consideran fuera de la zona de tracción.
5.19	(Anteriormente 5.20) Se revisaron las disposiciones con respecto a la ubicación y secuencia de los empalmes de los miembros y elementos.
5.25	(Anteriormente 5.26) Revisada para limitar el ranurado con oxígeno a los aceros como fueron laminados.
Tabla 5.8	(Anteriormente Tabla 5.9) Nota c revisada para aclarar cuándo las soldaduras están exentas de refuerzos y limitaciones de convexidad,
Tabla 5.9	(Anteriormente Tabla 5.10) La convexidad mínima admisible se eliminó del Programa D para las juntas en esquina exteriores. La nota al pie b de la tabla se reformuló con respecto a la restricción sobre la convexidad y se reemplazó con una nota con respecto a la concavidad y ahora se aplica a los Programas B y D.
6.4.2	Revisada para aclarar qué deben demostrar un soldador, un operario de soldadura o un soldador de punteado cuando su trabajo pareciera estar por debajo de los requisitos de este código.
6.4.3	Revisada para incluir al soldador de punteado.
6.10	Revisada para reemplazar los “requisitos aplicables” con los “criterios de aceptación.”
6.11	Revisada para eliminar el estándar ASTM A709 grados 100 y 100W e incluir el estándar ASTM A709 grado HPS 100W [HPS 690W].
6.21.1	(Anteriormente 6.22.1) Se agregó una referencia a la nueva Tabla 6.8 que muestra los requisitos de calificación y calibración.
6.24.2	Revisada para aclarar cuándo deben realizarse la calibración para sensibilidad y el barrido horizontal.
Tabla 6.1	Revisada para eliminar el estándar ASTM A709 grados 100 y 100W e incluir el estándar ASTM A709 grado HPS 100W [HPS 690W].
Tablas 6.4 y 6.5	Revisadas para eliminar las disposiciones sobre estructuras tubulares, que ahora están en las tablas de la Sección 9.
Tabla 6.8	Se agregó una nueva tabla para aclarar los requisitos de calificación y calibración de equipos de UT.
Sección 9	Las disposiciones sobre estructuras tubulares extraídas del código de 2010 prácticamente no se modificaron cuando se reubicaron en la Sección 9.
9.6.1.6	(Anteriormente 2.25.1.6) La definición de I_2 se revisó para eliminar la palabra “cordón.”
9.18	(Anteriormente 4.21) Revisada para aclarar qué tipo de soldaduras no requieren calificación tubular.
Tabla 9.1	Tabla nueva desarrollada a partir de las disposiciones de estructuras tubulares que están en la Tabla 2.5 de la edición anterior. El contenido pertinente a los miembros no tubulares quedó en la Tabla 2.5.
Tablas 9.9, 9.10, 9.11, 9.12, 9.13 y 9.14	Tabla nueva desarrollada a partir de las disposiciones de estructuras tubulares que están en la Sección 4 de la edición anterior. El contenido pertinente a los miembros no tubulares quedó en la Sección 4.

Resumen de los cambios (Continúa)

Sección/Tabla/ Figura/Anexo	Modificación
Tablas 9.16, 9.17, 9.18 y 9.19	Tablas nuevas desarrolladas a partir de las disposiciones de estructuras tubulares que están en la Sección 6 de la edición anterior. El contenido pertinente a los miembros no tubulares quedó en la Sección 6.
Tabla 9.5	(Anteriormente Tabla 2.9) Se agregó la nota al pie “a” para su aclaración.
Figura 9.6	(Anteriormente Figura 2.18) Las etiquetas de dimensiones en la figura se revisaron para su aclaración.
Figura 9.29	(Anteriormente Figura 6.4) Notas al pie revisadas para eliminar la excepción para conexiones en T-, Y- y K-.
Figura 9.30	(Anteriormente Figura 6.5) La nota para descartar las discontinuidades por debajo del nivel de escaneo se eliminaron de la figura y la ubicación de la flecha de discontinuidades acumulativas fue revisada para su aclaración.
Anexo A	Se agregaron figuras para aclarar la garganta efectiva para diversos tipos y combinaciones de juntas.
Anexo I	(Anteriormente Anexo I) Se revisaron las definiciones para los símbolos l_2 , r_m , t_w y se agregó un nuevo símbolo r_w junto con su definición correspondiente a los cambios en la Figura 9.6.
Anexo J	(Anteriormente Anexo K) Los términos y condiciones ahora se consideran normativas, lo que significa que incluyen elementos obligatorios para usar con este código. También se agregaron los términos nuevos “fin” y “ensayos no destructivos (NDT).”
Anexo M	(Anteriormente Anexo N) Se revisaron minuciosamente los ejemplos de formularios de soldadura para su aclaración.
Anexo R	El Anexo R titulado “Prácticas seguras” se eliminó de esta edición. Para informarse sobre las disposiciones de seguridad, los lectores deben consultar otras publicaciones en la Sección 1.
Anexo U	Anexo nuevo acerca de las clasificaciones y propiedades de los metales de aporte en la especificación AWS A5.36.

El resumen de las secciones en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Sección	D1.1:2015 Sección y título
2.20	9.1 Generalidades
2.21	9.2 Esfuerzos admisibles
2.20.1	9.2.1 Excentricidad
2.21.1	9.2.2 Esfuerzos del metal base
2.21.2	9.2.3 Limitaciones de la sección tubular
2.21.3	9.2.4 Esfuerzos de soldadura.
2.21.4	9.2.5 Esfuerzos de fibra
2.21.5	9.2.6 Diseño de factor de carga y resistencia (LRFD)
2.21.6	9.2.7 Fatiga de conexiones de tubos circulares
2.21.6.1	9.2.7.1 Rango de esfuerzo y tipo de miembro
2.21.6.2	9.2.7.2 Categorías de esfuerzo de fatiga.
2.21.6.3	9.2.7.3 Limitación de esfuerzo admisible básico

El resumen de las secciones en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Sección	D1.1:2015 Sección y título
2.21.6.4	9.2.7.4 Daño Acumulado
2.21.6.5	9.2.7.5 Miembros críticos
2.21.6.6	9.2.7.6 Mejora del comportamiento de fatiga
2.21.6.7	9.2.7.7 Efectos del tamaño y del perfil.
2.22	9.3 Identificación
2.23	9.4 Símbolos
2.24	9.5 Diseño de la soldadura
2.24.1	9.5.1 Soldaduras en filete
2.24.1.1	9.5.1.1 Área efectiva
2.24.1.2	9.5.1.2 Limitación beta para detalles precalificados
2.24.1.3	9.5.1.3 Juntas traslapadas
2.24.2	9.5.2 Soldaduras en ranura
2.24.2.1	9.5.2.1 Detalles de soldadura en ranura con penetración de junta parcial (PJP) precalificada
2.24.2.2	9.5.2.2 Detalles de soldadura en ranura con CJP precalificada soldado de un lado sin respaldo con conexiones en T-, Y- y K-
2.24.3	9.5.3 Esfuerzos en las soldaduras
2.24.4	9.5.4 Longitudes de conexiones circulares
2.24.5	9.5.5 Longitudes de conexiones rectangulares
2.24.5.1	9.5.5.1 Conexiones en K- y N-
2.24.5.2	9.5.5.2 Conexiones en T-, Y- y X-
2.25	9.6 Limitaciones de la resistencia de las conexiones soldadas
2.25.1	9.6.1 Conexiones en T-, Y- y K-
2.25.1.1	9.6.1.1 Falla local
2.25.1.2	9.6.1.2 Colapso general
2.25.1.3	9.6.1.3 Distribución dispereja de carga (Dimensionamiento de la soldadura)
2.25.1.4	9.6.1.4 Transiciones
2.25.1.5	9.6.1.5 Otras configuraciones y cargas
2.25.1.6	9.6.1.6 Conexiones traslapadas
2.25.2	9.6.2 Conexiones rectangulares en T-, Y- y K-
2.25.2.1	9.6.2.1 Falla local
2.25.2.2	9.6.2.2 Colapso general
2.25.2.3	9.6.2.3 Distribución dispereja de carga (ancho efectivo)
2.25.2.4	9.6.2.4 Conexiones traslapadas

El resumen de las secciones en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Sección	D1.1:2015 Sección y título
2.25.2.5	9.6.2.5 Doblado
2.25.2.6	9.6.2.6 Otras configuraciones
2.26	9.7 Transición de espesores
2.27	9.8 Limitaciones del material
2.27.1	9.8.1 Limitaciones
2.27.1.1	9.8.1.1 Límite elástico (límite de deformación)
2.27.1.2	9.8.1.2 Fluencia efectiva reducida
2.27.1.3	9.8.1.3 Conexiones rectangulares en T-, Y- y K-
2.27.1.4	9.8.1.4 Precaución ASTM A500
2.27.2	9.8.2 Resiliencia de entalla de metales base tubulares
2.27.2.1	9.8.2.1 Requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)
2.27.2.2	9.8.2.2 Requisitos LAST
2.27.2.3	9.8.2.3 Resiliencia de entalla alternativa
3.9	9.9 Requisitos de la soldadura en filete
3.9.2	9.9.1 Detalles
3.12	9.10 Requisitos de la PJP
3.12.4	9.10.1 Detalles
3.12.4.1	9.10.1.1 Conexiones de sección rectangular de la misma resistencia
3.13	9.11 Requisitos de soldadura en ranura con penetración de junta completa (CJP)
3.13.4	9.11.1 Juntas a tope
3.13.5	9.11.2 Conexiones tubulares en T-, Y- y K-
3.13.5.1	9.11.2.1 Detalles de la junta
4.3	9.12 Requisitos comunes para calificación de la WPS y del desempeño del personal de soldadura
4.3.4	9.12.1 Posiciones de la soldadura
4.4	9.13 Posiciones calificadas de soldadura de producción
4.5, 4.9, 4.9.1.1(6)(b), 4.9.2.1	9.14 Tipos de ensayos de calificación, métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS
4.13	9.15 Soldaduras en ranura con penetración de junta completa (CJP) para conexiones tubulares
4.13.1	9.15.1 Juntas a tope CJP con respaldo o ranurado del lado opuesto
4.13.2	9.15.2 Juntas a tope CJP sin respaldo soldado desde un solo lado
4.13.3	9.15.3 Conexiones en T-, Y- o K- con respaldo o ranurado del lado opuesto
4.13.4	9.15.4 Conexiones en T-, Y- o K- sin respaldo soldado desde un solo lado
4.13.4.1	9.15.4.1 WPS sin estado precalificado

El resumen de las secciones en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Sección	D1.1:2015 Sección y título
4.13.4.2	9.15.4.2 WPS para soldaduras en ranura con CJP en una conexión T-, Y- o K- con ángulos diedros menores a 30°
4.13.4.3	9.15.4.3 WPS para soldaduras en ranura con CJP en una conexión T-, Y- o K- usando GMAW-S
4.13.4.4	9.15.4.4 Soldaduras que requieren tenacidad CVN
4.14	9.16.14 Conexiones tubulares en T-, Y- o K- o soldaduras en filete y juntas a tope con PJP
4.19.1	9.17 Posiciones de soldadura de producción, espesores y diámetros de producción calificados
4.19.1.1, 4.19.2.1	9.17.1 Soldadores y operarios de soldadura
4.19.2.2, 4.20.2.1	9.17.2 Soldadores de punteado
4.21	9.18 Tipos de soldadura para la calificación de desempeño de soldadores y operarios de soldadura
4.27	9.19 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares
4.27.1	9.19.1 Otros detalles de junta o WPS
4.28	9.20 Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares
4.29	9.21 Soldaduras en filete para conexiones tubulares
4.31	9.22 Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de soldadores y operarios de soldadura
4.31.2.2	9.22.1 Prueba de macroataque para conexiones en T-, Y- y K-
4.31.2.3(3)	9.22.1.1 Criterios de aceptación para la prueba de macroataque
4.31.3.1	9.22.2 Procedimiento y técnica del ensayo RT
5.10	9.23 Respaldo
5.10.2	9.23.1 Respaldo de longitud completa
5.22	9.24 Tolerancia de dimensiones de juntas
5.22.3.1	9.24.1 Alineación de soldadura circunferencial (tubular)
5.22.4	9.24.2 Dimensiones de la ranura
5.22.4.2	9.24.2.1 Variaciones de sección transversal tubular
6.9	9.25 Inspección visual
6.11	9.26 Ensayo no destructivo (NDT)
6.7	9.26.1 Alcance
6.11.1	9.26.2 Requisitos para conexiones tubulares
6.13	9.27 Prueba por ultrasonido (UT)
6.13.3	9.27.1 Criterios de aceptación para conexiones tubulares
6.13.3.1	9.27.1.1 Clase R (aplicable cuando se utiliza UT como alternativa a RT)
6.13.3.2	9.27.1.2 Clase X (criterios de adecuación al servicio basados en la experiencia aplicables a conexiones en T-, Y- y K- en estructuras con soldaduras con tenacidad a la entalla)
6.17	9.28 Procedimientos de Prueba radiográfica (RT)

El resumen de las secciones en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Sección	D1.1:2015 Sección y título
6.17.1	9.28.1 Procedimiento
6.17.7	9.28.2 Selección y ubicación de los indicadores de calidad de imagen (IQI)
6.18	9.29 Requisitos complementarios de RT para conexiones tubulares
6.18.1	9.29.1 Soldaduras en ranura circunferenciales en juntas a tope
6.18.1.1	9.29.1.1 Exposición pared simple/imagen de pared simple
6.18.1.2	9.29.1.2 Exposición de doble pared/imagen de pared simple
6.18.1.3	9.29.1.3 Exposición de doble pared/imagen de pared doble
6.27	9.30 UT de conexiones tubulares en T-, Y- y -K
6.27.1	9.30.1 Procedimiento
6.27.2	9.30.2 Personal
6.27.3	9.30.3 Calibración
6.27.3.1	9.30.3.1 Rango
6.27.3.2	9.30.3.2 Calibración de sensibilidad
6.27.4	9.30.4 Examinación del metal base
6.27.5	9.30.5 Escaneo de soldadura
6.27.6	9.30.6 Ángulo óptimo
6.27.7	9.30.7 Evaluación de discontinuidad
6.27.8	9.30.8 Informes
6.27.8.1	9.30.8.1 Formularios
6.27.8.2	9.30.8.2 Discontinuidades informadas
6.27.8.3	9.30.8.3 Inspección incompleta
6.27.8.4	9.30.8.4 Marcas de referencia

El resumen de las tablas en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Tabla	D1.1:2015 Tabla y título
2.5	9.1 Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga
2.6	9.2 Esfuerzos admisibles en las soldaduras de conexiones tubulares
2.7	9.3 Categorías de esfuerzo para el tipo y la ubicación del material para secciones circulares
2.8	9.4 Limitaciones de la categoría de fatiga sobre el tamaño de la soldadura o el espesor y el perfil de la soldadura (conexiones tubulares)
2.9	9.5 Dimensiones de pérdida Z para el cálculo del tamaño mínimo de soldadura con PJP precalificadas para conexiones tubulares en T-, Y- y K-

El resumen de las tablas en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015 (Continúa)

D1.1:2010 Tabla	D1.1:2015 Tabla y título
2.10	9.6 Términos para la resistencia de conexiones (secciones circulares)
3.5	9.7 Aplicaciones de detalles de juntas para conexiones tubulares CJP precalificadas en T-, Y- y K-
3.6	9.8 Dimensiones de juntas y ángulos en ranura precalificados para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en-T-, Y- y K- hechas con soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW), soldadura por arco con protección gaseosa, modo de transferencia cortocircuito (GMAW-S) y soldadura por arco de núcleo fundente (FCAW)
4.1	9.9 Calificación de la WPS—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de conducto o tubo rectangular
4.2	9.10 Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados
4.3	9.11 Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados—Calificación de la WPS: soldaduras en ranura con PJP
4.4	9.12 Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—Calificación de la WPS: soldaduras en filete
4.10	9.13 Calificación del soldador y operario soldador—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de conducto o tubo rectangular
4.11	9.14 Calificación del soldador y operario soldador—Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados
5.5	9.15 Tolerancias de abertura de la raíz tubular, juntas a tope soldadas sin respaldo
6.1	9.16 Criterios de aceptación de la inspección visual
6.4	9.17 Requisitos para IQI de tipo orificio
6.5	9.18 Requisitos para IQI de tipo alambre
6.6	9.19 Selección y ubicación de los IQI

El resumen de las figuras en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015

D1.1:2010 Figura	D1.1:2015 Figura y título
2.13	9.1 Rangos de esfuerzo de fatiga admisible y rangos de deformación para categorías de esfuerzos, estructuras tubulares para servicio atmosférico
2.14	9.2 Partes de una conexión tubular
2.15	9.3 Junta traslapada soldada en filete (tubular)
2.16	9.4 Radio de la proyección de la soldadura en filete tubular para conexiones en T-, Y- y K-
2.17	9.5 Esfuerzo de cizallamiento por punzonado
2.18	9.6 Detalle de junta traslapada
2.19	9.7 Limitaciones para conexiones rectangulares en T-, Y- y K-
2.20	9.8 Conexiones en K- traslapadas
2.21	9.9 Transición de espesor de juntas a tope entre piezas de espesores desiguales (tubulares)
3.2	9.10 Juntas tubulares precalificadas soldadas en filete realizadas con SMAW, GMAW y FCAW
3.5	9.11 Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y- y K- con PJP
3.6	9.12 Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y- y K- con CJP
3.7	9.13 Definiciones y selecciones detalladas para conexiones tubulares en T-, Y- y K- precalificadas
3.8	9.14 Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfiles planos estándar para espesores limitados
3.9	9.15 Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfil con filete en el pie para espesores intermedios
3.10	9.16 Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfil cóncavo mejorado para secciones pesadas o fatiga
4.4	9.17 Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en ranura
4.6	9.18 Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en filete
4.7	9.19 Ubicación de probetas de ensayo en tubos de ensayo soldados—Calificación WPS
4.8	9.20 Ubicación de las probetas de ensayo para tubería rectangular soldada—Calificación WPS
4.20	9.21 Ensayo de solidez de la soldadura en filete de conductos —Calificación WPS
4.24	9.22 Junta tubular a tope-Calificación del soldador con y sin respaldo
4.25	9.23 Junta tubular a tope-Calificación de la WPS con y sin respaldo
4.26	9.24 Ensayo de talón de ángulo agudo (No se muestran las limitaciones)
4.27	9.25 Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías de sección rectangular (≥ 6 pulg. [150 mm] O.D.)-Calificación del soldador y de la WPS
4.28	9.26 Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías de sección rectangular (< 4 pulg. [100 mm] O.D.)-Calificación del soldador y de la WPS
4.29	9.27 Prueba de macroataque de juntas en esquina para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en tuberías de sección rectangular para soldaduras en ranura con CJP—Calificación del soldador y de la WPS
4.34	9.28 Ubicación de probetas en conductos y tubería rectangular de ensayo soldados-Calificación del soldador

El resumen de las figuras en la versión D1.1:2010 se reubicó en la Sección 9 de la versión D1.1:2015 (Continúa)

D1.1:2010 Figura	D1.1:2015 Figura y título
6.4	9.29 Indicaciones de Clase R
6.5	9.30 Indicaciones de Clase X
6.13	9.31 Exposición de pared simple/imagen de pared simple
6.14	9.32 Exposición de pared doble/imagen de pared simple
6.15	9.33 Exposición de pared doble-Imagen de pared doble (Elíptica). Mínimo dos exposiciones
6.16	9.34 Exposición de pared doble -Imagen de pared doble. Mínimo tres exposiciones
6.22	9.35 Técnicas de escaneo

AWS B4.0, *Métodos estándar para ensayos mecánicos de soldaduras*, provee detalles adicionales de la preparación de las probetas de ensayo y detalles de la construcción de portapiezas de ensayo.

Comentario. El comentario no es obligatorio y solamente tiene el propósito de proporcionar información esclarecedora sobre los fundamentos de la disposición.

Anexos normativos. Estos anexos tratan temas específicos del código, sus requisitos son obligatorios y complementan las disposiciones del código.

Anexos informativos. Estos anexos no son requisitos del código pero se proporcionan para aclarar las disposiciones del código mediante ejemplos, información adicional o la sugerencia de buenas prácticas alternativas.

Índice. Como en códigos anteriores, las entradas en el índice se refieren por el número de subsección en lugar del número de página. Esto debería permitir que el usuario del índice ubique un tema específico de interés con rapidez.

Fe de erratas. Es política del Comité de Soldadura Estructural que todas las erratas estén a disposición de los usuarios del código. En consecuencia, toda errata importante será publicada en la sección Society News del *Welding Journal de la AWS* y se publicará en el sitio web de la AWS en: <http://www.aws.org/technical/d1/>.

Sugerencias. Se agradecerán sus comentarios para mejorar la versión D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero* de la AWS. Los comentarios deben enviarse a: Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society, 8669 NW 36 St, # 130, Miami, FL 33166; teléfono (305) 443-9353; fax (305) 443-5951; correo electrónico info@aws.org; o a través del sitio web de la AWS <<http://www.aws.org>>.

Fe de erratas

Las siguientes erratas fueron identificadas y se incorporaron en esta reimpresión.

Página 38, referencias en el título de la Figura 2.4: reemplazo (véase 2.9.9.1 y 2.9.1.2) con (véase 2.9.1.1 y 2.9.1.2)

Página 54, Tabla 3.2—Grupo I de metal base, encabezado de columna A5.29^a Acero de baja aleación: se reemplazó “E6XT-XM” con “E6XTX-XM”

Página 72, Figura 3.2, las columnas de Tolerancia en la tabla se alinearon con la columna de Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Radio de doblado

Página 73, Figura 3.2, las columnas de Tolerancia en la tabla se alinearon con la columna de Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Radio de doblado

Página 80, Figura 3.2, las columnas de Tolerancia en la tabla se alinearon con la columna de Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Radio de doblado

Página 81, Figura 3.2, las columnas de Tolerancia en la tabla se alinearon con la columna de Abertura de la raíz, Doblado de Cara de la raíz, Radio de doblado

Página 89, Figura 3.3, soldadura en ranura con doble bisel (5), junta a tope (B); las columnas de Tolerancia en la tabla se alinearon con la columna de Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Radio de doblado

Página 89, Figura 3.3, soldadura en ranura con doble bisel (5), junta a tope (B); columna Como se detalla (véase 3.13.1); se reemplazó “ $\alpha + \beta 10^\circ$ ” con “ $\alpha + \beta =$ ”

Página 89, Figura 3.3, soldadura en ranura con doble bisel (5), junta a tope (B); columna Como se detalla (véase 3.13.1); se reemplazó “ -0° ” con “ $+ 10^\circ, -0^\circ$ ”

Página 89, Figura 3.3, soldadura en ranura con doble bisel (5), junta a tope (B); columna Según acoplamiento (véase 3.13.1); se reemplazó “ $\alpha + \beta 10^\circ$ ” con “ $\alpha + \beta =$ ”

Página 89, Figura 3.3, soldadura en ranura con doble bisel (5), junta a tope (B); columna Como se detalla (véase 3.13.1); se reemplazó “ -5° ” con “ $+ 10^\circ, -5^\circ$ ”

Página 105, Figura 3.5: Nota “a”: se reemplazó “Tabla 5.14” con Tabla “5.13”

Página 105, Figura 3.5: nota “a”: se reemplazó “Tabla 3.7” con Tabla “3.6”

Página 105, Figura 3.5: nota “b”: se reemplazó “5.22.1” con “5.21.1”

Página 105, Figura 3.5: se reemplazó “TODAS LAS DIMENSIONES EN mm” con “TODAS LAS DIMENSIONES EN pulgadas”

Página 105, Figura 3.5: se reemplazó el proceso de soldadura “FMAW” con “GMAW”

Página 106, Figura 3.5: se agregó en la parte superior de la página “véase notas en la página 105”

Página 106, Figura 3.5: se reemplazó el proceso de soldadura “FMAW” con “GMAW”

Página 134, Tabla 4.9, Nota 2: se reemplazó “20 pies-libra fuerza [27.1 J]” con “20 pies de libra fuerza [27 J]”

Página 135, Tabla 4.10: se reemplazó el título “Calificación del soldador y operario soldador—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de conducto o tubo rectangular (véase 4.15.1)” con “Calificación del soldador y operario soldador—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa (véase 4.15.1)”

Página 139, Tabla 4.14: se agregó una línea vertical entre Proceso de soldadura y ubicación del ensayo

Página 149, Figura 4.10, nota al pie b: se reemplazó 0.004 pulgadas [0.102 mm] con “0.004 pulgadas [0.1 mm]”

Página 149, Figura 4.10, nota al pie b: se reemplazó 0.015 pulgadas [0.381 mm] con “0.015 pulgadas [0.38 mm]”

Página 177, Figura 5.23.3: se reemplazó “El refuerzo de la soldadura en ranura debe cumplir con las Tablas 5.8 y 5.9 y con las disposiciones indicadas a continuación” con “El refuerzo de la soldadura en ranura debe cumplir con las Tablas 5.8 y 5.9 y con las disposiciones indicadas a continuación”

Página 198, 6.17.7: se agregó una oración a la subsección “El respaldo de acero no debe ser considerado parte de la soldadura ni del refuerzo de la soldadura en la selección del IQI.”

Página 245, 7.2.6: se reemplazó “ASTM A29, *Especificación de la norma para requisitos generales para barras de acero, al carbono y de aleación, forjado en caliente, Grados 1010 a 1020*” con “ASTM A29/A29M-12e1, *Especificación de la norma para requisitos generales para barras de acero, al carbono y de aleación, forjado en caliente, Grados 1010 a 1020*”

Página 283, Tabla 9.10: se reemplazó el encabezado de la columna “Espesor^{b,c} nominal de pared de conducto o tubo calificado, pulg.” con “Espesor^{b,c} nominal de pared de placa, conducto o tubo calificado, pulg.”

Página 283, Tabla 9.10, nota al pie b: se reemplazó “Para soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin respaldo, el espesor máximo calificado deberá limitarse al espesor de la placa” a “Para soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado deberá limitarse al espesor de ensayo”

Página 284, Tabla 9.10: se reemplazó el encabezado de la columna “Espesor^{b,c} nominal de pared de conducto o tubo calificado, mm” con “Espesor^{b,c} nominal de pared de placa, conducto o tubo calificado, mm”

Página 287, Tabla 9.14: ensayos en conducto o tubería: se reemplazó el encabezado de la columna “Espesor^d nominal de pared de placa, conducto o tubo calificado, pulg.” con “Espesor^d nominal de pared de placa, conducto o tubo calificado, pulg.”

Página 287, Tabla 9.14, Soldaduras en filete para producción para conexiones en T-, Y- o K-, columna Tipo de soldadura de ensayo, Opción 1—Filete: se reemplazó (Fig. 4.26)^e con (Fig. 4.25)^e

Página 287, Tabla 9.14, Soldaduras en filete para producción para conexiones en T-, Y- o K-, columna Tipo de soldadura de ensayo, Opción 1—Filete: se reemplazó (Fig. 4.23)^e con (Fig. 4.22)^e

Página 288, Tabla 9.14: se reemplazó el encabezado de la columna a la izquierda “Ensayos en conducto o tubería^f” con “Ensayos en conducto o tubería^f”

Página 420, Q3(15): dentro de Q3(15) se redactó un párrafo nuevo con todo el vocabulario después de “Requisitos para la retención de documentación”.

Página 502, C-4.8: se reemplazó la oración “Sin embargo, se permite una diferencia con las variables que afecten la composición mecánica o química de las propiedades del material, o la solidez de la soldadura sin la recalificación” con “Sin embargo, no se permite una diferencia con las variables que afecte la composición mecánica o química de las propiedades del material, o la firmeza de la soldadura sin la recalificación”.

Página 590, Índice—Electrodos, grupos de calificación de soldador: se reemplazó “Tabla 9.15” con “Tabla 4.13”

Página 591, Índice—Metales de aporte, designación de grupo de soldador: se reemplazó “4.3.2.1” con “4.2.3.1, Tabla 4.13”

Página 591, Índice— Soldaduras en filete, tamaño máximo: se reemplazó “2.4.2.8” con “2.4.2.9”

Página 591, Índice—Soldaduras en filete, placas de ensayo: se reemplazó “4.4” con “4.12.2, Tabla 4.4”

Página 594, Índice—Traslapado: se reemplazó “5.25.11” con “5.25.1.1”

Página 594, Índice—Detalles de junta precalificada: se reemplazó “22.3.5.4” con “2.3.5.4”

Página 595, Índice—Disposición de radiografías: se reemplazó “6.19” y “C-6.19” con “6.18” y C-6.18” respectivamente

Página 595, Índice—Radiografía: se reemplazó “6.19.3 y C-6.19.3” con “6.18.3 y C-6.18.3” respectivamente

Página 596, Índice—Juntas en T oblicuas: se reemplazó “Figura 3.44” con “Figura 3.4”

Página 596, Índice—Estructuras cargadas estáticamente, respaldo: se reemplazó “2.6.4.1” con “5.9.1.5”

En todo el documento: se reemplazó “pies libra fuerza” con “pies de libra fuerza”

Tabla de contenido

	Página N.º
<i>Dedicatoria</i>	v
<i>Personal</i>	vii
<i>Prefacio</i>	xv
<i>Lista de tablas</i>	xxxiv
<i>Lista de figuras</i>	xxxvii
1. Requisitos generales	1
1.1 Alcance.....	1
1.2 Limitaciones.....	1
1.3 Definiciones.....	1
1.4 Responsabilidades.....	2
1.5 Aprobación.....	3
1.6 Símbolos de soldadura.....	3
1.7 Precauciones de seguridad.....	3
1.8 Unidades de medida estándar.....	3
1.9 Documentos de referencia.....	3
2. Diseño de conexiones soldadas	5
2.1 Alcance.....	5
<i>Parte A—Requisitos comunes para el diseño de conexiones soldadas (miembros tubulares y no tubulares)</i>	5
2.2 Generalidades.....	5
2.3 Planos y especificaciones del contrato.....	5
2.4 Áreas efectivas.....	6
<i>Parte B—Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas estática o cíclicamente)</i>	8
2.5 Generalidades.....	8
2.6 Esfuerzos.....	8
2.7 Configuración y detalles de junta.....	9
2.8 Configuración y detalles de junta—Soldaduras en ranura.....	10
2.9 Configuración y detalles de junta—Juntas soldadas en filete.....	10
2.10 Configuración y detalles de junta—Soldaduras de tapón y en ranura.....	11
2.11 Placas de aporte.....	11
2.12 Miembros armados.....	12
<i>Parte C—Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas cíclicamente)</i>	12
2.13 Generalidades.....	12
2.14 Limitaciones.....	12
2.15 Cálculo de esfuerzos.....	13
2.16 Esfuerzos y rangos de esfuerzo admisibles.....	13
2.17 Detalles, fabricación y montaje.....	14
2.18 Juntas y soldaduras prohibidas.....	15
2.19 Inspección.....	15
3. Precalificación de las WPS	45
3.1 Alcance.....	45
3.2 Procesos de soldadura.....	45
3.3 Combinaciones metal base/metal de aporte.....	45
3.4 Aprobación del Ingeniero para accesorios auxiliares.....	46

3.5	Requisitos mínimos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas	46
3.6	Limitación de las variables de WPS	46
3.7	Requisitos generales de WPS	46
3.8	Requisitos comunes para SAW de electrodo paralelo y electrodo múltiple	47
3.9	Requisitos de la soldadura en filete	47
3.10	Requisitos de soldaduras de tapón y en ranura	47
3.11	Requisitos comunes de soldadura en ranura con CJP y PJP	47
3.12	Requisitos de la PJP	48
3.13	Requisitos de soldaduras en ranura con CJP	48
3.14	Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT)	48
4.	Calificación	109
4.1	Alcance	109
	<i>Parte A—Requisitos generales</i>	<i>109</i>
4.2	Generalidades	109
4.3	Requisitos comunes para calificación de la WPS y del desempeño del personal de soldadura	110
	<i>Parte B—Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS)</i>	<i>110</i>
4.4	Posiciones calificadas de soldadura de producción	110
4.5	Tipo de ensayos de calificación	110
4.6	Tipos de soldadura para la calificación de la WPS	110
4.7	Preparación de la WPS	111
4.8	Variables esenciales	111
4.9	Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de la WPS	111
4.10	Soldaduras en ranura con CJP	113
4.11	Soldaduras en ranura con PJP	113
4.12	Soldaduras en filete	113
4.13	Soldaduras de tapón y en ranura	114
4.14	Procesos de soldadura que requieren calificación	114
	<i>Parte C—Calificación de desempeño</i>	<i>115</i>
4.15	Generalidades	115
4.16	Tipo de ensayos de calificación requeridos	115
4.17	Tipos de soldadura para la calificación de desempeño de soldadores y operarios de soldadura	115
4.18	Preparación de los formularios de calificación de desempeño	116
4.19	Variables esenciales	116
4.20	Soldaduras en ranura con CJP para conexiones no tubulares	116
4.21	Alcance de la calificación	116
4.22	Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de soldadores y operarios de soldadura	116
4.23	Método de ensayo y criterios de aceptación para la calificación del soldador de punteado	117
4.24	Repetición del ensayo	117
	<i>Parte D—Requisitos para los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)</i>	<i>118</i>
4.25	Generalidades	118
4.26	Ubicaciones de ensayos	118
4.27	Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)	118
4.28	Requisitos del ensayo	119
4.29	Repetición del ensayo	119
4.30	Informes	119
5.	Fabricación	165
5.1	Alcance	165
5.2	Metal base	165
5.3	Requisitos para consumibles de soldadura y electrodos	165
5.4	Procesos de soldadura por electroescoria (ESW) y soldadura por electrogás (EGW)	167
5.5	Variables de WPS	168

5.6	Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas	168
5.7	Control de la entrada de calor para aceros revenidos y templados	168
5.8	Tratamiento térmico de alivio de tensiones	168
5.9	Respaldo.....	169
5.10	Equipo de soldadura y corte.....	169
5.11	Ambiente de la soldadura.....	169
5.12	Conformidad con el diseño	170
5.13	Tamaños mínimos de la soldadura en filete	170
5.14	Preparación del metal base.....	170
5.15	Esquinas reentrantes.....	172
5.16	Orificios de acceso a la soldadura, recortes redondeados de viga y material de conexión.....	172
5.17	Soldaduras de punteado y soldaduras auxiliares de construcción.....	172
5.18	Contraflecha de miembros armados.....	173
5.19	Empalmes.....	173
5.20	Control de la distorsión y la contracción	173
5.21	Tolerancia de dimensiones de juntas.....	174
5.22	Tolerancias dimensionales de miembros estructurales soldados	174
5.23	Perfiles de soldadura	177
5.24	Técnica para soldaduras de tapón y en ranura	177
5.25	Reparaciones	177
5.26	Martillado.....	178
5.27	Sellado.....	178
5.28	Golpes de arco.....	179
5.29	Limpieza de la soldadura	179
5.30	Lengüetas de soldadura	179
6.	Inspección	191
	<i>Parte A—Requisitos generales.....</i>	<i>191</i>
6.1	Alcance.....	191
6.2	Inspección de materiales y equipos.....	192
6.3	Inspección de las WPS.....	192
6.4	Inspección de las calificaciones del soldador, operario de soldadura y soldador de punteado.....	192
6.5	Inspección de trabajos y registros	192
	<i>Parte B—Responsabilidades del Contratista.....</i>	<i>193</i>
6.6	Obligaciones del Contratista	193
	<i>Parte C—Criterios de aceptación.....</i>	<i>193</i>
6.7	Alcance.....	193
6.8	Aprobación del Ingeniero de criterios de aceptación alternativos	193
6.9	Inspección visual.....	193
6.10	Ensayo de penetración (PT) y ensayo de partícula magnética (MT)	193
6.11	Ensayos no destructivos (NDT)	194
6.12	Pruebas radiográficas (RT).....	194
6.13	Prueba por ultrasonido (UT)	195
	<i>Parte D—Procedimientos NDT</i>	<i>196</i>
6.14	Procedimientos.....	196
6.15	Alcance de los ensayos	196
	<i>Parte E—Pruebas radiográficas (RT)</i>	<i>197</i>
6.16	RT de soldaduras en ranura en juntas a tope.....	197
6.17	Procedimientos de RT	197
6.18	Evaluación, informe y disposición de las radiografías	199
	<i>Parte F—Prueba por ultrasonido (UT) de soldaduras en ranura.....</i>	<i>199</i>
6.19	Generalidades.....	199
6.20	Requisitos de calificación	199

6.21	Equipos UT	199
6.22	Normas de referencia	200
6.23	Calificación del equipo	201
6.24	Calibración para ensayos	201
6.25	Procedimientos de ensayo	201
6.26	Preparación y disposición de informes	203
6.27	Calibración de la unidad UT con bloques tipo IIW u otros bloques de referencia aprobados (Anexo G).....	203
6.28	Procedimientos de calificación del equipo.....	204
6.29	Procedimientos de evaluación del tamaño de la discontinuidad.....	206
6.30	Patrones de escaneo	206
6.31	Ejemplos de certificación de precisión de dB.....	206
	<i>Parte G—Otros métodos de evaluación.....</i>	207
6.32	Requisitos generales.....	207
6.33	Sistemas de procesamiento de imágenes por radiación	207
6.34	Sistemas ultrasónicos avanzados	207
6.35	Requisitos adicionales.....	208
7.	Soldadura de pernos	245
7.1	Alcance.....	245
7.2	Requisitos generales.....	245
7.3	Requisitos mecánicos.....	246
7.4	Mano de obra/Fabricación	246
7.5	Técnica	246
7.6	Requisitos de calificación de aplicación de pernos.....	247
7.7	Control de producción.....	248
7.8	Requisitos de inspección de fabricación y verificación.....	249
7.9	Requisitos de calificación básica de pernos del fabricante	249
8.	Refuerzo y reparación de estructuras existentes.....	255
8.1	Generalidades.....	255
8.2	Metal base	255
8.3	Diseño para refuerzo y reparación	255
8.4	Mejora de la vida útil en fatiga	255
8.5	Mano de obra y técnica	256
8.6	Calidad	256
9.	Estructuras tubulares	257
9.1	Generalidades.....	257
	<i>Parte A—Diseño de conexiones tubulares.....</i>	257
9.2	Esfuerzos admisibles.....	257
9.3	Identificación	258
9.4	Símbolos.....	258
9.5	Diseño de la soldadura	258
9.6	Limitaciones de la resistencia de las conexiones soldadas	260
9.7	Transición de espesor.....	264
9.8	Limitaciones de los materiales	264
	<i>Parte B—Precalificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS).....</i>	265
9.9	Requisitos de la soldadura en filete.....	265
9.10	Requisitos de la PJP	265
9.11	Requisitos de soldaduras en ranura con CJP.....	265
	<i>Parte C—Calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS).....</i>	266
9.12	Requisitos comunes para calificación de la WPS y del desempeño del personal de soldadura	266
9.13	Posiciones calificadas de soldadura de producción	266

9.14	Tipos de ensayos de calificación, <u>métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de la WPS</u>	266
9.15	Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares	267
9.16	PJP y soldaduras en filete para conexiones tubulares T-, Y- o K-, y juntas a tope	268
<i>Parte D—Calificación de desempeño</i>		268
9.17	Posiciones de soldadura de producción, <u>espesores y diámetros calificados</u>	268
9.18	Tipos de soldadura para la calificación del desempeño de soldadores y operarios de soldadura	268
9.19	Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares	268
9.20	Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares.....	269
9.21	Soldaduras en filete para conexiones tubulares	269
9.22	Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de soldadores y operarios de soldadura	269
<i>Parte E—Fabricación</i>		269
9.23	Respaldo.....	269
9.24	Tolerancia en las dimensiones de la junta	270
<i>Parte F—Inspección</i>		270
9.25	Inspección visual.....	270
9.26	NDT	270
9.27	UT	270
9.28	Procedimientos de RT	271
9.29	Requisitos complementarios de RT para conexiones tubulares	271
9.30	UT de conexiones tubulares en T-, Y- y K-.....	271
<i>Anexos</i>		327
Anexo A	(Normativo)—Garganta efectiva(E).....	329
Anexo B	(Normativo)—Gargantas efectivas de soldaduras en filete en juntas en T oblicuas.....	333
Anexo D	(Normativo)—Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas estáticamente	337
Anexo E	(Normativo)—Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas cíclicamente.....	341
Anexo F	(Normativo)—Gráficas de contenido de temperatura-humedad	347
Anexo G	(Normativo)—Calificación y calibración de las unidades UT con otros bloques de referencia aprobados	351
Anexo H	(Normativo)—Pautas sobre métodos alternativos para la determinación del precalentamiento.....	355
Anexo I	(Normativo)—Símbolos para el diseño de soldaduras de conexiones tubulares	365
Anexo J	(Normativo)—Términos y definiciones	367
Anexo K	(Informativo)—Guía para los redactores de especificaciones.....	375
Anexo L	(Informativo)—Formularios de calificación e inspección de equipos de UT	377
Anexo M	(Informativo)—Ejemplos de formularios de soldadura.....	387
Anexo N	(Informativo)—Pautas para la preparación de consultas técnicas para el Comité de Soldadura Estructural ..	409
Anexo O	(Informativo)—Ángulo diedro local.....	411
Anexo P	(Informativo)—Contenidos de WPS precalificada.....	417
Anexo Q	(Informativo)—Inspección de soldaduras por UT mediante técnicas alternativas.....	419
Anexo R	(Informativo)—Parámetro ovalizante alfa.....	435
Anexo S	(Informativo)—Lista de documentos de referencia.....	437
Anexo T	(Informativo)—Propiedades de resistencia del metal de aporte.....	439
Anexo U	(Informativo)—AWS A5.36: propiedades y clasificaciones del metal de aporte.....	451
<i>Comentarios</i>		467
<i>Prefacio</i>		469
<i>Índice</i>		587
<i>Lista de documentos sobre soldadura estructural de la AWS</i>		603

Lista de tablas

Tabla	Página N.º
2.1	Tamaño efectivo de soldaduras en ranura abocinada..... 16
2.2	Dimensión de pérdida Z (no tubular)..... 16
2.3	Esfuerzos admisibles..... 17
2.4	Coefficientes de equivalencia de resistencia para soldaduras en filete cargadas oblicuamente..... 18
2.5	Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga..... 19
3.1	Metales base aprobados para WPS precalificadas 49
3.2	Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 3.1, materiales de los Grupos I, II, III y IV..... 53
3.3	Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas 57
3.4	Requisitos de metal de aporte para aplicaciones descubiertas expuestas para aceros resistentes al ambiente 60
3.5	Tamaño mínimo precalificado de las soldaduras con PJP (E) 60
3.6	Requisitos de la WPS precalificada 61
3.7	Variables de la WPS precalificada 62
4.1	Calificación de la WPS—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa, conducto y tubo rectangular..... 120
4.2	Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado 121
4.3	Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—Calificación de la WPS: soldaduras en ranura con PJP..... 123
4.4	Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—Calificación de la WPS: soldaduras en filete..... 123
4.5	Cambios de variables esenciales de Registro de la Calificación del Procedimiento (PQR, por sus siglas en inglés) que requieren recalificación de la WPS para los procesos SMAW, SAW, GMAW, FCAW y GTAW..... 124
4.6	Cambios de variables esenciales complementarias de PQR para aplicaciones de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) que requieren recalificación de la WPS para los procesos SMAW, SAW, GMAW, FCAW y GTAW..... 127
4.7	Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para ESW o EGW 128
4.8	Tabla 3.1, Tabla 4.9 y aceros no enumerados calificados por PQR 129
4.9	Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4..... 130
4.10	Calificación del soldador y operario de soldadura—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa 135
4.11	Calificación del soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y rango de espesor y diámetro calificados 136
4.12	Cambios de variables esenciales del desempeño del personal de soldadura que requiere recalificación..... 138
4.13	Grupos de calificación de electrodos 138
4.14	Requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)..... 139
4.15	Reducción de la temperatura del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)..... 139
5.1	Exposición atmosférica admisible de electrodos de bajo hidrógeno 180
5.2	Tiempo mínimo de retención 180
5.3	Tratamiento térmico alternativo de alivio de tensiones 180

Tabla

Página N.º

5.4	Límites de aceptación y reparación de discontinuidades laminares provocadas en la fábrica en las superficies de corte	180
5.5	Tolerancia de contraflecha para vigas comunes	181
5.6	Tolerancia de contraflecha para vigas comunes sin cartela de concreto diseñada	181
5.7	Tamaños mínimos de la soldadura en filete	181
5.8	Perfiles de soldadura	182
5.9	Programas de perfiles de soldadura	182
6.1	Criterios de aceptación de la inspección visual	209
6.2	Criterios de aceptación-rechazo con UT (conexiones no tubulares cargadas estáticamente)	210
6.3	Criterios de aceptación-rechazo con UT (conexiones no tubulares cargadas cíclicamente)	211
6.4	Requisitos para IQI de tipo orificio	212
6.5	Requisitos para IQI de tipo alambre	212
6.6	Selección y colocación de IQI	213
6.7	Ángulo de ensayo	214
6.8	Requisitos de calificación y calibración de equipos de UT	216
7.1	Requisitos de propiedades mecánicas para pernos	251
7.2	Tamaño mínimo de la soldadura en filete para pernos de diámetro pequeño	251
9.1	Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga	274
9.2	Esfuerzos admisibles en las soldaduras de conexiones tubulares	275
9.3	Categorías de esfuerzo para el tipo y la ubicación del material para secciones circulares	277
9.4	Limitaciones de la categoría de fatiga sobre el tamaño de la soldadura o el espesor y el perfil de la soldadura (conexiones tubulares)	279
9.5	Dimensiones de pérdida Z para el cálculo de los tamaños mínimos de la soldadura con PJP precalificadas para conexiones tubulares en T-, Y- y K-	279
9.6	Términos para la resistencia de conexiones (secciones circulares)	280
9.7	Aplicaciones de detalles de juntas para conexiones tubulares con CJP precalificadas en T-, Y- y K-	280
9.8	Dimensiones de juntas y ángulos en ranura precalificados para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K- y conexiones en K- realizadas con SMAW, GMAW-S y FCAW	281
9.9	Calificación de la WPS—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa, conducto y tubo rectangular	282
9.10	Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados	283
9.11	Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—Calificación de la WPS: soldaduras en ranura con PJP	285
9.12	Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—Calificación de la WPS: soldaduras en filete	285
9.13	Calificación del soldador y operario de soldadura—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa, conducto y tubo rectangular	286
9.14	Calificación del soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y rango de espesor y diámetro calificados	287
9.15	Tolerancias de abertura de la raíz tubular, juntas a tope soldadas sin respaldo	289
9.16	Criterios de aceptación de la inspección visual	290
9.17	Requisitos para IQI de tipo orificio	291
9.18	Requisitos para IQI de tipo alambre	291
9.19	Selección y colocación de IQI	292
B.1	Factores de equivalencia de tamaño de la pierna de la soldadura en filete para juntas en T oblicuas	334
D.1	Rigidizadores intermedios en ambos lados del alma	338
D.2	Sin rigidizadores intermedios	338
D.3	Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma	339
E.1	Rigidizadores intermedios en ambos lados del alma, vigas interiores	342

Tabla**Página N.º**

E.2	Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma, vigas exteriores	343
E.3	Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma, vigas interiores	344
E.4	Rigidizadores intermedios en ambos lados del alma, vigas exteriores	345
E.5	Sin rigidizadores intermedios, vigas interiores o exteriores	345
H.1	Agrupamiento del índice de susceptibilidad como función del nivel de hidrógeno “H” y parámetro de composición P_{cm}	358
H.2	Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción	358
Q.1	Criterios de aceptación-rechazo	424
U.1	Clasificaciones de electrodos de acero al carbono con requisitos fijos de AWS A5.36/A5.36M	453
U.2	Requisitos del ensayo de tracción de AWS A5.36/A5.36M	454
U.3	Requisitos de ensayos de impacto Charpy de AWS A5.36/A5.36M	454
U.4	Características de la utilidad del electrodo	455
U.5	Requisitos de composición de AWS A5.36/A5.36M para gases de protección	457
U.6	Requisitos de la composición química del metal de soldadura	458
U.7	Requisitos de procedimiento de AWS A5.20/A5.20M para el indicador complementario opcional “D”	460
U.8	Requisitos de procedimiento de AWS A5.36/A5.36M para indicador complementario opcional “D”	460
U.9	Comparación de clasificaciones de las especificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 con clasificaciones fijas y abiertas de la especificación AWS A5.36 para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples	461
<i>Comentario</i>		
C-3.1	Rangos de corriente típicos para procesos GMAW-S en acero	498
C-8.1	Guía para la idoneidad de la soldadura	549
C-8.2	Relación entre el espesor de la placa y el radio de la fresa	549
C-9.1	Estudio de los límites de diámetro/espesor y ancho plano/espesor para tubos	572
C-9.2	Factores de diseño sugeridos	573
C-9.3	Valores de JD	573
C-9.4	Placas de acero estructurales	574
C-9.5	Conductos de acero estructural y perfiles tubulares	575
C-9.6	Perfiles de acero estructural	575
C-9.7	Matriz de clasificación para aplicaciones	576
C-9.8	Condiciones del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)	576
C-9.9	Valores del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)	577
C-9.10	Valores de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) HAZ	577

Lista de figuras

Figura	Página N.º
2.1	Tamaño máximo de la soldadura en filete a lo largo de los bordes de las juntas traslapadas 36
2.2	Transición de las juntas a tope entre piezas de espesores desiguales (no tubulares cargadas cíclicamente) 37
2.3	Transición de espesores (no tubulares cargadas estáticamente) 38
2.4	Soldaduras en filete cargadas transversalmente 38
2.5	Longitud mínima de soldaduras en filete longitudinales en el extremo de la placa o barras planas 39
2.6	Terminación de soldaduras cerca de bordes sometidos a tracción 39
2.7	Remate de conexiones flexibles 40
2.8	Soldaduras en filete en lados opuestos de un plano común 40
2.9	Placas de relleno delgadas en juntas empalmadas 41
2.10	Placas de relleno gruesas en juntas empalmadas 41
2.11	Rango de esfuerzo admisible para carga aplicada cíclicamente (fatiga) en conexiones no tubulares (gráfico de la Tabla 2.5) 42
2.12	Transición de ancho (no tubular cargada cíclicamente) 43
3.1	Cordón de soldadura en donde la profundidad y el ancho exceden el ancho de la cara de soldadura 64
3.2	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con PJP precalificada (dimensiones en pulgadas) 66
3.2	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con PJP precalificada (dimensiones en milímetros) 74
3.3	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en pulgadas) 82
3.3	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en milímetros) 93
3.4	Detalles de la junta en T oblicua precalificada (no tubular) 104
3.5	Detalles de la junta de soldadura en filete precalificada (dimensiones en pulgadas) 105
3.5	Detalles de la junta de soldadura en filete precalificada (dimensiones en milímetros) 106
3.6	Junta en esquina, en T y en ranura con CJP precalificada 107
4.1	Posiciones de soldaduras en ranura 140
4.2	Posiciones de soldaduras en filete 141
4.3	Posiciones de placas de ensayo para soldaduras en ranura 142
4.4	Posiciones de placas de ensayo para soldaduras en filete 143
4.5	Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas—ESW y EGW—Calificación de la WPS 144
4.6	Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas de más de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor— Calificación de la WPS 145
4.7	Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor y menos— Calificación de la WPS 146
4.8	Probetas de doblado de cara y raíz 147
4.9	Probetas de doblado lateral 148
4.10	Probetas de tracción de sección reducida 149
4.11	Plantilla guía para ensayo de doblado guiado 150
4.12	Plantilla guía para ensayo de doblado guiado envolvente alternativo 151
4.13	Plantilla guía para ensayo de doblado guiado alternativo con rodillos para expulsión de la probeta por la parte inferior 151
4.14	Probetas de tracción del metal de soldadura 152
4.15	Ensayos de solidez de la soldadura en filete para calificación de la WPS 153
4.16	Placa de ensayo para espesor ilimitado—Calificación del soldador y ensayos de verificación de consumibles de soldadura en filete 154

Figura**Página N.º**

4.17	Placa de ensayo para espesor ilimitado—Calificación del operario de soldadura y ensayos de verificación de consumibles de soldadura en filete	154
4.18	Ubicación de la probeta en placa de ensayo soldada de 1 pulgada [25 mm] de espesor—Verificación de consumibles para calificación de la WPS de soldaduras en filete.....	155
4.19	Placa de ensayo opcional para espesor ilimitado—Posición horizontal—Calificación del soldador.....	156
4.20	Placa de ensayo para espesor limitado—Todas las posiciones—Calificación del soldador.....	157
4.21	Placa de ensayo opcional para espesor limitado—Posición horizontal—Calificación del soldador	158
4.22	Placa de ensayo de doblado de raíz de soldaduras en filete—Calificación del soldador o del operario de soldadura—Opción 2	159
4.23	Método de rotura de probeta—Calificación del soldador de punteado	160
4.24	Junta a tope para calificación del operario de soldadura—ESW y EGW	160
4.25	Placa de ensayo de rotura de soldadura en filete y macroataque—Calificación del soldador o del operario de soldadura Opción 1	161
4.26	Placa de prueba de macroataque de soldadura de tapón—Calificación del soldador o del operario de soldadura y calificación de la WPS	162
4.27	Probeta de rotura de soldadura en filete—Calificación del soldador de punteado	163
4.28	Ubicaciones de probeta de ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)	164
5.1	Discontinuidades de borde en material de corte	183
5.2	Geometría de orificio de acceso de soldadura	184
5.3	Tolerancias de mano de obra en el montaje de juntas soldadas en ranura	185
5.4	Requisitos para perfiles de soldadura.....	186
6.1	Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente	218
6.2	Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión)	223
6.3	Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión).....	228
6.4	IQI tipo orificio	233
6.5	IQI de tipo alambre	234
6.6	Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales de 10 pulgadas [250 mm] de longitud y mayores	235
6.7	Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales de menos de 10 pulgadas [250 mm].....	236
6.8	Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición de 10 pulgadas [250 mm] de longitud y mayores	237
6.9	Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición de menos de 10 pulgadas [250 mm] de longitud	238
6.10	Bloques de borde para RT	238
6.11	Cristal de transductor	239
6.12	Procedimiento de calificación de la unidad de búsqueda utilizando el bloque de referencia IIW	239
6.13	Bloque típico tipo IIW	240
6.14	Bloques de calificación	241
6.15	Vista del plano de los patrones de escaneo por UT.....	243
6.16	Posiciones del transductor (típicas).....	244
7.1	Dimensiones y tolerancias de pernos con cabeza de tipo estándar	252
7.2	Dispositivo típico de ensayo de tracción.....	252
7.3	Disposición de ensayo de torsión y tabla de ensayos de torsión.....	253
7.4	Dispositivo de ensayo de doblado.....	254
7.5	Tipo de dispositivo sugerido para el ensayo de calificación de pernos pequeños	254
9.1	Rangos de esfuerzo de fatiga admisible y rangos de deformación para categorías de esfuerzos, estructuras tubulares para servicio atmosférico	293

Figura**Página N.º**

<u>9.2</u>	Partes de una conexión tubular	294
<u>9.3</u>	Junta traslapada soldada con filete (tubular)	297
<u>9.4</u>	Radio de la proyección de la soldadura en filete para conexiones tubulares en T-, Y- y K-	297
<u>9.5</u>	Esfuerzo de cizallamiento por punzonado	298
<u>9.6</u>	Detalle de junta traslapada	298
<u>9.7</u>	Limitaciones para conexiones rectangulares en T-, Y- y K-	299
<u>9.8</u>	Conexiones en K- traslapadas	299
<u>9.9</u>	Transición de espesor de juntas a tope entre piezas de espesores desiguales (tubulares)	300
<u>9.10</u>	Juntas tubulares precalificadas soldadas en filete realizadas con SMAW, GMAW y FCAW	301
<u>9.11</u>	Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y- y K- con PJP	302
<u>9.12</u>	Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y- y K- con CJP	305
<u>9.13</u>	Definiciones y selecciones detalladas para conexiones tubulares en T-, Y- y K- con CJP precalificadas	306
<u>9.14</u>	Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K— Perfiles planos estándar para espesores limitados	307
<u>9.15</u>	Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K— Perfil con pie del filete para espesores intermedios	308
<u>9.16</u>	Detalles de la junta precalificada para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K— Perfil cóncavo mejorado para secciones pesadas o fatiga	309
<u>9.17</u>	Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en ranura	310
<u>9.18</u>	Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en filete	311
<u>9.19</u>	Ubicación de probetas de ensayo en tubo de ensayo soldado—Calificación para la WPS	312
<u>9.20</u>	Ubicación de probetas de ensayo para tubería rectangular soldada—Calificación para la WPS	313
<u>9.21</u>	Ensayo de solidez de la soldadura en filete de conductos —Calificación para la WPS	314
<u>9.22</u>	Junta tubular a tope—Calificación del soldador con y sin respaldo	315
<u>9.23</u>	Junta tubular a tope—Calificación de la WPS con y sin respaldo	315
<u>9.24</u>	Ensayo de talón de ángulo agudo (no se muestran restricciones)	316
<u>9.25</u>	Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías rectangulares (≥ 6 pulgadas [150 mm] de diám. ext.)—Calificación del soldador y de la WPS	317
<u>9.26</u>	Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías rectangulares (< 4 pulgadas [100 mm] de diám. ext.)—Calificación del soldador y de la WPS	318
<u>9.27</u>	Ensayo de macroataque de juntas en esquina para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en tuberías rectangulares para soldaduras en ranura con CJP—Calificación del soldador y de la WPS	319
<u>9.28</u>	Ubicación de probetas de ensayo en conducto y tubería rectangular de ensayo soldadas—Calificación del soldador	320
<u>9.29</u>	Indicaciones de Clase R	321
<u>9.30</u>	Indicaciones de Clase X	323
<u>9.31</u>	Exposición de pared simple—Vista de pared simple	324
<u>9.32</u>	Exposición de pared doble—Vista de pared simple	324
<u>9.33</u>	Exposición de pared doble—Vista de pared doble (elíptica); mínimo dos exposiciones	325
<u>9.34</u>	Exposición de pared doble—Vista de pared doble; mínimo tres exposiciones	325
<u>9.35</u>	Técnicas de escaneo	326
<u>A.1</u>	Soldaduras en filete	329
<u>A.2</u>	Soldadura en ranura de bisel sin refuerzo	330
<u>A.3</u>	Soldadura en ranura de bisel con soldadura en filete reforzada	330
<u>A.4</u>	Soldadura en ranura de bisel con soldadura en filete reforzada	331
<u>A.5</u>	Soldadura en ranura abocinada de bisel sin refuerzo	331
<u>A.6</u>	Soldadura en ranura abocinada de bisel con soldadura en filete reforzada	332
<u>F.1</u>	Gráficas de contenido de temperatura-humedad a utilizar junto con el programa de ensayo para determinar el tiempo extendido de exposición atmosférica de los electrodos SMAW de bajo hidrógeno	348
<u>F.2</u>	Gráficas de contenido de aplicación de temperatura-humedad para determinar el tiempo de exposición atmosférica de los electrodos SMAW de bajo hidrógeno	349
<u>G.1</u>	Otros bloques aprobados y posición típica del transductor	353

Figura**Página N.º**

H.1	Zona de clasificación de aceros	360
H.2	Índice de enfriamiento crítico para 350 HV y 400 HV	360
H.3	Gráficos para determinar los índices de enfriamiento para soldaduras en filete SAW de pasada única.....	361
H.4	Relación entre el tamaño de la soldadura en filete y la entrada de energía	364
Q.1	Reflector de referencia estándar	425
Q.2	Bloque de calibración recomendado	425
Q.3	Reflector estándar típico (ubicado en las maquetas de soldaduras y soldaduras de producción)	426
Q.4	Corrección de transferencia	427
Q.5	Profundidad de onda de compresión (calibración de barrido horizontal)	427
Q.6	Calibración de sensibilidad de onda de compresión	428
Q.7	Calibración de sensibilidad y distancia de onda de cizallamiento	428
Q.8	Métodos de escaneo	429
Q.9	Características de discontinuidad esférica	430
Q.10	Características de discontinuidad cilíndrica.....	430
Q.11	Características de discontinuidad plana	431
Q.12	Dimensión de altura de la discontinuidad	431
Q.13	Dimensión de longitud de la discontinuidad	432
Q.14	Marcado en la pantalla	432
Q.15	Informe de UT (procedimiento alternativo).....	433
R.1	Definición de términos para alfa calculada.....	435
U.1	Sistema de clasificación abierta AWS A5.36/A5.36M	466

Comentario

C-2.1	Equilibrio de soldaduras en filete en torno a un eje neutro.....	485
C-2.2	Planes de cizallamiento para soldaduras en filete y ranura.....	485
C-2.3	Carga excéntrica.....	486
C-2.4	Relación carga/deformación para soldaduras.....	486
C-2.5	Ejemplo de un grupo de soldadura con carga oblicua.....	487
C-2.6	Solución gráfica de la capacidad de un grupo de soldadura con carga oblicua	488
C-2.7	Juntas traslapadas soldadas en filete simple	489
C-3.1	Oscilogramas y esquemas de la transferencia de metales de GMAW-S	498
C-3.2	Ejemplos de agrietamiento de línea central	499
C-3.3	Detalles de preparaciones alternativas de la ranura para juntas en esquina precalificadas.....	499
C-4.1	Tipo de soldadura sobre conducto que no requiere calificación del conducto.....	504
C-5.1	Ejemplos de esquinas reentrantes inaceptables.....	515
C-5.2	Ejemplos de buenas prácticas para corte de recortes redondeados.....	515
C-5.3	Desplazamiento admisible en miembros colindantes	516
C-5.4	Corrección de miembros desalineados.....	516
C-5.5	Método típico para determinar las variaciones en la planicidad del alma de viga.....	517
C-5.6	Ilustración que muestra los métodos de medición de contraflecha.....	518
C-5.7	Medición de alabeo e inclinación de la brida.....	519
C-5.8	Tolerancias en puntos de soporte	520
C-6.1	Juntas en esquina o en T a 90 ° con respaldo de acero.....	532
C-6.2	Juntas en esquina o en T oblicuas	532
C-6.3	Juntas a tope con separación entre el respaldo y la junta.....	533
C-6.4	Efecto de la abertura de la raíz en juntas a tope con respaldo de acero	533
C-6.5	Resoluciones para el escaneo con respaldo sellado de acero soldado	534
C-6.6	Escaneo con respaldo sellado de acero soldado	534
C-6.7	Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidad para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente.	535
C-6.8	Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidad para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente de 1-1/8 pulgadas [30 mm] y mayores, típico de discontinuidades aleatorias aceptables	536

Figura**Página N.º**

C-6.9	Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción	537
C-7.1	Defectos admisibles en las cabezas de los pernos con cabeza	542
C-8.1	Intrusiones microscópicas	550
C-8.2	Vida útil en fatiga	550
C-8.3	Rectificación de pie con esmerilador de fresa	551
C-8.4	Rectificación de pie normal al esfuerzo	551
C-8.5	Esmerilado efectivo del pie	552
C-8.6	Esmerilado del extremo	552
C-8.7	Martillado	553
C-8.8	Refusión del pie	554
C-9.1	Ilustraciones de los esfuerzos del miembro ramal correspondiente al modo de carga	577
C-9.2	Requisitos mejorados del perfil de soldadura	578
C-9.3	Concepto simplificado del cizallamiento por punzonado	578
C-9.4	Criterio de confiabilidad del cizallamiento por punzonado usando α calculada	579
C-9.5	Transición entre las conexiones de abertura o traslape	580
C-9.6	Teorema de cota (límite) superior	580
C-9.7	Patrones de línea de fluencia	581

Código de soldadura estructural—Acero

1. Requisitos generales

1.1 Alcance

Este código contiene los requisitos para fabricar y montar estructuras de acero soldadas. Cuando este código se estipule en los documentos del contrato, se exigirá el cumplimiento de todas las disposiciones del código, excepto aquellas que el ingeniero (véase 1.4.1) o los documentos del contrato modifiquen o eximan específicamente.

El siguiente es un resumen de las secciones del código:

1. Requisitos generales. Esta sección contiene información básica sobre el alcance y las limitaciones del código, las definiciones clave y las principales responsabilidades de las partes involucradas en las construcciones de acero.

2. Diseño de conexiones soldadas. Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas de miembros tubulares o no tubulares.

3. Precalificación de las WPS. Esta sección contiene los requisitos para eximir una WPS (Especificación del procedimiento de soldadura) de los requisitos de calificación de la WPS de este código.

4. Calificación. Esta sección contiene los requisitos para la calificación de la WPS y las pruebas de calificación de rendimiento que debe aprobar todo el personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y soldadores punteadores) para realizar soldaduras de conformidad con este código.

5. Fabricación. Esta sección contiene los requisitos generales de fabricación y montaje aplicables a estructuras de acero soldadas que se rigen por este código, incluidos los requisitos para metales base, consumibles de soldadura, técnicas de soldadura, detalles soldados, preparación de materiales y montaje, mano de obra, reparación de soldaduras y otros requisitos.

6. Inspección. Esta sección contiene los criterios para las calificaciones y responsabilidades de los inspectores, los criterios de aprobación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar inspecciones visuales y ensayos no destructivos (NDT).

7. Soldadura de pernos. Esta sección contiene los requisitos para la soldadura de pernos a acero estructural.

8. Refuerzo y reparación de estructuras existentes. Esta sección contiene la información básica relacionada con la modificación o la reparación por soldadura de estructuras de acero existentes.

9. Estructuras tubulares. Esta sección contiene requisitos exclusivos para estructuras tubulares. Asimismo, los requisitos de las demás secciones se aplican a las estructuras tubulares, a menos que se especifique lo contrario.

1.2 Limitaciones

El código se desarrolló específicamente para estructuras de acero soldadas que utilizan aceros al carbono o de baja aleación de 1/8 pulgadas [3 mm] de espesor o más gruesos, con un límite elástico mínimo de 100 ksi [690 MPa] o menos. El código puede ser apto para regir la fabricación estructural fuera del alcance del objetivo previsto. Sin embargo, el ingeniero debería evaluar dicha idoneidad y, sobre la base de tales evaluaciones, incorporar en los documentos del contrato cualquier cambio necesario a los requisitos del código para abordar los requisitos específicos de la aplicación que esté fuera del alcance del código. El Comité de Soldadura Estructural recomienda que el ingeniero considere la aplicabilidad de otros códigos D1 de la AWS para aplicaciones que impliquen aluminio (AWS D1.2), láminas de acero con un espesor igual a o menor de 3/16 pulgadas [5 mm] de espesor (AWS D1.3), acero de refuerzo (AWS D1.4) y acero inoxidable (AWS D1.6), refuerzo y reparación de estructuras existentes (AWS D1.7), suplemento sísmico (AWS D1.8) y titanio (AWS D1.9). El *Código de soldadura para puentes* AASHTO/AWS D1.5 se desarrolló específicamente para soldar componentes de puentes de carreteras y se recomienda para esas aplicaciones.

1.3 Definiciones

Los términos de soldadura utilizados en este código se interpretarán de acuerdo con las definiciones proporcionadas en la última edición de la AWS A3.0. *Términos y definiciones de soldadura estándar*, incluidos los términos para la junta adhesiva, soldadura fuerte, soldadura blanda, corte térmico y termorrociado, complementado por el Anexo J de este código y las siguientes definiciones:

1.3.1 Ingeniero. Se define al “Ingeniero” como un individuo debidamente designado que actúa para y en nombre del propietario en todas las cuestiones dentro del alcance del código.

1.3.2 Contratista. Se define al “Contratista” como cualquier empresa o individuo que represente a una empresa, responsable de la construcción, montaje, fabricación o soldadura de conformidad con las disposiciones de este código.

1.3.3 Inspectores

1.3.3.1 Inspector del contratista. Se define al “Inspector del contratista” como la persona debidamente designada que actúa para y en nombre del contratista en todas las cuestiones de inspección y calidad dentro del alcance del código y los documentos del contrato.

1.3.3.2 Inspector de verificación. Se define al “Inspector de verificación” como la persona debidamente designada que actúa para y en nombre del propietario o del ingeniero en todas las cuestiones de inspección y calidad especificadas por el ingeniero.

1.3.3.3 Inspector o inspectores (sin calificar). Cuando el término “inspector” se utiliza sin más calificación respecto de la categoría específica de inspector descritas anteriormente, se aplica de igual forma al inspector del contratista y al inspector de verificación dentro de los límites de responsabilidad descritos en 6.1.2.

1.3.4 OEM (fabricante original del equipo). Se define “OEM” como aquel contratista que asume parte o todas las responsabilidades asignadas por este código al ingeniero.

1.3.5 Propietario. Se define al “Propietario” como el individuo o empresa que ejerce la propiedad legal del producto o el montaje estructural producido según este código.

1.3.6 Términos del código “Debe”, “Debería,” y “Puede”. “Debe,” “debería” y “puede” tienen el siguiente significado:

1.3.6.1 Debe. Las disposiciones del código que usen “debe” son obligatorias excepto que el ingeniero las modifique especialmente en los documentos del contrato.

1.3.6.2 Debería. El uso de la palabra “debería” se utiliza para recomendar prácticas que se consideran beneficiosas, pero no son requisitos.

1.3.6.3 Puede. La palabra “puede” en una disposición permite el uso de procedimientos opcionales o prácticas que se aceptan como una alternativa o complemento de los requisitos del código. Los procedimientos opcionales requieren la aprobación del ingeniero a menos que estén especificados en los documentos del contrato. El contratista puede utilizar cualquier opción sin la aprobación del ingeniero cuando el código no especifique que se requiera su aprobación.

1.4 Responsabilidades.

1.4.1 Responsabilidades del ingeniero. El ingeniero será el responsable del desarrollo de los documentos del contrato que rigen los productos o los montajes estructurales producidos de conformidad con este código. El ingeniero puede agregar, eliminar o modificar los requisitos de este código para cumplir con los requisitos concretos de una estructura específica. Todos los requisitos que modifiquen este código deben incluirse en los documentos del contrato. El ingeniero debe determinar la idoneidad de todos los detalles de las juntas que se utilizarán en un conjunto soldado.

El ingeniero debe especificar en los documentos del contrato, según sea necesario y aplicable, lo siguiente:

(1) Aquellos requisitos del código que son aplicables solamente cuando así lo especifica el ingeniero.

(2) Todas las NDT adicionales que no se mencionen específicamente en el código.

(3) La inspección de verificación, cuando el ingeniero la requiera.

(4) Los criterios de aceptación de soldadura que difieran de los mencionados en la Sección 6.

(5) Los criterios de tenacidad CVN para el metal de soldadura, metal base y/o HAZ cuando se requieran.

(6) Los requisitos para las aplicaciones no tubulares, ya sea que la estructura esté cargada estáticamente o cíclicamente.

(7) Todos los requisitos adicionales que no se traten específicamente en el código.

(8) Para aplicaciones de OEM, las responsabilidades de las partes interesadas.

1.4.2 Responsabilidades del contratista. El contratista será responsable de las WPS, la calificación del personal de soldadura, la inspección del contratista y la realización de los trabajos de acuerdo con los requisitos de este código y de los documentos del contrato.

1.4.3 Responsabilidades del inspector

1.4.3.1 Inspección del contratista. La inspección del contratista estará a cargo del contratista y deberá realizarse según sea necesario para garantizar que los materiales y la mano de obra cumplan con los requisitos de los documentos del contrato.

1.4.3.2 Inspección de verificación. El ingeniero debe determinar si se debe realizar la inspección de verificación. El ingeniero y el inspector de verificación deben establecer las responsabilidades para la inspección de verificación.

1.5 Aprobación

Todas las referencias a la necesidad de aprobación deben interpretarse como la aprobación por parte de la autoridad con jurisdicción o el ingeniero.

1.6 Símbolos de soldadura

Los símbolos de soldadura deben ser los que se muestran en la edición AWS A2.4:2007, *Símbolos estándar para la soldadura, la soldadura fuerte y los ensayos no destructivos*. Las condiciones especiales deben explicarse completamente mediante notas o detalles.

1.7 Precauciones de seguridad

Los aspectos y cuestiones de seguridad y de salud están más allá del alcance de esta norma y, por lo tanto, no se tratan completamente en este documento. Es responsabilidad del usuario establecer prácticas adecuadas de seguridad y salud. En las siguientes fuentes encontrará información de salud y seguridad:

Sociedad Americana de Soldadura:

(1) ANSI Z49.1, *Seguridad de los procesos de soldadura, corte y afines*

(2) Hoja informativa sobre seguridad y salud de la AWS

(3) Otra información de seguridad y salud en el sitio web de la AWS

Fabricantes de materiales o equipos.

(1) Hojas de datos de seguridad suministradas por los fabricantes de los materiales

(2) Manuales operativos suministrados por los fabricantes de los equipos

Agencias regulatorias aplicables

El trabajo realizado de acuerdo con esta norma puede implicar el uso de materiales considerados peligrosos y puede suponer operaciones o equipos que ocasionen lesiones o la muerte. Esta norma no pretende abordar todos los riesgos de seguridad y salud que puedan surgir. El usuario de esta norma debe establecer un programa de seguridad adecuado a fin de tratar tales riesgos, además de cumplir con los requisitos regulatorios. Al desarrollar el programa de seguridad debe tomarse en cuenta la norma ANSI Z49.1.

1.8 Unidades de medida estándar

Esta norma utiliza tanto las unidades de uso acostumbrado en EE. UU. como las del Sistema Internacional de Unidades (SI). Las últimas se muestran entre corchetes ([]) o en las columnas correspondientes en las tablas y figuras. Las medidas pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema debe usarse en forma independiente.

1.9 Documentos de referencia

El anexo S contiene una lista de todos los documentos a los que se hace referencia en este código.

2. Diseño de conexiones soldadas

2.1 Alcance

Esta sección incluye los requisitos para el diseño de conexiones soldadas. Está dividida en tres partes, de la siguiente manera:

Parte A—Requisitos comunes para el diseño de conexiones soldadas (miembros tubulares y no tubulares)

Parte B—Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas estática o cíclicamente). Los requisitos se deben aplicar además de los requisitos de la Parte A.

Parte C—Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas cíclicamente). Cuando corresponda, los requisitos se deben aplicar además de los requisitos de las Partes A y B.

Parte A *Requisitos comunes para el* *diseño de conexiones soldadas* *(miembros tubulares y no tubulares)*

2.2 Generalidades

Esta parte contiene los requisitos aplicables al diseño de todas las conexiones soldadas de estructuras tubulares y no tubulares, independientemente de la carga.

2.3 Planos y especificaciones del contrato

2.3.1 Información de planos y dibujos. La información completa con respecto a la designación de la especificación del metal base (véase 3.3 y 4.8.3), la ubicación, el tipo, el tamaño y el alcance de todas las soldaduras debe mostrarse claramente en los planos y las especificaciones del contrato, de aquí en adelante denominados “documentos del contrato”. Si el Ingeniero requiere que se realicen soldaduras específicas en el campo, deben estar designadas en los documentos del contrato. Los planos de construcción y montaje, en adelante denominados

“planos de taller”, deben distinguir claramente entre las soldaduras de taller y de campo.

2.3.2 Requisitos de tenacidad a la entalla. Si se requiere resiliencia de entalla de juntas soldadas, el Ingeniero debe especificar el mínimo de energía absorbida con la correspondiente temperatura de ensayo para la clasificación del metal de aporte que se utilizará, o debe especificar que las WPS se califiquen con ensayos con el péndulo de Charpy (CVN). Si se requieren WPS con ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), el Ingeniero debe especificar el mínimo de energía absorbida, la temperatura de ensayo y si el ensayo CVN requerido se realizará en metal de soldadura o tanto en el metal de soldadura como en la HAZ (véase 4.2.1.3 y Sección 4, Parte D).

2.3.3 Requisitos específicos de soldadura. El Ingeniero, en los documentos del contrato, y el Contratista, en los planos de taller, deben indicar aquellas juntas o grupos de juntas en los que el Ingeniero o el Contratista requieren un orden de montaje específico, una secuencia de soldadura, una técnica de soldadura u otras precauciones especiales. Véase las limitaciones sobre la aplicación de soldadura ESW y EGW en 5.4.1 y C-5.4.1.

2.3.4 Tamaño y longitud de la soldadura. Los planos de diseño del contrato deben especificar la longitud de soldadura efectiva y, para las soldaduras en ranura con PJP, el tamaño requerido de la soldadura “(E)”.

En el caso de soldaduras en filete y juntas en T oblicuas, debe proporcionarse lo siguiente en los documentos del contrato.

(1) Para soldaduras en filete entre piezas con superficies que coinciden en un ángulo de entre 80° y 100°, los documentos del contrato deben especificar el tamaño de la pierna de la soldadura en filete.

(2) Para soldaduras entre piezas con superficies que coinciden en un ángulo menor a 80° y mayor a 100°, los documentos del contrato deben especificar la garganta efectiva.

En caso de que el diseño requiera el uso de remates y retenciones para soldaduras en filete, se deberán indicar en los documentos del contrato.

2.3.5 Requisitos de los planos de taller. Los planos de taller deben indicar claramente, mediante símbolos o esquemas de soldadura, los detalles de las juntas soldadas

en ranura y la preparación del metal base que se requiere para hacerlas. Deben detallarse tanto el ancho como el espesor del respaldo de acero.

2.3.5.1 Soldaduras en ranura con PJP. Los planos de taller deben indicar las profundidades de la ranura de la soldadura "S" necesarias para alcanzar el tamaño de la soldadura "(E)" requerido para el proceso de soldadura y la posición de soldadura a utilizar.

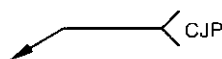
2.3.5.2 Soldaduras en filete y soldaduras en juntas en T oblicuas. En el caso de los planos de taller, debe proporcionarse lo siguiente:

(1) Para soldaduras en filete entre piezas con superficies que coinciden en un ángulo de entre 80° y 100°, los planos de taller deben mostrar el tamaño de la pierna de la soldadura en filete,

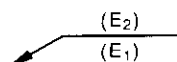
(2) Para soldaduras entre piezas con superficies que coinciden en un ángulo menor a 80° y mayor a 100°, los planos de taller deben mostrar en detalle la disposición de las soldaduras y el tamaño de la pierna requeridos para considerar los efectos de la geometría de la junta y, si corresponde, la reducción de pérdida de dimensión Z para el proceso que se utilizará y el ángulo,

(3) Remates y retenciones.

2.3.5.3 Símbolos de soldadura. Los documentos del contrato deben mostrar los requisitos de la soldadura en ranura con CJP o PJP. No es necesario que los documentos del contrato muestren el tipo de ranura ni las dimensiones de la ranura. El símbolo de soldadura sin las dimensiones y con la leyenda "CJP" en la cola designa una soldadura con CJP de la siguiente manera:



El símbolo de soldadura sin las dimensiones y sin la leyenda CJP en la cola designa una soldadura que desarrollará la resistencia del metal base adyacente en tracción y cizallamiento. Un símbolo de soldadura para una soldadura en ranura con PJP debe mostrar las dimensiones encerradas entre paréntesis debajo "(E₁)" y/o encima "(E₂)" de la línea de referencia para indicar los tamaños de la soldadura en ranura sobre la flecha y otros lados de la junta de soldadura, respectivamente, como se muestra a continuación:



2.3.5.4 Dimensiones de detalles precalificados. Los detalles de junta descritos en 3.12 y 9.10 (PJP) y 3.13 y 9.11 (CJP) han demostrado reiteradamente su idoneidad para proporcionar las condiciones y los espacios necesarios para depositar y fusionar el metal de soldadura, sin imperfecciones, con el metal base. Sin embargo, el uso de estos detalles no debe interpretarse como una consideración de los efectos del proceso de soldadura sobre el metal base más allá del límite de fusión ni la idoneidad del detalle de la junta para una aplicación dada.

2.3.5.5 Detalles especiales. Cuando se requieran detalles especiales de ranura, deberán detallarse en los documentos del contrato.

2.3.5.6 Requisitos específicos de inspección. Cualquier requisito específico de inspección debe constar en los documentos del contrato.

2.4 Áreas efectivas

2.4.1 Soldaduras en ranura

2.4.1.1 Longitud efectiva. La longitud máxima de soldadura efectiva de cualquier soldadura en ranura, independientemente de la orientación, debe ser del ancho de la pieza unida, perpendicular a la dirección del esfuerzo de tracción o compresión. En las soldaduras en ranura que transmiten cizallamiento, la longitud efectiva es la longitud especificada.

2.4.1.2 Tamaño efectivo de las soldaduras en ranura con CJP. El tamaño de la soldadura de una soldadura en ranura con CJP debe tener el espesor de la pieza más delgada unida. No se permitirá el aumento del área efectiva para los cálculos de diseño del refuerzo de la soldadura. Los tamaños de la soldadura en ranura para conexiones en T-, Y- y K- en construcciones tubulares se muestran en la Tabla 9.8.

2.4.1.3 Tamaño mínimo de las soldaduras en ranura con PJP. Las soldaduras en ranura con PJP deben ser iguales o mayores que el tamaño "(E)" especificado en 3.12.2.1 a menos que la WPS esté calificada según la Sección 4.

2.4.1.4 Tamaño efectivo de soldaduras en ranura abocinada. El tamaño efectivo de las soldaduras en ranura abocinada cuando se rellenan al ras debe ser como se muestra en la Tabla 2.1, excepto según se permite en 4.11.5. En las soldaduras en ranura abocinada que no se rellenan al ras, se debe deducir el subllenado en U. En las soldaduras en ranura abocinada en V en superficies con radios R diferentes, se debe usar el R más pequeño. En las soldaduras en ranura abocinada en secciones tubulares rectangulares, R debe tener el doble del espesor de la pared.

2.4.1.5 Área efectiva de soldaduras en ranura. El área efectiva de soldaduras en ranura debe ser la longitud efectiva multiplicada por el tamaño de la soldadura efectiva.

2.4.2 Soldaduras en filete

2.4.2.1 Longitud efectiva (recta). La longitud efectiva de una soldadura en filete recta debe ser la longitud total del filete de tamaño completo, incluyendo los remates. No se debe suponer una reducción en la longitud efectiva en los cálculos de diseño a fin de permitir el cráter de comienzo o detención de la soldadura.

2.4.2.2 Longitud efectiva (curva). La longitud efectiva de una soldadura en filete curvada debe medirse a lo largo de la línea central de la garganta efectiva.

2.4.2.3 Longitud mínima. La longitud mínima de una soldadura en filete debe ser al menos cuatro veces el tamaño nominal, o se deberá tener en cuenta que el ta-

maño efectivo de la soldadura no exceda el 25% de su longitud efectiva.

2.4.2.4 Soldaduras en filete intermitentes (longitud mínima). La longitud mínima de los segmentos de una soldadura en filete intermitente debe ser de 1-1/2 pulgadas [38 mm].

2.4.2.5 Longitud efectiva máxima. En las soldaduras en filete con carga final con un longitud de hasta 100 veces la dimensión de la pierna, se permite tomar la longitud efectiva igual a la longitud real. Cuando la longitud de las soldaduras en filete con carga final sea mayor de 100 pero no más de 300 veces el tamaño de la soldadura, la longitud efectiva debe determinarse multiplicando la longitud real por el coeficiente de reducción β .

$$\beta = 1.2 - 0.2\left(\frac{L}{100w}\right) \leq 1.0$$

donde

β = coeficiente de reducción

L = longitud real de la soldadura con carga final, pulgadas [mm]

w = tamaño de la pierna de la soldadura, pulgadas [mm]

Cuando la longitud exceda de 300 veces el tamaño de la pierna, la longitud efectiva debe tomarse como 180 veces el tamaño de la pierna.

2.4.2.6 Cálculo de la garganta efectiva. En las soldaduras en filete entre piezas que se unen en ángulos entre 80° y 100°, la garganta efectiva debe tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la junta hasta la cara de la soldadura de una soldadura diagramática de 90° (véase Anexo A). En las soldaduras en ángulos agudos entre 60° y 80° y las soldaduras en ángulos obtusos mayores de 100°, el tamaño de la pierna de la soldadura requerido para proporcionar la garganta efectiva específica debe calcularse tomando en cuenta la geometría (véase Anexo B). En las soldaduras en ángulos agudos entre 60° y 30°, el tamaño de la pierna debe incrementarse por la dimensión de pérdida Z para tener en cuenta la incertidumbre del metal de soldadura sólido en la pasada de raíz del ángulo estrecho para el proceso de soldadura que se utilizará (véase 2.4.3).

2.4.2.7 Refuerzo de las soldaduras en filete. La garganta efectiva de una combinación de soldadura en ranura de bisel con PJP y de una soldadura en filete debe ser la distancia más corta entre la raíz de la junta a la cara de soldadura diagramática menos 1/8 pulgadas [3 mm] para cualquier detalle en ranura que requiera dicha deducción (véase Figura 3.2 y Anexo A).

La garganta efectiva de una combinación de soldadura en ranura de bisel con PJP y de una soldadura en filete debe ser la distancia más corta entre la raíz de la junta a la cara de soldadura diagramática menos la deducción para la penetración incompleta de la junta (véase Tabla 2.1, Figura 3.2 y Anexo A).

2.4.2.8 Tamaño mínimo. El tamaño mínimo de la soldadura en filete no debe ser menor que el tamaño requerido para transmitir la carga aplicada ni que el previsto en 5.13.

2.4.2.9 Tamaño máximo de soldadura en juntas traslapadas. El tamaño máximo de la soldadura en filete detallado a lo largo de los bordes del metal base en juntas traslapadas debe ser el siguiente:

(1) el espesor del metal base, para un metal con un espesor menor a 1/4 pulgadas [6 mm] (véase Figura 2.1, Detalle A).

(2) 1/16 pulgadas [2 mm] menos que el espesor del metal base, para un metal con un espesor de 1/4 pulgadas [6 mm] o más (véase Figura 2.1, Detalle B), a menos que se indique en el plano de taller que la soldadura deba construirse para obtener un espesor de garganta total con un tamaño de pierna igual al espesor del metal base. En la condición tal y como se soldó, la distancia entre el borde del metal base y el pie de la soldadura puede ser menor de 1/16 pulgadas [2 mm], siempre que el tamaño de la soldadura sea claramente comprobable.

2.4.2.10 Área efectiva. El área efectiva debe ser la longitud de soldadura efectiva multiplicada por la garganta efectiva.

2.4.3 Juntas en T oblicuas

2.4.3.1 Generalidades. Las juntas en T en las que el ángulo entre las piezas unidas sea mayor de 100° o menor de 80° deberán definirse como juntas en T oblicuas. Los detalles de las juntas en T oblicuas precalificadas se muestran en la Figura 3.4. Los detalles de juntas para lados obtusos y agudos pueden utilizarse juntos o por separado, según las condiciones y el diseño de servicio, tomando debidamente en cuenta los efectos de la excentricidad.

2.4.3.2 Soldaduras en ángulos agudos entre 80° y 60° y en ángulos obtusos mayores de 100°. Cuando las soldaduras se depositen en ángulos entre 80° y 60° o en ángulos mayores de 100°, los documentos del contrato deben especificar la garganta efectiva requerida. Los planos de taller deben mostrar con claridad la ubicación de las soldaduras y las dimensiones de pierna requeridas para satisfacer la garganta efectiva requerida (véase Anexo B).

2.4.3.3 Soldaduras en ángulos entre 60° y 30°. Cuando se requiera una soldadura en un ángulo agudo menor de 60° pero igual o mayor de 30° [Figura 3.4(D)], la garganta efectiva debe aumentarse por la tolerancia de la pérdida Z (Tabla 2.2). Los documentos del contrato deben especificar la garganta efectiva requerida. Los planos de taller deben mostrar las dimensiones de pierna requerida para satisfacer la garganta efectiva, incrementada por la tolerancia de la pérdida Z (Tabla 2.2) (véase en el Anexo B el cálculo de garganta efectiva).

2.4.3.4 Soldaduras en ángulos menores de 30°. Las soldaduras depositadas en ángulos agudos menores de 30° no deben considerarse como eficaces para transmitir fuerzas aplicadas, excepto según las modificaciones para estructuras tubulares de 9.15.4.2.

2.4.3.5 Longitud efectiva. La longitud efectiva de juntas en T oblicuas debe ser la longitud total del tamaño completo de la soldadura. No se debe suponer una reducción en los cálculos de diseño para dar lugar al comienzo o la detención de la soldadura.

2.4.3.6 Tamaño mínimo de la soldadura. Se deben aplicar los requisitos de 2.4.2.8.

2.4.3.7 Garganta efectiva. La garganta efectiva de una junta en T oblicua en ángulos entre 60° y 30° debe ser la distancia mínima desde la raíz hasta la cara diagramática, menos la reducción de dimensión Z. La garganta efectiva de una junta en T oblicua en ángulos entre 80° y 60° y en ángulos mayores de 100° debe tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la junta a la cara de la soldadura.

2.4.3.8 Área efectiva. El área efectiva de las juntas en T oblicuas debe ser la garganta efectiva especificada multiplicada por la longitud efectiva.

2.4.4 Soldaduras en filete en orificios y ranuras

2.4.4.1 Limitaciones de diámetro y ancho. El diámetro mínimo del orificio o el ancho de la ranura en la que una soldadura en filete será depositada no debe ser menor que el espesor de la pieza en la cual se realiza más 5/16 pulgadas [8 mm].

2.4.4.2 Extremos de ranura. Excepto aquellos extremos que se extienden hacia el borde de la pieza, los extremos de la ranura deben ser semicirculares o tener las esquinas redondeadas con un radio no menor que el espesor de la pieza en la que se realiza.

2.4.4.3 Longitud efectiva. En el caso de las soldaduras en filete en orificios o ranuras, la longitud efectiva debe ser la longitud de la soldadura a lo largo de la línea central de la garganta.

2.4.4.4 Área efectiva. El área efectiva debe ser la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva. En el caso de soldaduras en filete de un tamaño tal que se traslapan en la línea central cuando se depositan en orificios o ranuras, el área efectiva no debe tomarse como mayor que el área transversal del orificio o la ranura en el plano de la superficie de contacto.

2.4.5 Soldaduras de tapón y en ranura

2.4.5.1 Limitaciones de diámetro y ancho. El diámetro mínimo del orificio o el ancho de la ranura en la que una soldadura de tapón o en ranura será depositada no debe ser menor que el espesor de la pieza en la que se realiza más 5/16 pulgadas [8 mm]. El diámetro máximo del orificio o el ancho de la ranura no debe exceder el diámetro mínimo más 1/8 pulgadas [3 mm] o 2-1/4 veces el espesor de la pieza, lo que sea mayor.

2.4.5.2 Longitud y forma de la ranura. La longitud de la ranura en la que se depositan las soldaduras en ranura no debe exceder de diez veces el espesor de la pieza en la que se realiza. Los extremos de la ranura deben ser semicirculares o deben tener las esquinas redondeadas con un radio no menor que el espesor de la pieza en que se realiza.

2.4.5.3 Área efectiva. El área efectiva de soldaduras de tapón y en ranura debe ser el área nominal del orificio o de la ranura en el plano de la superficie de contacto.

2.4.5.4 Profundidad mínima de llenado. La profundidad mínima de llenado de las soldaduras de tapón y en ranura debe cumplir con los siguientes requisitos:

(1) para las soldaduras de tapón o en ranura en materiales de más de 5/8 pulgadas [16 mm] de espesor o menos, será igual al espesor del material.

(2) para las soldaduras de tapón o en ranura en materiales de más de 5/8 pulgadas [16 mm] de espesor, será la mitad del espesor del material o 5/8 in [16 mm], lo que sea mayor.

En ningún caso se requiere que la profundidad mínima de llenado sea mayor que el espesor de la pieza más delgada que esté siendo unida.

Parte B

Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas estática o cíclicamente)

2.5 Generalidades

Los requisitos específicos de la Parte B, junto con los requisitos de la Parte A, deben aplicarse a todas las conexiones de miembros no tubulares sometidos a la carga estática. Los requisitos de las Partes A y B, excepto según se modifiquen por la Parte C, también se deberán aplicar a la carga cíclica.

2.6 Esfuerzos

2.6.1 Esfuerzos calculados. Los esfuerzos calculados que se deben comparar con los esfuerzos admisibles deben ser los esfuerzos nominales determinados por medio de análisis adecuados o los esfuerzos determinados a partir de los requisitos de resistencia mínima de la junta que puedan estar indicados en las especificaciones de diseño aplicables que invoquen este código para el diseño de conexiones soldadas.

2.6.2 Esfuerzos calculados a causa de la excentricidad. En el diseño de las juntas soldadas, los esfuerzos calculados que se comparen con los esfuerzos admisibles deben incluir aquellos causados por la excentricidad del diseño, si corresponde, en la alineación de las piezas conectadas y la posición, el tamaño y el tipo de soldaduras, a excepción de los siguientes:

Para las estructuras cargadas estáticamente no se exige la ubicación de las soldaduras en filete para equilibrar las fuerzas sobre el eje o los ejes neutros para las conexiones de extremo de un ángulo único, ángulo doble y miembros similares. En tales miembros, la disposición de la soldadura en el talón y el pie de los miembros en ángulo pueden distribuirse para cumplir con la longitud de los distintos bordes disponibles.

2.6.3 Esfuerzos admisibles del metal base. Los esfuerzos calculados del metal base no deben exceder los esfuerzos admisibles indicados en las especificaciones aplicables de diseño.

2.6.4 Esfuerzos admisibles del metal de soldadura. Los esfuerzos calculados en el área efectiva de las juntas soldadas no deben exceder los esfuerzos admisibles que se muestran en la Tabla 2.3 excepto lo permitido por 2.6.4.2, 2.6.4.3 y 2.6.4.4. El uso de 2.6.4.2 debe limitarse al análisis de una sola soldadura en filete lineal o grupos de soldaduras en filete que consten de soldaduras en filete lineales paralelas, todas cargadas en el mismo ángulo.

2.6.4.1 Esfuerzos en las soldaduras en filete. En las soldaduras en filete, el esfuerzo debe considerarse como cizallamiento aplicado al área efectiva para cualquier dirección de la carga aplicada.

2.6.4.2 Esfuerzo admisible alternativo de las soldaduras en filete. Para una sola soldadura en filete lineal o grupos de soldaduras en filete que consten de soldaduras en filete paralelas lineales todas cargadas en el mismo ángulo y cargadas en el plano a través del centroide del grupo de soldadura, el esfuerzo admisible puede determinarse por la Fórmula (1):

$$\text{Fórmula (1)} \quad F_v = 0,30 F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5}\Theta)$$

donde

- F_v = esfuerzo admisible de la unidad
- F_{EXX} = número de clasificación de electrodo, es decir, clasificación del esfuerzo del electrodo
- Θ = ángulo entre la dirección de la fuerza y el eje del elemento de soldadura, en grados

2.6.4.3 Centro de rotación instantáneo. Los esfuerzos admisibles de los elementos de soldadura dentro de un grupo de soldadura que están cargados en el plano y analizados utilizando un método de centro de rotación instantáneo para mantener la compatibilidad de deformación y el comportamiento de deformación, carga no lineal de soldaduras cargadas en ángulo variable deben ser los siguientes:

$$\begin{aligned} F_{vx} &= \Sigma F_{vix} \\ F_{vy} &= \Sigma F_{viy} \\ F_{vi} &= 0,30 F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5}\Theta) F(\rho) \\ F(\rho) &= [\rho (1,9 - 0,9\rho)]^{0,3} \\ M &= \Sigma [F_{viy}(x) - F_{vix}(y)] \end{aligned}$$

donde

- F_{vx} = Fuerza total interna en dirección x
- F_{vy} = Fuerza total interna en dirección y
- F_{vix} = Componente x de esfuerzo F_{vi}
- F_{viy} = Componente y de esfuerzo F_{vi}
- M = Momento de fuerzas internas respecto del centro de rotación instantáneo
- ρ = Δ_i/Δ_m relación de la deformación del elemento "i" a la deformación en un elemento a máximo esfuerzo
- Δ_m = $0,209 (\Theta + 6)^{0,32} W$, deformación del elemento de soldadura a máximo esfuerzo, pulgadas [mm]
- Δ_u = $1,087 (\Theta + 6)^{-0,65} W$, $< 0,17 W$, deformación del elemento de soldadura sometido al esfuerzo máximo (fractura), por lo general en el elemento más lejano del centro de rotación instantáneo, pulgadas [mm]
- W = tamaño de la pierna de la soldadura en filete,

pulgadas [mm]

- Δ_i = deformación de los elementos de soldadura a niveles intermedios de esfuerzo, linealmente proporcionado a la deformación crítica basada en la distancia desde el centro de rotación instantáneo, pulgadas [mm] = $r_i \Delta_u / r_{crit}$
- x = Componente x_i de r_i
- y = Componente y_i de r_i
- r_{crit} = distancia del centro de rotación instantáneo al elemento de soldadura con una proporción mínima Δ_u/r_i , pulgadas [mm]

2.6.4.4 Grupos de soldaduras cargadas de forma concéntrica. En forma alternativa, para el caso especial de un grupo de soldadura cargada de forma concéntrica, el esfuerzo admisible de cizallamiento para cada elemento de soldadura puede determinarse con la Fórmula (2) y las cargas admisibles de todos los elementos calculados y agregados.

$$\text{Fórmula (2)} \quad F_v = 0,30 C F_{EXX}$$

donde

- F_v = esfuerzo admisible de la unidad
- F_{EXX} = resistencia a la tracción nominal del metal de aporte
- C = el coeficiente de equivalencia de resistencia para soldadura en filete con carga oblicua, elegido de la Tabla 2.4.

2.6.5 Incremento de esfuerzo admisible. Cuando las especificaciones de diseño aplicables permitan el uso de esfuerzos incrementados en el metal base por cualquier razón, se debe aplicar un incremento correspondiente a los esfuerzos admisibles incluidos aquí, pero no a los rangos de esfuerzo permitidos para el metal base o metal de soldadura sometido a carga cíclica.

2.7 Configuración y detalles de junta

2.7.1 Consideraciones generales. Las conexiones soldadas deben estar diseñadas para cumplir con los requisitos de resistencia y rigidez o flexibilidad de las especificaciones generales.

2.7.2 Conexiones y empalmes en miembros en compresión

2.7.2.1 Conexiones y empalmes diseñados para soportar conexiones que no sean a las placas base. Excepto que se especifique lo contrario en los documentos del contrato, los empalmes de columna que están terminados para soportar conexiones deben estar conectados por soldaduras en ranura con PJP o por soldaduras en filete suficientes para mantener las partes en su lugar. Donde los miembros en compresión estén acabados para soportar carga en empalmes o soldaduras de conexión que no sean columnas, deben estar diseñados para mantener todas las partes alineadas y deben estar proporcionados al 50% de la fuerza del miembro. Deben aplicarse los requisitos de la Tabla 3.5 o 5.7.

2.7.2.2 Conexiones y empalmes no terminados para soportar conexiones excepto a las placas base. Las soldaduras que unen empalmes en columnas y los em-

palmas y conexiones en otros miembros en compresión que no estén acabados para soportar carga deben estar diseñados para transmitir la fuerza en los miembros, a menos que en los documentos del contrato o en las especificaciones aplicables se especifiquen soldaduras con CJP o requisitos más restringidos. Deben aplicarse los requisitos de la Tabla 3.5 o Tabla 5.7.

2.7.2.3 Conexiones a placas base. En las placas base de columnas y otros miembros en compresión, la conexión debe ser la adecuada para mantener a los miembros fijos en su lugar.

2.7.3 Carga de metal base en todo el espesor. Las juntas en T y en esquina cuya función es transmitir esfuerzo normal a la superficie de una parte conectada, especialmente cuando el espesor del metal base del miembro de rama o el tamaño requerido de la soldadura sea de 3/4 pulgadas [20 mm] o mayor deben recibir especial atención durante el diseño, la selección del metal base y el detallado. Deben usarse detalles de junta que minimicen la intensidad de esfuerzo en el metal base sometido a esfuerzos en la dirección a través del espesor cuando sea factible. Debe evitarse especificar tamaños de la soldadura más grandes de lo necesario a fin de transmitir el esfuerzo calculado.

2.7.4 Combinaciones de soldaduras. Excepto por lo provisto en el presente documento, si se combinan dos o más soldaduras de diferente tipo (en ranura, filete, tapón o en broche) para compartir la carga en una sola conexión, la capacidad de la conexión debe calcularse como la suma de las soldaduras individuales determinadas con relación a la dirección de la carga aplicada. Este método de agregar capacidades individuales de las soldaduras no se aplica a las soldaduras en filete que refuerzan soldaduras en ranura con PJP (véase Anexo A).

2.7.5 Contorneo de superficie de juntas a tope, en esquina y en T. Las soldaduras en filete pueden aplicarse sobre soldaduras en ranura con CJP y PJP en juntas a tope que unan piezas de ancho o espesor desigual, en esquina y juntas en T para contornear la cara de la soldadura o para reducir las concentraciones de esfuerzos. Cuando tales soldaduras en filete que contornean la superficie se utilizan en aplicaciones cargadas estáticamente, el tamaño no debe ser mayor de 5/16 pulgadas [8 mm]. El refuerzo en filete en la superficie de soldaduras en ranura de juntas en esquina y en T que se produce de manera natural no debe ser causa de rechazo ni es necesario eliminarlo, siempre y cuando no interfiera con otros elementos de la construcción. No será necesario proporcionar un radio mínimo de contorno.

2.7.6 Orificios de acceso a la soldadura. Cuando se requieran orificios de acceso a la soldadura, estos se deben dimensionar para que proporcionen los espacios necesarios para la deposición del metal de soldadura sin imperfecciones. Deben aplicarse los requisitos de forma y tamaño de 5.16.1. El diseñador y el delineante deben reconocer que los orificios del tamaño mínimo requerido pueden afectar el área neta máxima disponible en el metal base conectado.

2.7.7 Soldaduras con remaches o pernos. Se deben permitir las conexiones que están soldadas a un miembro y empernadas o remachadas al otro. Cuando los pernos y las

soldaduras comparten la carga en una superficie de contacto en común, se debe considerar la compatibilidad de deformación entre pernos y soldaduras (véase comentario).

2.8 Configuración y detalles de junta—Soldaduras en ranura

2.8.1 Transiciones de espesor y ancho. Para estructuras cargadas estáticamente no es necesario proporcionar soldaduras en filete que contornean la superficie. Cuando el Ingeniero exija soldaduras en filete que contornean la superficie, deben especificarse en los documentos del contrato (véase Figura 2.3).

2.8.2 Prohibición de soldadura en ranura con CJP de longitud parcial. Las soldaduras en ranura con CJP intermitentes o de longitud parcial deben prohibirse, excepto los miembros armados de elementos conectados por soldaduras en filete que puedan tener soldaduras en ranura de longitud limitada en los puntos de aplicación de cargas localizadas para participar en la transferencia de la carga localizada. La soldadura en ranura debe extenderse a un tamaño uniforme por al menos la longitud requerida para transferir la carga. Más allá de esta longitud, la ranura debe realizarse con una transición de la profundidad hasta cero sobre una distancia no menor de cuatro veces la profundidad. La ranura debe llenarse al ras antes de la aplicación de la soldadura en filete.

2.8.3 Soldaduras en ranura con PJP intermitentes. Las soldaduras en ranura con PJP intermitentes, de bisel abocinadas y las soldaduras en ranura abocinadas pueden usarse para transferir el esfuerzo de cizallamiento entre piezas conectadas.

2.8.4 Eliminación de la lengüeta de soldadura. En las estructuras no tubulares cargadas estáticamente no es necesario eliminar las lengüetas de soldadura. Cuando se requiera la eliminación o cuando los requisitos de terminación de la superficie difieran de los descritos en 5.14.8, estos requisitos deben estar especificados en los documentos del contrato.

2.9 Configuración y detalles de junta—Juntas soldadas en filete

2.9.1 Juntas traslapadas

2.9.1.1 Soldaduras en filete transversales. Las soldaduras en filete transversales en juntas traslapadas que transfieren esfuerzos entre piezas cargadas axialmente deben estar soldadas con doble filete (véase Figura 2.4), excepto donde la deflexión de la junta esté suficientemente restringida para impedir la apertura bajo carga.

2.9.1.2 Traslape mínimo. El traslape mínimo de piezas en las juntas traslapadas sometidas a esfuerzo debe ser cinco veces el espesor de la parte más delgada, pero no menos de 1 pulgada [25 mm]. A menos que se evite la deflexión fuera de plano de las piezas, se deben soldar con doble filete (véase Figura 2.4) o unir por al menos dos li-

neas transversales de soldaduras de tapón o en ranura o dos o más soldaduras longitudinales en filete o en ranura.

2.9.2 Soldaduras en filete longitudinales. Si se usan soldaduras en filete longitudinales solas en juntas traslapadas de conexiones de extremo de barras planas o miembros de placa, la longitud de cada soldadura en filete no debe ser menor que la distancia perpendicular entre ellas (véase Figura 2.5). El espaciado transversal de soldaduras en filete longitudinales utilizado en conexiones de extremo no debe exceder de 16 veces el espesor de la pieza conectada más delgada, excepto que se realice una provisión adecuada (mediante soldaduras intermedias de tapón o en ranura) para prevenir el pandeo o la separación de las piezas. Las soldaduras en filete longitudinal se pueden hacer en los bordes del miembro o en ranuras. El diseño de conexiones que usen soldaduras en filete longitudinal para miembros que no sean secciones transversales de barras planas deben cumplir con lo dispuesto en las especificaciones generales de diseño.

2.9.3 Terminaciones de soldaduras en filete

2.9.3.1 Generalidades. Las terminaciones de soldadura en filete pueden extenderse hasta los extremos o lados de las piezas, pueden detenerse antes o pueden tener remates, excepto según lo delimitado en los siguientes casos:

2.9.3.2 Juntas traslapadas sometidas a tracción. En las juntas traslapadas en las que una parte se extiende más allá del borde o lado de una pieza sometida al esfuerzo de tracción calculado, las soldaduras en filete deben terminar a una distancia no menor que el tamaño de la soldadura desde el comienzo de la extensión (véase Figura 2.6).

2.9.3.3 Máxima longitud del remate. Las juntas soldadas deben tener una distribución que permita la flexibilidad establecida en el diseño de la conexión. Si las piernas sobresalientes del metal base de conexión están unidas a las soldaduras de remate, la longitud del remate no debe exceder de cuatro veces el tamaño nominal de la soldadura (véase Figura 2.7 para ejemplos de conexiones flexibles).

2.9.3.4 Soldaduras de refuerzo transversal. Excepto donde los extremos de los rigidizadores estén soldados a la brida, las soldaduras en filete que unen rigidizadores transversales a las almas de las vigas deben comenzar o terminar a no menos de cuatro veces ni más de seis veces el espesor del alma desde el pie del alma hasta las soldaduras alma-ala.

2.9.3.5 Lados opuestos de un plano común. Las soldaduras en filete en lados opuestos de un plano común deben interrumpirse en la esquina común a ambas soldaduras (véase Figura 2.8), a excepción de lo siguiente:

Cuando se exige sellar las juntas o cuando se necesita una soldadura continua por otras razones, los documentos del contrato deben especificar que se requieren tales soldaduras continuas.

2.9.4 Soldaduras en filete en orificios o ranuras. Las soldaduras en filete en orificios o ranuras en juntas traslapadas pueden usarse para transferir cizallamiento o impedir el pandeo o la separación de las piezas traslapadas.

El espaciado y las dimensiones mínimas de los orificios o de las ranuras para soldadura en filete deben cumplir con los requisitos de 2.4.4.1, 2.4.4.2, 2.9.1, 2.9.2 y 2.10. Estas soldaduras en filete pueden traslaparse sujeto a las limitaciones de las disposiciones de 2.4.4.4. Las soldaduras en filete en orificios o ranuras no deben considerarse soldaduras de tapón o en ranura.

2.9.5 Soldaduras en filete intermitentes. Las soldaduras en filete intermitentes pueden usarse para transferir el esfuerzo entre piezas conectadas.

2.10 Configuración y detalles de junta—Soldaduras de tapón y en ranura

2.10.1 Espaciado mínimo (soldaduras de tapón). El espaciado mínimo de centro a centro de las soldaduras de tapón debe ser cuatro veces el diámetro del orificio.

2.10.2 Espaciado mínimo (soldaduras en ranura). El espaciado mínimo de centro a centro de las líneas de soldaduras en ranura en una dirección transversal a su longitud debe ser cuatro veces el ancho de la ranura. El espaciado mínimo de centro a centro en una dirección longitudinal debe ser dos veces la longitud de la ranura.

2.10.3 Dimensiones precalificadas. Las dimensiones para soldaduras de tapón y en ranura precalificadas se describen en 2.4.5 y 3.10.

2.10.4 Prohibición en aceros revenidos y templados. Se deben prohibir las soldaduras de tapón y en ranura en aceros revenidos y templados con un F_y mínimo especificado mayor de 70 ksi [490 MPa].

2.11 Placas de relleno

Siempre que sea necesario usar placas de relleno en juntas que deban transmitir una fuerza aplicada, las placas de relleno y las soldaduras que las conectan deben cumplir con los requisitos de 2.11.1 o 2.11.2, según corresponda.

2.11.1 Placas de relleno delgadas. Las placas de relleno de un espesor menor de 1/4 pulgadas [6 mm] no deben usarse para transmitir esfuerzos. Cuando el espesor de la placa de relleno sea menor de 1/4 pulgadas [6 mm] o cuando sea mayor de 1/4 pulgadas [6 mm] pero no sea adecuado para transferir la fuerza aplicada entre las piezas conectadas, la placa de relleno debe mantenerse al ras con el borde de la parte externa conectada y el tamaño de la soldadura debe incrementarse sobre el tamaño requerido a una cantidad igual al espesor de la placa de relleno (véase Figura 2.9).

2.11.2 Placas de relleno gruesas. Cuando el espesor de la placa de relleno es adecuado para transferir la fuerza aplicada entre las piezas conectadas, la placa de relleno debe extenderse más allá de los bordes del metal base conectado del lado de afuera. Las soldaduras que unen el metal base conectado del lado de afuera a la placa de relleno deben ser suficientes para transmitir la fuerza a la

placa de relleno y el área sometida a la fuerza aplicada en la placa de relleno debe ser adecuada para evitar el esfuerzo excesivo de la placa de relleno. Las soldaduras que unen la placa de relleno con el metal base conectado del lado interno deben ser suficientes para transmitir la fuerza aplicada (véase Figura 2.10).

2.11.3 Requisito del plano de taller. Las juntas que requieren placas de relleno deben estar detalladas en el plano de taller y de montaje.

2.12 Miembros armados

2.12.1 Soldadura mínima requerida. Si dos o más placas o perfiles laminados se usan para armar un miembro, se debe proporcionar suficiente soldadura (en filete, tapón o en ranura) para hacer que las piezas actúen al unísono pero no menos de la necesaria para transmitir el esfuerzo calculado entre las piezas unidas.

2.12.2 Espaciado máximo de las soldaduras intermitentes

2.12.2.1 Generalidades. Excepto según lo dispuesto por 2.12.2.2 o 2.12.2.3, el espaciado longitudinal máximo de soldaduras intermitentes que conectan un componente de placa a otros componentes no debe exceder de 24 veces el espesor de la placa más delgada ni sobrepasar las 12 pulgadas [300 mm]. El espaciado longitudinal entre soldaduras en filete intermitentes que conectan dos o más perfiles laminados no debe exceder de 24 pulgadas [600 mm].

2.12.2.2 Miembros en compresión. En los miembros en compresión armados, excepto por lo dispuesto en 2.12.2.3, el espaciado longitudinal de segmentos de soldadura en filete intermitente a lo largo de los bordes de un componente de placa externo a otros componentes no debe exceder de 12 pulgadas [300 mm] ni el espesor de la placa multiplicado por $0,730 \sqrt{E/F_y}$ (F_y = límite elástico mínimo especificada y E es el módulo de elasticidad de Young para el tipo de acero que se esté usando). Cuando los segmentos de soldadura en filete intermitente se alternan a lo largo de los extremos opuestos de los componentes de placa del lado externo más delgados que el ancho indicado en la siguiente oración, el espaciado no debe superar las 18 pulgadas [460 mm] ni el espesor de la placa multiplicado por $1,10 \sqrt{E/F_y}$. El ancho no sostenido del alma, la placa de cubierta o las placas de diafragma entre líneas adyacentes de soldaduras no debe exceder el espesor de la placa multiplicado por $1,46 \sqrt{E/F_y}$. Cuando el espaciado transversal no sostenido sobrepase este límite, pero una parte de su ancho no mayor de $1,46 \sqrt{E/F_y}$ veces el espesor cumpla con el requisito de esfuerzo, el miembro debe considerarse aceptable.

2.12.2.3 Acero resistente al ambiente sin pintar. En los miembros de acero resistente al ambiente sin pintar expuestos a la corrosión atmosférica, si se utilizan soldaduras en filete intermitentes, el espaciado no debe exceder de 14 veces el espesor de la placa más delgada ni 7 pulgadas [180 mm].

Parte C

Requisitos específicos para el diseño de conexiones no tubulares (cargadas cíclicamente)

2.13 Generalidades

2.13.1 Aplicabilidad. La Parte C se aplica únicamente a miembros no tubulares y conexiones sometidas a cargas cíclicas, dentro del rango elástico, con frecuencia y magnitud suficientes para iniciar agrietamiento y falla progresiva (fatiga). Las disposiciones de la Parte C proporcionan un método para evaluar los efectos de las fluctuaciones repetidas de esfuerzo en elementos estructurales soldados no tubulares que deben aplicarse para minimizar la posibilidad de una falla por fatiga.

2.13.2 Otras disposiciones pertinentes. Las disposiciones de las Partes A y B deben aplicarse al diseño de los miembros y las conexiones sujetos a los requisitos de la Parte C.

2.13.3 Responsabilidad del Ingeniero. El Ingeniero debe proporcionar detalles completos, incluso los tamaños de las soldaduras, o bien debe especificar el ciclo de vida útil planificado y el rango máximo de momentos, cizallamientos y reacciones de las conexiones en los documentos del contrato.

2.14 Limitaciones

2.14.1 Umbral del rango de esfuerzo. No debe exigirse una evaluación de la resistencia a la fatiga si el rango de esfuerzo de sobrecarga de uso es menor que el umbral del rango de esfuerzo, F_{TH} (véase Tabla 2.5).

2.14.2 Fatiga de ciclo bajo. Las disposiciones de la Parte C no son aplicables a los casos de carga de ciclo bajo que inducen esfuerzos calculados en el rango inelástico del esfuerzo.

2.14.3 Protección contra la corrosión. Las resistencias a la fatiga descritas en la Parte C se aplican a estructuras con protección contra la corrosión adecuada o sometidas únicamente a ambientes levemente corrosivos, tales como las condiciones atmosféricas normales.

2.14.4 Miembros redundantes—no redundantes. Este código ya no reconoce una diferencia entre miembros redundantes y no redundantes.

2.15 Cálculo de esfuerzos

2.15.1 Análisis elástico. Los esfuerzos calculados y los rangos de esfuerzo deben ser nominales, sobre la base del análisis de esfuerzo elástico a nivel del miembro. Los esfuerzos no necesitan ampliarse por factores de concentración de esfuerzo para discontinuidades geométricas locales.

2.15.2 Esfuerzo axial y doblado. En el caso de esfuerzo axial combinado con doblado, el esfuerzo máximo combinado debe ser el que se utiliza para casos de carga aplicada concurrente.

2.15.3 Secciones simétricas. En los miembros con secciones transversales simétricas, las soldaduras de conexión deben estar preferentemente dispuestas en forma simétrica respecto del eje del miembro o, si la disposición simétrica no es útil, los esfuerzos totales, incluso los que surgen de la excentricidad de la junta, deben incluirse en el cálculo del rango de esfuerzo.

2.15.4 Miembros en ángulo. En el caso de miembros en ángulo con esfuerzo axial, el centro de gravedad de las soldaduras de conexión debe caer entre la línea del centro de gravedad de la sección transversal del ángulo y el centro de la pierna conectada, en cuyo caso los efectos de excentricidad pueden ignorarse. Si el centro de gravedad de la soldadura de conexión está fuera de esta zona, los esfuerzos totales, incluso aquellos causados a partir de la excentricidad de la junta desde el centro de gravedad del ángulo, deben incluirse en el cálculo del rango de esfuerzo.

2.16 Esfuerzos y rangos de esfuerzo admisibles

2.16.1 Esfuerzos admisibles. Los esfuerzos unitarios calculados en las soldaduras no deben exceder los esfuerzos admisibles descritos en la Tabla 2.3.

2.16.2 Rangos de esfuerzos admisibles. El rango de esfuerzo se define como la magnitud de fluctuación del esfuerzo que surge de la aplicación y supresión reiteradas de la carga de uso. En el caso de inversión de esfuerzos, el rango de esfuerzos debe calcularse como la suma numérica de los esfuerzos máximos repetidos de tracción y compresión o la suma de los esfuerzos máximos de cizallamiento de la dirección opuesta a un punto dado, que surge de la disposición diferente de la carga de uso. El rango del esfuerzo calculado no debe exceder del máximo calculado por las Fórmulas (2) a (5), según corresponda (véase Figura 2.11 para el gráfico de las Fórmulas (2) a (5) para las categorías de esfuerzo A, B, B', C, D, E, E' y F).

Para las categorías A, B, B', C, D, E y E', el rango de esfuerzo no debe exceder de F_{SR} como se determina en la Fórmula (2).

Fórmula (2)

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f}{N} \right)^{0.333} \geq F_{TH} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{C_f \times 329}{N} \right)^{0.333} \geq F_{TH} \text{ (MPa)} \right]$$

En la que:

F_{SR} = Rango de esfuerzo admisible, ksi [MPa]

C_f = Constante de la Tabla 2.5 para todas las categorías, excepto la categoría F.

N = Número de ciclos de esfuerzo en la vida del diseño.

= Ciclos por día $\times 365 \times$ años de vida del diseño.

F_{TH} = Rango de umbral de esfuerzo de fatiga, es decir, el rango de esfuerzo máximo para vida infinita, ksi [MPa]

Para la categoría de esfuerzo F, el rango de esfuerzo no debe exceder de F_{SR} como se determina en la Fórmula (3).

Fórmula (3)

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f}{N} \right)^{0.167} \geq F_{TH} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{C_f \times 11 \times 10^4}{N} \right)^{0.167} \geq F_{TH} \text{ (MPa)} \right]$$

En la que:

C_f = Constante de la Tabla 2.5 para la categoría F

En los elementos de placa cargados en tensión en los detalles de juntas en cruz, en T y en esquina con soldaduras con CJP, soldaduras con PJP, soldaduras en filete o combinaciones de ellas, transversales a la dirección del esfuerzo, el rango de esfuerzo máximo de la sección transversal del elemento de placa con carga de tensión debe determinarse por (a), (b) o (c) según lo siguiente:

(a) Para la sección transversal de un elemento de placa con carga en tensión, el rango de esfuerzo máximo sobre la sección transversal del metal base en el pie de la soldadura regido por la consideración de iniciación de la grieta desde el pie de la soldadura, el rango de esfuerzo no debe exceder de F_{SR} , según se determina en la Fórmula (2), categoría C, que debe ser igual a:

$$F_{SR} = \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} \geq 10 \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[\left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} \geq 68.9 \text{ (MPa)} \right]$$

(b) Para conexiones de extremo de elementos de placa con carga en tensión que usen soldaduras transversales con PJP, con o sin soldaduras en filete que contornean o de refuerzo, el rango de esfuerzo máximo en la sección transversal del metal base en el pie de la soldadura regido por la consideración de iniciación de grieta desde la raíz de la soldadura no debe exceder de F_{SR} , según se determina en la Fórmula (4).

Fórmula (4)

$$F_{SR} = R_{PJP} \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[R_{PJP} \left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} \right] \text{ (MPa)}$$

En la que:

R_{PJP} = Factor de reducción para juntas con PJP reforzadas o no reforzadas

$$R_{PJP} = \frac{0.65 - 0.59(2a/t_p) + 0.72(w/t_p)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (for in)}$$

$$\frac{1.12 - 1.01(2a/t_p) + 1.24(w/t_p)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (for mm)}$$

2a = la longitud de la cara de la raíz no soldada en la dirección del espesor de la placa con carga de tracción

t_p = el espesor del elemento de placa con carga de tracción (pulgadas o mm)

w = el tamaño de la pierna del filete de refuerzo o de contorno, si hubiera, en la dirección del espesor de la placa con carga de tracción (pulgadas o mm)

(c) **Para conexiones de extremo de elementos de placa con carga en tensión que usan un par de soldaduras en filete**, el rango de esfuerzo máximo sobre la sección transversal del metal base en el pie de la soldadura regido por la consideración de iniciación de grieta desde la raíz de la soldadura debido a la tracción sobre la raíz, no debe exceder de F_{SR} , según se determina en la Fórmula (5). Además, el rango de esfuerzo de cizallamiento en la garganta de la soldadura no debe exceder de F_{SR} por la Fórmula (3) categoría F.

Fórmula (5)

$$F_{SR} = R_{FIL} \left(\frac{44 \times 10^8}{N} \right)^{0.333} \text{ (ksi)}$$

$$F_{SR} = \left[R_{FIL} \left(\frac{14.4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0.333} \right] \text{ (MPa)}$$

En la que:

R_{FIL} = Factor de reducción para juntas que usan únicamente un par de soldaduras en filete transversales

$$R_{FIL} = \frac{0.06 + 0.72 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (for in)}$$

$$R_{FIL} = \frac{0.10 + 1.24 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \leq 1.0 \text{ (for mm)}$$

2.17 Detalles, fabricación y montaje

2.17.1 Transiciones de espesor y ancho

2.17.1.1 Transiciones de espesor de juntas a tope.

Las juntas a tope entre piezas que tienen espesores desiguales y están sometidas a esfuerzos de tracción cíclicos deben tener transiciones suaves entre las superficies de desplazamiento en una pendiente no mayor de 1 en 2-1/2 con la superficie de cada pieza. La transición puede lograrse inclinando las superficies de la soldadura, al biselar la pieza más gruesa o al combinar los dos métodos (véase Figura 2.2).

2.17.1.2 Transiciones de ancho de juntas a tope.

Las juntas a tope entre piezas que tienen ancho desigual y están sometidas a esfuerzo cíclico en el rango de tracción deben tener una transición suave entre los bordes de desplazamiento con una inclinación de no más de 1 sobre 2-1/2 con el borde de cada pieza o se debe proporcionar una transición que tenga un radio mínimo de 24 pulgadas [600 mm] tangente a la pieza más angosta en el centro de la junta a tope (véase Figura 2.12). Puede usarse un rango de esfuerzo aumentado para aceros que tengan un esfuerzo de fluencia mayor de 90 ksi [620 MPa] con detalles que incorporen el radio.

2.17.2 Respaldo

2.17.2.1 Soldaduras para fijar el respaldo de acero.

Tanto los requisitos de las soldaduras para fijar los respaldos de acero como la determinación de si el respaldo debe eliminarse o mantenerse en su lugar deben cumplir lo descrito en 2.17.2.2, 2.17.2.3, 2.17.2.4 y las categorías de rango de esfuerzo de la Tabla 2.5. El Ingeniero debe dejar sentada la categoría de esfuerzo de fatiga en los planos del contrato. El Contratista debe dejar sentada en los planos de taller la ubicación requerida, el detalle de soldadura que se usará, si las soldaduras de punteado deben estar dentro de la ranura o si se debe permitir que estén fuera de la misma y si se debe permitir que el respaldo permanezca en su lugar o se retire para proporcionar la categoría prevista de rango de esfuerzo.

2.17.2.2 Juntas en T y en esquina con CJP realizadas desde un lado. Las soldaduras para fijar el respaldo pueden hacerse dentro o fuera de la ranura de la junta. El respaldo para juntas sometidas a carga de tracción transversal cíclica (fatiga) debe eliminarse y el lado posterior de la junta debe acabarse en forma consistente con la cara de la soldadura. Cualquier discontinuidad inaceptable que se haya descubierto o que se haya ocasionado por la eliminación debe repararse para cumplir con los criterios de aceptación de este código.

2.17.2.3 Juntas a tope con CJP. Las soldaduras para fijar el respaldo pueden hacerse dentro o fuera de la ranura a menos que esté restringido en la descripción de la categoría de esfuerzo. Las soldaduras de punteado ubicadas fuera de la ranura de la junta no deben terminar cerca de las 1/2 pulgadas [12 mm] desde el borde de la pieza conectada. El respaldo puede permanecer en su lugar o retirarse, a menos que esté restringido en la categoría de esfuerzo usada en el diseño.

2.17.2.4 Soldaduras en ranura longitudinal y juntas en esquina. El respaldo de acero, si se lo utiliza, deberá ser continuo a lo largo de la longitud completa de la junta. Las soldaduras para fijar el respaldo pueden hacerse dentro o fuera de la ranura (véase 5.9.1.2).

2.17.3 Soldadura de contorno en juntas en T y en esquina. En juntas transversales en esquina y en T sometidas a tracción o con tracción por el doblado, se debe agregar una sola pasada de soldadura en filete de contorno de tamaño no menor de 1/4 pulgadas [6 mm] en las esquinas reentrantes.

2.17.4 Bordes cortados a llama. Los bordes cortados a llama no requieren rectificado siempre que cumplan con las disposiciones de rugosidad de 5.14.8.3.

2.17.5 Juntas a tope cargadas transversalmente. En las juntas a tope cargadas transversalmente deben usarse lengüetas de soldadura para proporcionar una terminación en cascada de la soldadura fuera de la junta terminada. No deben usarse diques en los extremos. Las lengüetas de soldadura deben eliminarse y se debe acabar la soldadura al ras con el borde del miembro.

2.17.6 Terminaciones de la soldadura en filete. Además de los requisitos de 2.9.3.3, se aplica lo siguiente a las terminaciones de soldadura sometidas a carga cíclica (fatiga). En el caso de conexiones y detalles con fuerzas cíclicas en elementos sobresalientes con una frecuencia y magnitud suficientes como para provocar una falla progresiva iniciándose en un punto de máximo esfuerzo en el extremo de la soldadura, las soldaduras en filete se deben rematar alrededor del lado o del extremo para una distancia no menor a dos veces el tamaño nominal de la soldadura.

2.18 Juntas y soldaduras prohibidas

2.18.1 Soldadura en ranura de un solo lado. Las soldaduras en ranura, hechas desde un solo lado sin respaldo o hechas con un respaldo que no es de acero y que no haya sido calificado de conformidad con la Sección 4 deben prohibirse, excepto que estas prohibiciones para soldaduras en ranura hechas de un solo lado no deban aplicarse en los siguientes casos:

(1) Miembros secundarios o que no soportan esfuerzo.

(2) Juntas en esquina paralelas a la dirección del esfuerzo calculado entre componentes de miembros armados.

2.18.2 Soldaduras en ranura de posición plana. Las soldaduras en ranura con bisel y en ranura en J en juntas a tope soldadas en posición plana deben prohibirse donde sea factible realizar juntas en ranura en V o en U.

2.18.3 Soldaduras en filete inferiores a 3/16 pulgadas [5 mm]. Deben prohibirse las soldaduras en filete inferiores a 3/16 pulgadas [5 mm].

2.18.4 Soldaduras en T y en esquina con CJP con el respaldo en su lugar. Deben prohibirse las soldaduras en esquina con CJP y en T sometidas a esfuerzo de tracción transversal cíclico con la barra de respaldo en su lugar.

2.19 Inspección

Las categorías de fatiga B y C requieren que el Ingeniero garantice que las soldaduras en ranura con CJP sometidas a un esfuerzo aplicado transversal cíclico en el rango de tracción sean inspeccionadas mediante pruebas radiográficas (RT) o pruebas por ultrasonido (UT).

Tabla 2.1
Tamaño efectivo de soldaduras en ranuras abocinadas (véase 2.4.1.4)

Proceso de soldadura	Ranura de bisel abocinada	Ranura abocinada en V
SMAW y FCAW-S	5/16 R	5/8 R
GMAW ^a y FCAW-G	5/8 R	3/4 R
SAW	5/16 R	1/2 R

^a Excepto GMAW-S

Nota: R = radio de superficie exterior.

Tabla 2.2.
Dimensión de pérdida Z (no tubular) (véase 2.4.3.3)

Ángulo diedro Ψ	Posición de soldadura—V u OH			Posición de soldadura—H o F		
	Proceso	Z (pulg.)	Z (mm)	Proceso	Z (pulg.)	Z (mm)
$60^\circ > \Psi \geq 45^\circ$	SMAW	1/8	3	SMAW	1/8	3
	FCAW-S	1/8	3	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	1/8	3	FCAW-G	0	0
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
$45^\circ > \Psi \geq 30^\circ$	SMAW	1/4	6	SMAW	1/4	6
	FCAW-S	1/4	6	FCAW-S	1/8	3
	FCAW-G	3/8	10	FCAW-G	1/4	6
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	1/4	6

Tabla 2.3
Esfuerzos admisibles (véase 2.6.4 y 2.16.1)

Tipo de esfuerzo aplicado	Esfuerzo admisible	Nivel de resistencia del metal de aporte
Soldaduras en ranura con CJP		
Tracción normal al área efectiva ^a	Igual que para el metal base	Se debe utilizar un metal de aporte de igual resistencia ^b
Compresión normal al área efectiva	Igual que para el metal base	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o de una clasificación (10 ksi [70 MPa]) menor que el metal de aporte de igual resistencia.
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura ^c	No es una consideración de diseño de junta soldada	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte de igual resistencia
Cizallamiento en el área efectiva	0,30 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte excepto que el cizallamiento en el metal base no debe exceder de 0,40 × límite elástico del metal base	
Soldaduras en ranura con PJP		
Tracción normal al área efectiva	0,30 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte de igual resistencia
Compresión normal al área efectiva de la soldadura en juntas diseñadas como resistentes	0,90 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte, pero no debe exceder de 0,90 × límite elástico del metal base conectado	
Compresión normal al área efectiva de la soldadura en juntas no diseñadas como resistentes	0,75 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte	
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura ^c	No es una consideración de diseño de junta soldada	
Cizallamiento paralelo al eje del área efectiva	0,30 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte excepto que el cizallamiento en el metal base no debe exceder de 0,40 × límite elástico del metal base	
Soldaduras en filete		
Cizallamiento en el área efectiva o soldadura	0,30 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte excepto que el esfuerzo en la sección neta del área de cizallamiento del metal base no debe exceder de 0,40 × límite elástico del metal base ^{d,e}	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte de igual resistencia
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura ^c	No es una consideración de diseño de junta soldada	
Soldaduras de tapón y en ranura		
Cizallamiento paralelo a la superficie de contacto en el área efectiva ^f	0,30 × clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte de igual resistencia

^a Consulte las definiciones de áreas efectivas en 2.4.

^b Consulte los aceros aprobados por el código con resistencias coincidentes entre el metal base y el metal de aporte en Tabla 3.1, Tabla 3.2, y Tabla 4.9.

^c Los componentes de miembros contruidos unidos por soldaduras en filete y soldaduras en ranura se pueden diseñar sin considerar los esfuerzos de tracción y de compresión en los componentes conectados paralelos al eje de la soldadura, aunque el área de la soldadura normal al eje de la soldadura puede estar incluida en la sección transversal del miembro.

^d La limitación del esfuerzo en el metal base a $0,40 \times$ punto de fluencia del metal base no se aplica al esfuerzo en la pierna de soldadura esquemática; sin embargo, se debe verificar y asegurar que la resistencia de la conexión no esté limitada por el espesor del metal base en el área neta alrededor de la conexión, especialmente en el caso de un par de soldaduras en filete en los lados opuestos de una placa.

^e Alternativamente, véase 2.6.4.2, 2.6.4.3 y 2.6.4.4. Rige la nota d (arriba).

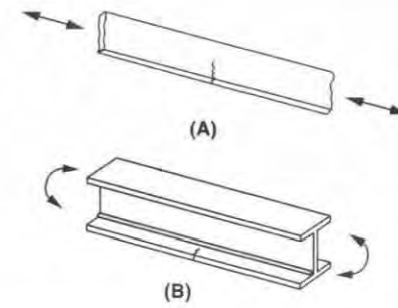
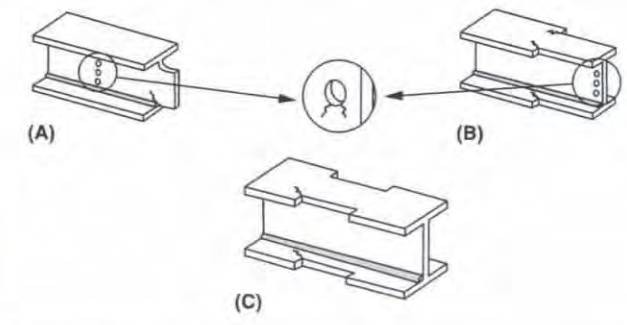
^f La resistencia de la conexión también debe estar limitada por la capacidad de carga de desgarramiento del metal base más delgado en el área perimetral alrededor de la conexión.

Tabla 2.4
Coeficientes de equivalencia de resistencia para soldaduras en filete con carga oblicua
(véase 2.6.4.4)

Ángulo de carga para el elemento analizado	Ángulo de carga para el elemento de soldadura con la menor capacidad de deformación						
Θ	C (90)	C (75)	C (60)	C (45)	C (30)	C (15)	C (0)
0	0,825	0,849	0,876	0,909	0,948	0,994	1
15	1,02	1,04	1,05	1,07	1,06	0,883	
30	1,16	1,17	1,18	1,17	1,10		
45	1,29	1,30	1,29	1,26			
60	1,40	1,40	1,39				
75	1,48	1,47					
90	1,50						

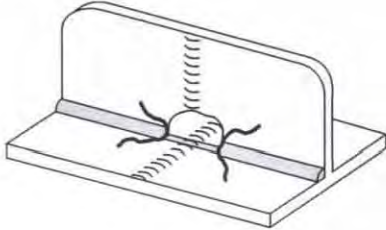
Nota: el elemento de soldadura con la menor capacidad de deformación será el elemento con el mayor ángulo de carga. Se permite la interpolación lineal entre ángulos de carga adyacentes.

Tabla 2.5
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 1—Material simple alejado de cualquier soldadura					
1.1 Metal base, excepto acero resistente al ambiente sin recubrimiento, con superficie laminada o limpia. Bordes cortados a llama con valores de rugosidad de superficie de $1000 \mu\text{in}$ [$25 \mu\text{m}$] o inferior, pero sin esquinas reentrantes.	A	250×10^8	24 [165]	Alejado de cualquier soldadura o conexión estructural	1.1/1.2 
1.2 Metal base, excepto acero resistente al ambiente sin recubrimiento, con superficie laminada o limpia. Bordes cortados a llama con valores de rugosidad de superficie de $1000 \mu\text{in}$ [$25 \mu\text{m}$] o inferior, pero sin esquinas reentrantes.	B	120×10^8	16 [110]	Alejado de cualquier soldadura o conexión estructural	
1.3 Miembro con esquinas reentrantes en recortes redondeados, cortes, bloques u otras discontinuidades geométricas, excepto los orificios de acceso a la soldadura. $R \geq 1$ pulgadas [25 mm] con un radio formado por perforaciones previas, subpunzonado y escariado o o un corte térmico y esmerilado hasta una superficie brillante del metal. $R \geq 3/8$ pulgadas [10 mm] y el radio no debe estar esmerilado hasta una superficie de metal brillante	C E'	44×10^8 3.9×10^8	10 [69] 2,6 [18]	Orificio En cualquier borde externo o en el perímetro del orificio	1.3 

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 1—Material simple alejado de cualquier soldadura (Cont.)					
<u>1.4 Secciones transversales laminadas con orificios de acceso a la soldadura hechos según los requisitos de 2.17.4 y 5.16.1.</u> <u>Acceso al orificio $R \geq 1$ pulgada [25 mm] con un radio formado por perforaciones previas, subpunzonado y escariado o un corte térmico y esmerilado hasta una superficie brillante del metal</u> <u>Acceso al orificio $R \geq 3/8$ pulgadas [10 mm] y el radio no debe estar esmerilado hasta una superficie del metal brillante</u>	<u>C</u> <u>E'</u>	44×10^8 $\frac{3.9}{\times 10^8}$	<u>10 [69]</u> <u>2,6 [18]</u>	En la esquina reentrante del orificio de acceso a la soldadura	1.4 
<u>1.5 Miembros con orificios perforados o escariados.</u> <u>Orificios con pernos pretraccionados</u> <u>Orificios abiertos sin pernos</u>	<u>C</u> <u>D</u>	44×10^8 22×10^8	<u>10 [69]</u> <u>7 [48]</u>	En la sección de la red que se origina al costado del orificio	1.5 
Sección 2—Material conectado en juntas sujetadas en forma mecánica—No utilizado^a					

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 3—Juntas soldadas que unen componentes de miembros armados					
3.1 Metal base y metal soldado en miembros sin accesorios armados de placas o formas conectadas mediante soldaduras en ranura con CJP longitudinales continuas, no ranuradas y soldadas desde el segundo lateral o mediante soldaduras en filete continuas.	B	120×10^8	16 [110]	Desde la superficie o las discontinuidades internas en la soldadura	3.1
3.2 Metal base y metal soldado en miembros sin accesorios armados de placas o formas conectadas mediante soldaduras en ranura con CJP longitudinales continuas con respaldo de acero continuo en el lugar, o mediante soldaduras en ranura con PJP continuas.	B'	61×10^8	12 [83]	Desde la superficie o las discontinuidades internas en la soldadura	3.2

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)22

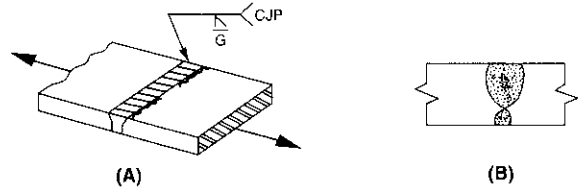
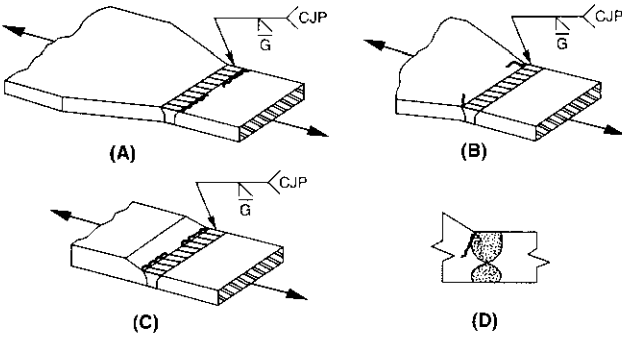
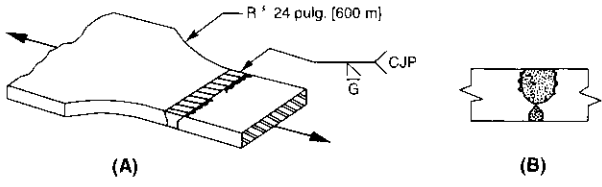
(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 3—Juntas soldadas que unen componentes de miembros armados (Cont.)					
3.6 Metal base en extremos de placas de cubierta soldada de longitud parcial u otros accesorios más anchos que la brida con soldaduras a lo largo de los extremos Espesor de la brida $\leq 0,8$ pulg. [20 mm] Espesor de la brida $> 0,8$ pulg. [20 mm]	E E'	11×10^8 $3,9 \times 10^8$	4,5 [31] 2,6 [18]	En el pie del extremo de la soldadura de la brida o en la terminación de la soldadura longitudinal de la brida	3.6
37 Metal base en extremos de placas de cubierta soldada de longitud parcial más anchas que la brida sin soldaduras a lo largo de los extremos. Espesor de la brida $\leq 0,8$ pulg. [20 mm] No se permite un espesor de la brida $> 0,8$ pulg. [20 mm]	E'	$3,9 \times 10^8$	2,6 [18]	En el borde de la brida en el extremo de la soldadura de la placa cubierta	3.7
Sección 4—Conexiones de extremos con soldadura en filete longitudinal					
4.1 Metal base en la unión de los miembros cargados axialmente con conexiones de extremo soldadas longitudinalmente. Las soldaduras están a cada lado del eje del miembro para equilibrar los esfuerzos de soldadura. $t \leq 0,5$ pulg. [12 mm] $t > 0,5$ pulg. [12 mm]	E E'	11×10^8 $3,9 \times 10^8$	4,5 [31] 2,6 [18]	Comienza desde el extremo de cualquier terminación de soldadura y se extiende hacia el metal base	4.1

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo					
5.1 Metal y metal base de soldadura en empalmes soldados en ranuras con CJP, o adyacente a ellos, en placas, perfiles laminados o secciones transversales armadas sin cambio en la sección transversal con soldaduras esmeriladas básicamente en paralelo a la dirección del esfuerzo e inspeccionados de acuerdo con 2.19.	B	120×10^8	16 [110]	Desde las discontinuidades internas en el metal de soldadura o a lo largo del límite de fusión	5.1 
5.2 Metal y metal base de soldadura en empalmes soldados en ranuras con CJP, o adyacente a ellos, con soldaduras esmeriladas básicamente en paralelo a la dirección del esfuerzo en transiciones de espesor o de ancho realizadas sobre una inclinación no mayor a 1 al 2-1/2 e inspeccionado de acuerdo con 2.19. $F_y < 90$ ksi [620 MPa] $F_y \geq 90$ ksi [620 MPa]	B B'	120×10^8 61×10^8	16 [110] 12 [83]	Desde las discontinuidades internas en el metal de soldadura o a lo largo del límite de fusión o al comienzo de la transición cuando $F_y \geq 90$ ksi [620 MPa].	5.2 
5.3 Metal y metal base de soldadura en empalmes soldados en ranuras con CJP, o adyacente a ellos, con soldaduras esmeriladas básicamente paralelas a la dirección del esfuerzo en transiciones de ancho realizadas en un radio de no menos de 24 pulgadas [600 mm] con el punto de tangencia en el extremo de la soldadura en ranura e inspeccionado de acuerdo a 2.19.	B	120×10^8	16 [110]	Desde las discontinuidades internas en el metal de soldadura o a lo largo del límite de fusión	5.3 

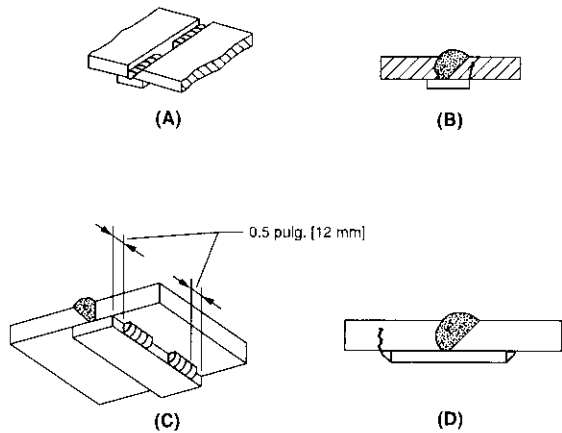
(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo (Cont.)					
5.4 Metal y metal base de soldadura en empalmes o juntas en T o en esquina soldados en ranuras con CJP, o adyacentes a ellos, sin transiciones de espesor o con transición de espesor con inclinaciones no mayores a 1 al 2-1/2, cuando la soldadura de refuerzo no se elimina y se inspecciona de acuerdo con 2.19.	C	44×10^8	10 [69]	Desde la soldadura que se extiende hacia el metal base o a lo largo de la soldadura del metal	5.4

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo (Cont.)					
<u>5.5</u> Metal base y metal de soldadura en empalmes a tope en ranura soldada con CJP <u>transversales</u>, o adyacente a ellos, con respaldo en su lugar. Soldaduras de punteado dentro de la ranura Soldaduras de punteado fuera de la ranura y no más cercanas de 1/2 pulgada [12 mm] del borde de metal base	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4,5 [31]	Desde el pie de la soldadura en ranura o el pie de la soldadura que fija el respaldo cuando corresponde	<u>5.5</u>  (A) (B) (C) (D)

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo (Cont.)					
5.6 Metal base y metal de soldadura en conexiones de extremo transversales de placas a tracción utilizando las soldaduras en ranura con PJP a tope. Juntas en esquina o en T, con filetes reforzados o contornados. F_{SR} debe ser el menor del rango de esfuerzo de la grieta en el pie o en la raíz.					5.6
Grieta iniciándose desde el pie de la soldadura:	C	44×10^8	10 [69]	<u>Iniciándose desde el pie de la soldadura y extendiéndose hacia el metal base</u>	
Grieta iniciándose desde la raíz de la soldadura:	C'	Fórmula (4)	Ninguno	<u>Iniciándose en la raíz de la soldadura extendiéndose hacia y a través de la soldadura</u>	

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo (Cont.)					
5.7 Metal base y metal de soldadura en conexiones de extremo transversales de placas a tracción utilizando las soldaduras en ranura en los lados opuestos de la placa, F_{SR} debe ser el menor del rango de esfuerzo admisible de la grieta en el pie o en la raíz. Grieta iniciándose desde el pie de la soldadura: Grieta iniciándose desde la raíz de la soldadura:	C C"	44×10^8 Fórmula (4)	10 [69] Ninguno	Iniciándose desde el pie de la soldadura y extendiéndose hacia el metal base Iniciándose en la raíz de la soldadura y extendiéndose hacia y a través de la soldadura	5.7 (A) (B) (C) (D) (E)
5.8 Metal base de placas cargadas a tracción y sobre formas incorporadas y almas o bridas de viga laminadas en el pie de las soldaduras en filete transversales, adyacentes a los rigidizadores transversales soldados.	C	44×10^8	10 [69]	Desde discontinuidad geométrica en el pie del filete que se extiende en el metal base	5.8 (A) (B) (C)

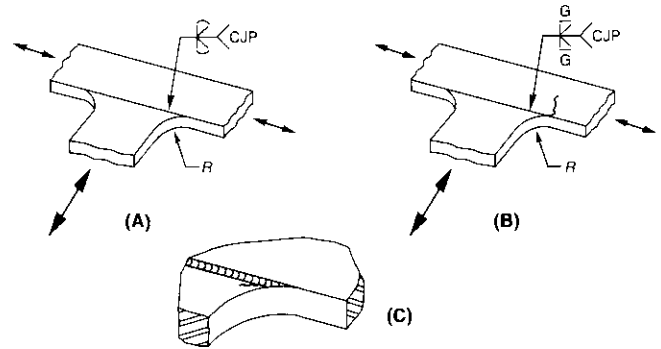
(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 6—Metal base en conexiones de miembros transversales soldados					
6.1 Metal base de espesor igual o desigual en detalles sujetos por las soldaduras en ranura con CJP sometidas a cargas longitudinales únicamente cuando el detalle implica un radio de transición, R, con la terminación de soldadura de suave esmerilado e inspeccionado de acuerdo con 2.19. $R \geq 24$ pulg. [600 mm] 6 pulg. $\leq R < 24$ pulg. [150 mm $\leq R < 600$ mm] 2 pulg. $\leq R < 6$ pulg. [50 mm $\leq R < 150$ mm] $R < 2$ pulg. [50 mm]	B C D E	120×10^8 44×10^8 22×10^8 11×10^8	16 [110] 10 [69] 7 [48] 4.5 [31]	Cerca del punto de tangencia del radio en el borde del miembro	6.1

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_F	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 6—Metal base en conexiones de miembros transversales soldados (Cont.)					
6.2 Metal base en detalles de igual espesor sujetos por las soldaduras en ranura con CJP a cargas transversales con o sin carga longitudinal cuando el detalle implica un radio de transición, R, con la terminación de soldadura de suave esmerilado e inspeccionado de acuerdo con 2.19.					6.2
6.2(a) Cuando se elimina el refuerzo de la soldadura:					
$R \geq 24$ pulg. [600 mm]	B	120×10^8	16 [110]	Cerca de los puntos de tangencia del radio o en la soldadura o en el límite de fusión del miembro o del accesorio	
$6 \text{ pulg.} \leq R < 24 \text{ pulg.}$ [150 mm $\leq R < 600$ mm]	C	44×10^8	10 [69]		
$2 \text{ pulg.} \leq R < 6 \text{ pulg.}$ [50 mm $\leq R < 150$ mm]	D	22×10^8	7 [48]		
$R < 2$ pulg. [50 mm]	E	11×10^8	4.5 [31]		
6.2(b) Cuando no se elimina el refuerzo de la soldadura:					
$R \geq 6$ pulg. [150 mm]	C	44×10^8	10 [69]	En el pie de la soldadura ya sea a lo largo del miembro o del accesorio	
$2 \text{ pulg.} \leq R < 6 \text{ pulg.}$ [50 mm $\leq R < 150$ mm]	D	22×10^8	7 [48]		
$R < 2$ pulg. [50 mm]	E	11×10^8	4.5 [31]		

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 6—Metal base en conexiones de miembros transversales soldados (Cont.)					
6.3 Metal base en detalles de desigual espesor sujetos por las soldaduras en ranura con CJP a cargas transversales con o sin carga longitudinal cuando el detalle implica un radio de transición, R, con la terminación de soldadura de suave esmerilado e inspeccionado de acuerdo con 2.19.. 6.3(a) Cuando se elimina el refuerzo de la soldadura: $R > 2$ pulg. [50 mm] $R \leq 2$ pulg. [50 mm] 6.3(b) Cuando no se elimina el refuerzo de la soldadura: Cualquier radio	D E E	22×10^8 11×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31] 4.5 [31]	En el pie de la soldadura a lo largo del borde del material más delgado En la terminación de soldadura en un radio menor En el pie de la soldadura a lo largo del borde del material más delgado	6.3 (A) (B) (C) (D) (E)

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 6—Metal base en conexiones de miembros transversales soldados (Cont.)					
6.4 Metal base de espesor igual o desigual, sujeto al esfuerzo longitudinal en los miembros transversales, con o sin el esfuerzo transversal, sujeto por las soldaduras en ranura con PJP o en filete en paralelo a la dirección del esfuerzo cuando el detalle implica un radio de transición, R, con la terminación de soldadura de suave esmerilado. R > 2 pulg. [50 mm] R ≤ 2 pulg. [50 mm]	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	Iniciándose en el metal base en la terminación de la soldadura o en el pie de la soldadura, extendiéndose hacia el metal base	6.4

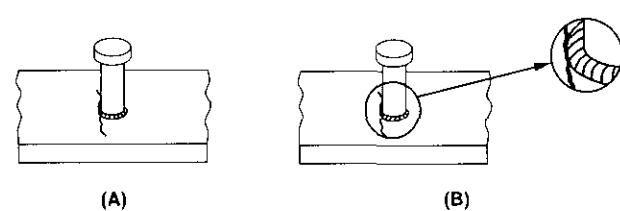
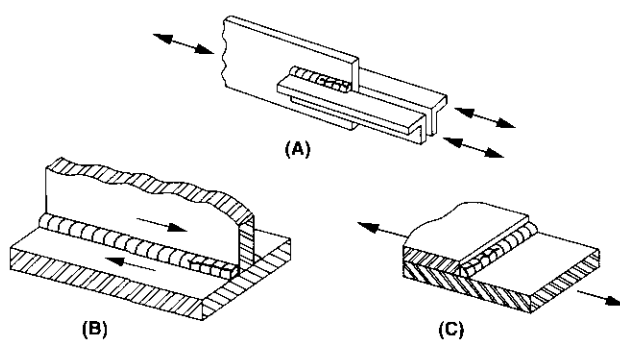
(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 7—Metal base en accesorios cortos^b					
7.1 Metal base sujeto a carga longitudinal en detalles con soldaduras paralelas o transversales a la dirección del esfuerzo con o sin la carga transversal en el detalle, donde el detalle no implica un radio de transición, y con un detalle de longitud, a, en dirección al esfuerzo y el espesor del accesorio, b: $a < 2$ pulg. [50 mm] para cualquier espesor, b 2 pulg. [50 mm] $\leq a \leq$ menor de $12b$ o 4 pulg. [100 mm] $a >$ menor de $12b$ o 4 pulg. [100 mm] cuando $b \leq 0.8$ pulg. [20 mm] $a > 4$ pulg. [100 mm] cuando $b > 0.8$ pulg. [20 mm]	C D E E'	44×10^8 22×10^8 11×10^8 3.9×10^8	10 [69] 7 [48] 4.5 [31] 2.6 [18]	Iniciándose en el metal base en la terminación de la soldadura o en el pie de la soldadura extendiéndose hacia el metal base	7.1
7.2 Metal base sujeto al esfuerzo longitudinal en los detalles sujetos por las soldaduras en ranura con PJP o en filete, con o sin carga transversal en el detalle, cuando el detalle implica un radio de transición, R, con la terminación de soldadura de suave esmerilado. $R > 2$ pulg. [50 mm] $R \leq 2$ pulg. [50 mm]	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	Iniciándose en el metal base en la terminación de la soldadura, extendiéndose hacia el metal base	7.2

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 8—Varios					
8.1 Metal base en <u>pernos de acero con cabeza de anclaje sujetos por la soldadura en filete o la soldadura automática con pernos.</u>	C	44×10^8	10 [69]	En el pic de la soldadura en el metal base	8.1 
8.2 Cizallamiento sobre la garganta de cualquier soldadura en filete, continuo o intermitente, longitudinal o transversal.	F	150×10^{10} Fórmula (3)	8 [55]	<u>Iniciándose en la raíz de la soldadura en filete, extendiéndose hacia la soldadura</u>	8.2 

(Continuación)

Tabla 2.5 (Continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (véase 2.14.1)

Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 8—Varios (Cont.)					
8.3 Metal base en soldaduras en ranura o tapón	F	11×10^8	4,5 [31]	Iniciándose en el metal base en el extremo de la soldadura en ranura o tapón, extendiéndose hacia el metal base	8.3
8.4 Cizallamiento en soldaduras en ranura o tapón.	F	150×10^{10} Fórmula (3)	8 [55]	Iniciándose en la soldadura en la superficie de contacto, extendiéndose hacia la soldadura	8.4

8.5 La descripción en 8.5 trata únicamente con detalles sujetos en forma mecánica no relevantes para D1.1.

^a AWS D1.1/D1.1M aborda únicamente los detalles de soldadura. A fin de mantener la consistencia y para facilitar el cruce de referencias con otras especificaciones vigentes, la Sección 2—Material conectado en juntas sujetadas en forma mecánica y la descripción de 8.5 no se utilizan en esta tabla.

^b Se define “accesorio”, tal como se usa en el presente documento, como cualquier detalle de acero soldado a un miembro, que ocasiona una desviación en el flujo de esfuerzo en el miembro y en consecuencia reduce la resistencia a la fatiga. Esta reducción se debe a la presencia del accesorio, no debido a la carga sobre el accesorio.

Fuente: Texto adaptado e ilustraciones reimpresas con permiso del American Institute of Steel Construction, Inc. 2015, *Specification for Structural Steel Buildings*, Illinois: American Institute of Steel Construction. *Test and Figures from Table A-3.1.*

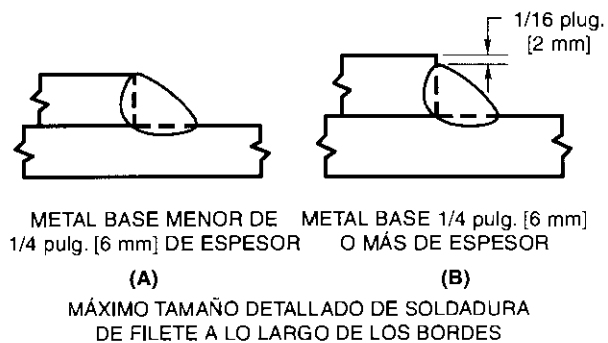
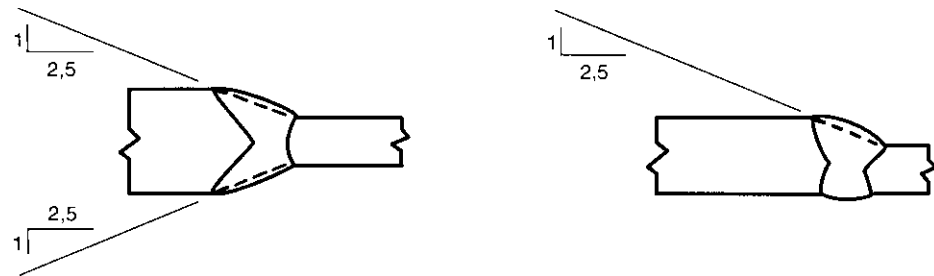
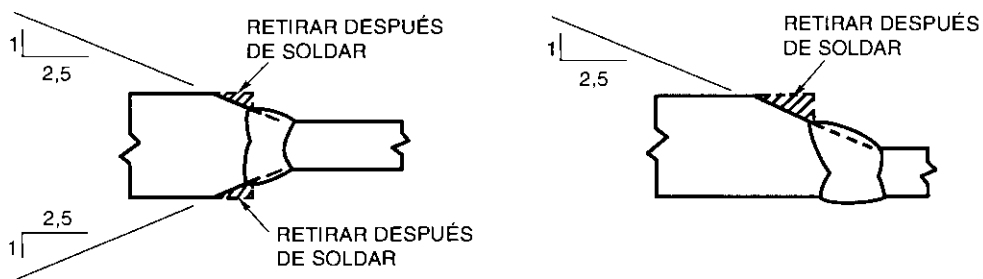


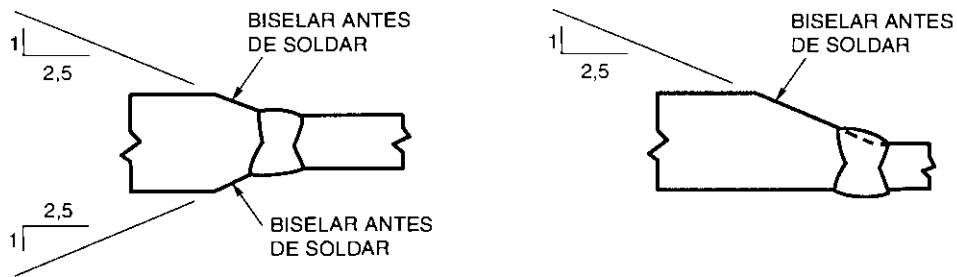
Figura 2.1—Tamaño máximo de la soldadura en filete a lo largo de los bordes de las juntas traslapadas (véase 2.4.2.9)



(A) TRANSICIÓN POR INCLINACIÓN DE SUPERFICIE DE SOLDADURA



(B) TRANSICIÓN POR INCLINACIÓN DE SUPERFICIE DE SOLDADURA Y BISELADO



(C) TRANSICIÓN POR BISELADO DE LA PARTE MÁS GRUESA

ALINEACIÓN DE LÍNEA CENTRAL
(ESPECIALMENTE APLICABLE A
PLACAS DE ALMA)

ALINEACIÓN DE DESPLAZAMIENTO
(ESPECIALMENTE APLICABLE A
PLACAS DE ALA)

**Figura 2.2—Transición de las juntas a tope entre piezas de espesores desiguales
(no tubulares cargadas cíclicamente) (véase 2.17.1.1)**

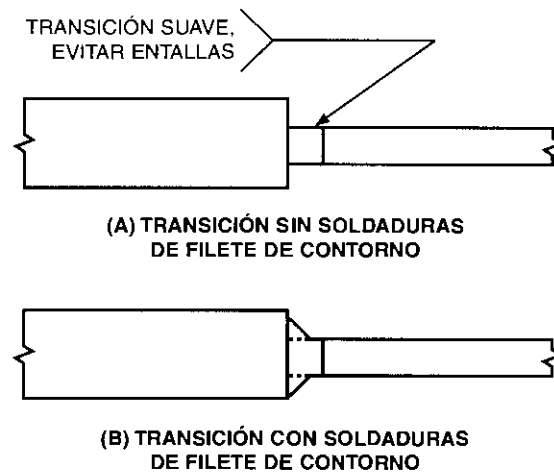
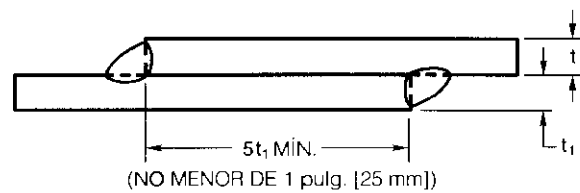


**Figura 2.3—Transición de espesores
(no tubulares cargadas estáticamente) (véase 2.7.5 y 2.8.1)**



Nota: t = miembro con más espesor, t_1 = miembro más delgado.

**Figura 2.4—Soldaduras en filete
cargadas transversalmente (véase 2.9.1.1 y 2.9.1.2)**

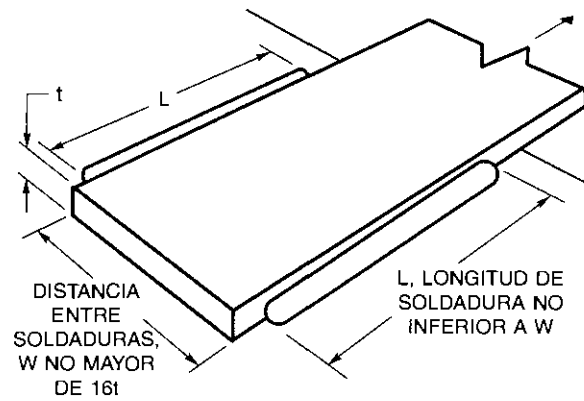


Figura 2.5—Longitud mínima de soldaduras en filete longitudinal en el extremo de la placa o barras planas (véase 2.9.2)

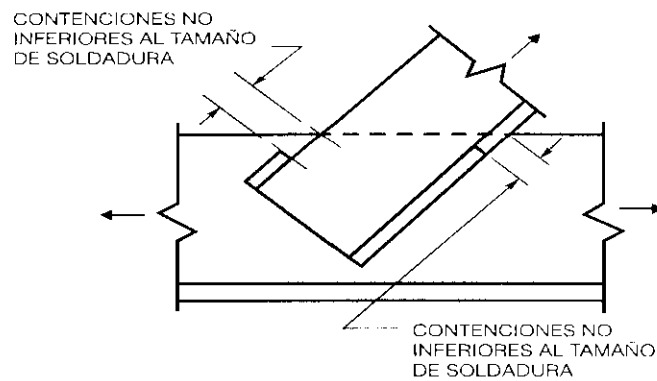
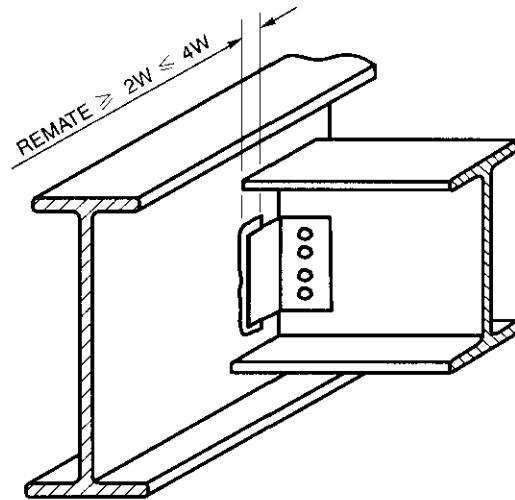


Figura 2.6—Terminación de soldaduras cerca de bordes sometidos a tracción (véase 2.9.3.2)



Nota: W = tamaño nominal de la soldadura.

Figura 2.7—Remate de conexiones flexibles (véase 2.9.3.3)

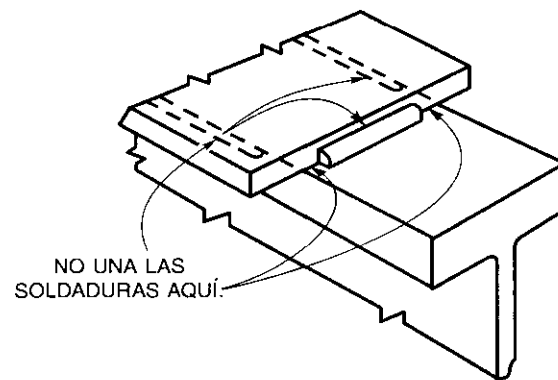
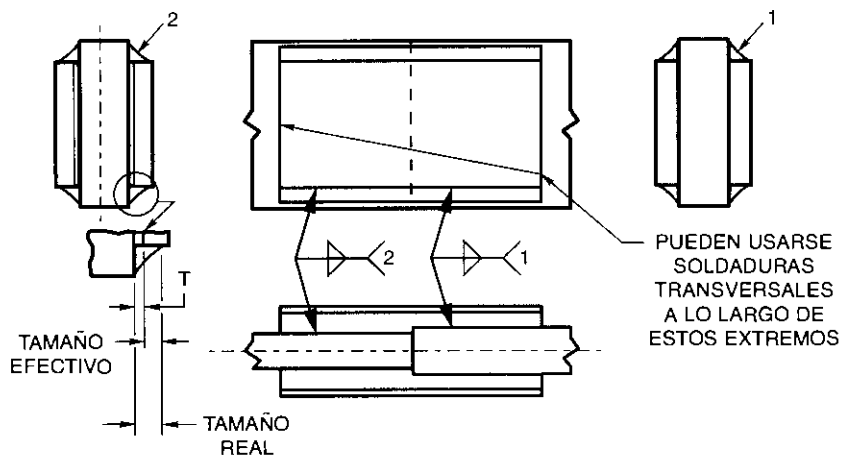
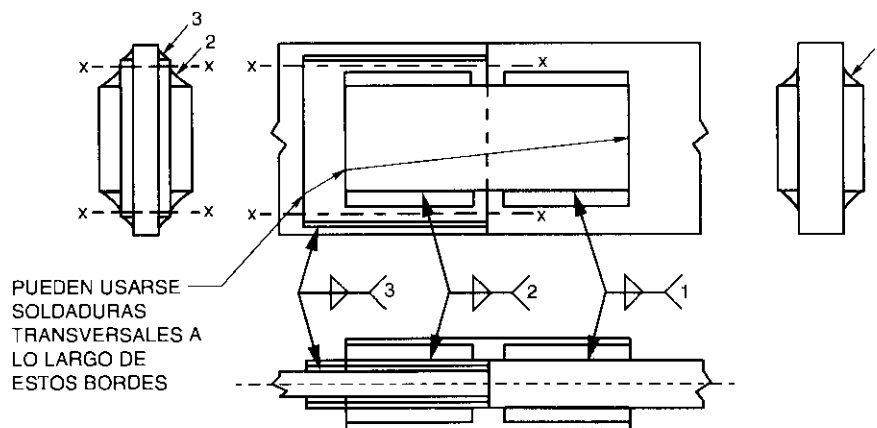


Figura 2.8—Soldaduras en filete en lados opuestos de un plano común (véase 2.9.3.5)



Nota: el área efectiva de la soldadura 2 deberá ser igual al de la soldadura 1, pero su tamaño deberá ser su tamaño efectivo más el espesor de la placa de relleno T.

Figura 2.9—Placas de relleno delgadas en juntas empalmadas (véase 2.11.1)



Nota: las áreas efectivas de las soldaduras 1, 2 y 3 deberán ser adecuadas para transmitir la fuerza de diseño y la longitud de las soldaduras 1 y 2 deberá ser adecuada para evitar el esfuerzo excesivo de cizallamiento de la placa de relleno a lo largo de los planos x-x.

Figura 2.10—Placas de relleno gruesas en juntas empalmadas (véase 2.11.2)

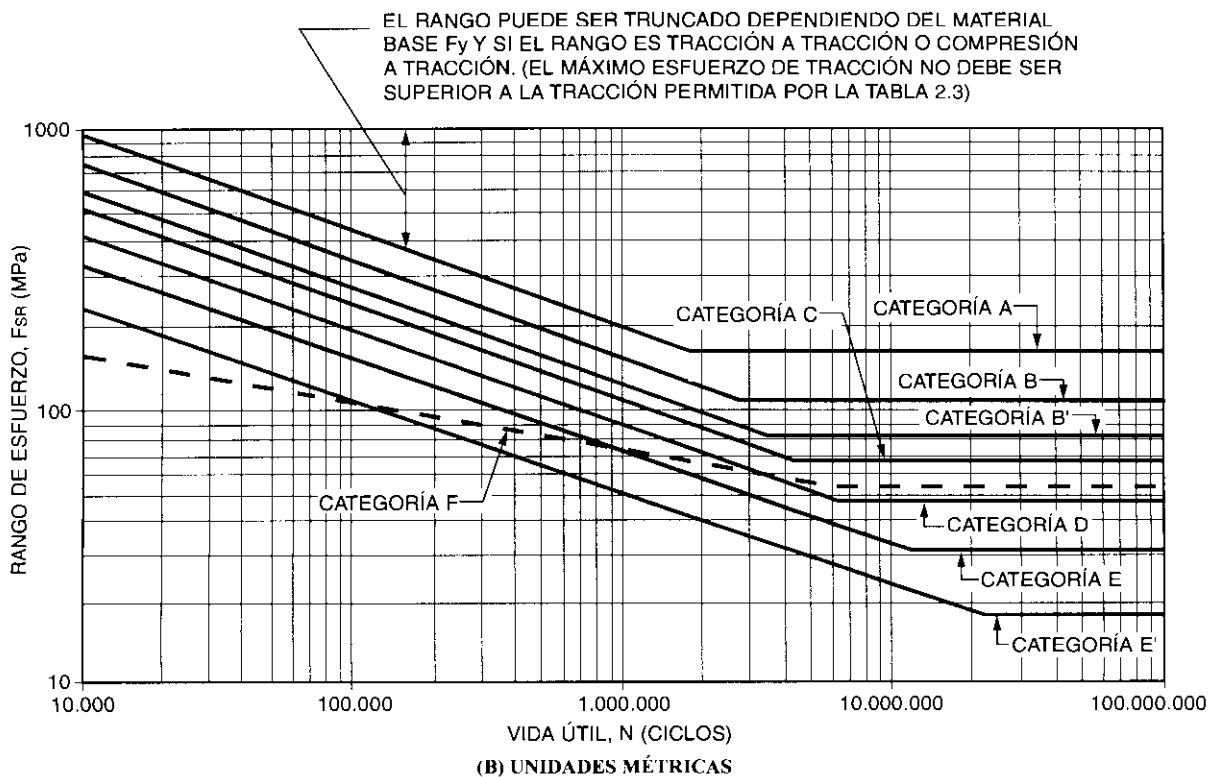
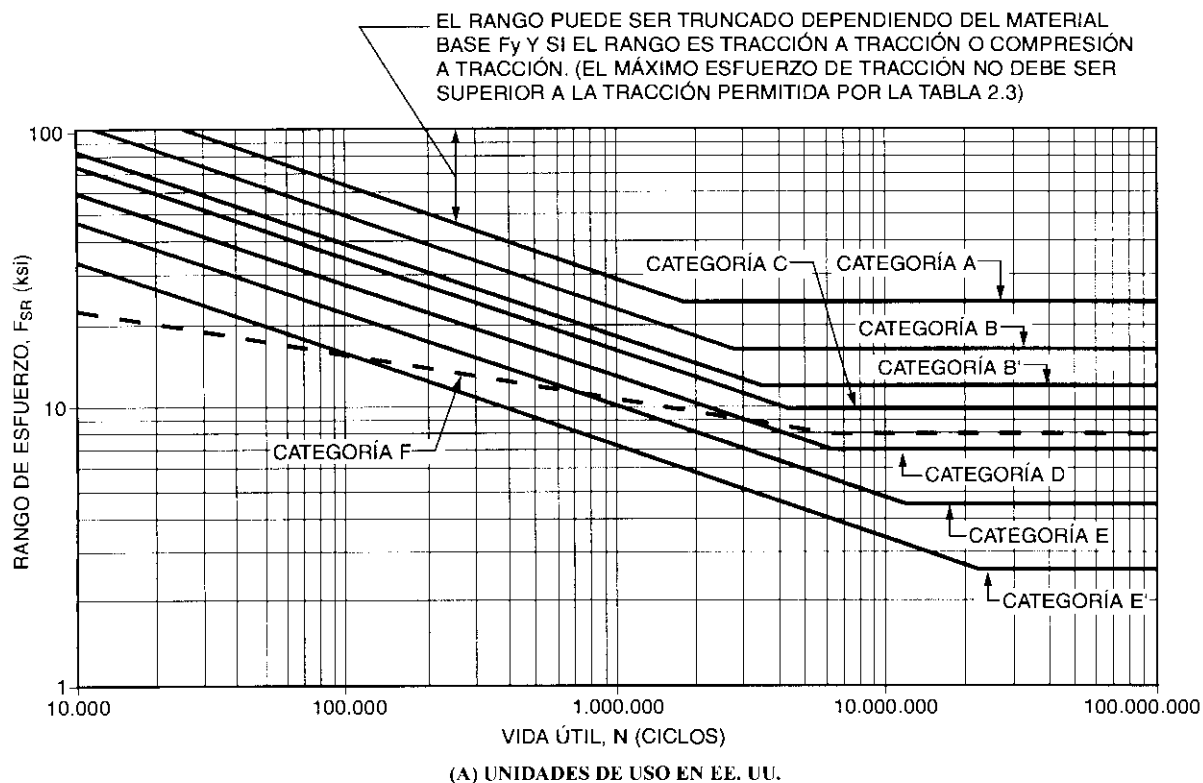


Figura 2.11—Rango de esfuerzo admisible para carga aplicada cíclicamente (fatiga) en conexiones no tubulares (gráfico de la Tabla 2.5) (véase 2.16.2)

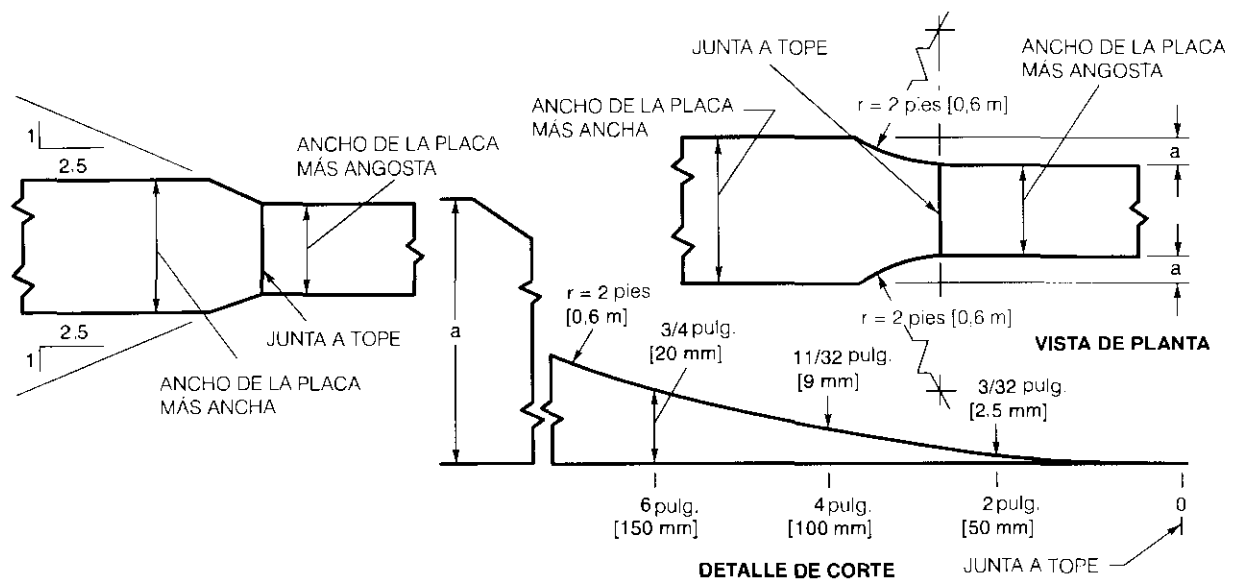


Figura 2.12—Transición de ancho (no tubular cargada cíclicamente) (véase 2.17.1.2)

3. PRECALIFICACIÓN DE WPS

3.1 Alcance

La precalificación de WPS (Especificaciones del proceso de soldadura) se define como eximida de los ensayos de calificación de WPS requeridos en la Sección 4. Todas las WPS precalificadas deben estar escritas. Para que una WPS esté precalificada se requiere el cumplimiento de todos los requisitos aplicables de la Sección 3. Las WPS que no cumplan con los requisitos de la Sección 3 pueden ser calificadas por ensayos según la Sección 4. Para mayor comodidad, el Apéndice P enumera las disposiciones que deben ser incluidas en una WPS precalificada y que deberían ser abordadas en el programa de soldadura del fabricante o del contratista.

Los soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores que utilicen las WPS precalificadas deben estar calificados según la Sección 4, Parte C o la Sección 9, Parte D para tubulares.

3.2 Procesos de soldadura

3.2.1 Procesos precalificados. Las WPS de SMAW, SAW, GMAW (excepto GMAW-S) y FCAW que cumplan con todas las disposiciones de la Sección 3 deben considerarse precalificadas y están, en consecuencia, aprobadas para su uso sin realizar los ensayos de calificación de WPS para el proceso. Para la precalificación de WPS, se exige el cumplimiento de todas las disposiciones aplicables de la Sección 3 (ver 3.1).

3.2.2 Procesos aprobados según el código. Las soldaduras ESW, EGW, GTAW y GMAW-S pueden ser utilizadas siempre que las WPS estén calificadas según los requisitos de la Sección 4. Observe que las limitaciones de las variables básicas en la Tabla 4.5 para GMAW se deben aplicar también a GMAW-S.

3.2.3 Otros procesos de soldadura. Es posible utilizar otros procesos de soldadura no cubiertos por 3.2.1 y 3.2.2, siempre que las WPS estén calificadas por los ensayos aplicables descritos en la Sección 4.

3.2.4 Fuentes de alimentación para FCAW y GMAW.

Las FCAW y GMAW realizadas con WPS precalificadas deben ser llevadas a cabo usando fuentes de alimentación de voltaje constante (CV).

3.3 Combinaciones metal base/metal de aporte

En las WPS precalificadas solamente se pueden utilizar los metales base y metales de aporte enumerados en las Tablas 3.1 y 3.2. (Para ver la calificación de los metales base y de los metales de aporte enumerados, y los metales base y metales de aporte no enumerados en las Tablas 3.1 y 3.2, consulte 4.2.1.)

Las siguientes relaciones de resistencia metal base/metal de aporte se deben utilizar junto con las Tablas 3.1 y 3.2 para determinar si se requieren metales de aporte de la misma resistencia o de resistencia menor.

Relación	Metal(es) base	Resistencia del metal de aporte Relación requerida
Igual resistencia	Cualquier acero a sí mismo o cualquier acero a otro en el mismo grupo	Cualquier metal de aporte enumerado en el mismo grupo
	Cualquier acero en un grupo a cualquier acero en otro	Cualquier metal de aporte enumerado en cualquier grupo de resistencia. [Los electrodos SMAW deben corresponder a la clasificación de bajo hidrógeno]
De menor resistencia	Cualquier acero con cualquier acero de cualquier grupo	Cualquier metal de aporte enumerado en un grupo de resistencia por debajo del grupo de menor resistencia. [Los electrodos SMAW deben corresponder a la clasificación de bajo hidrógeno]

Nota: ver Tabla 2.3 o 9.2 para determinar los requisitos de resistencia del metal de aporte para igualar o ser menor que la resistencia del metal base.

3.4 Aprobación del ingeniero para accesorios auxiliares

Es posible utilizar materiales no enumerados para accesorios auxiliares que se encuentren dentro del rango de composición química de un acero incluido en la Tabla 3.1 en una WPS precalificada cuando el ingeniero lo apruebe. El metal base de la Tabla 3.2 y el precalentamiento mínimo deben cumplir con 3.5 sobre la base de similar resistencia de material y composición química.

3.5 Requisitos mínimos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas

Se debe utilizar la Tabla 3.3 para determinar las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para aceros enumerados en el código.

3.5.1 Combinación metal base/espesor. La temperatura mínima de precalentamiento o entre pasadas aplicada a una junta compuesta por metales base con diferentes temperaturas mínimas de precalentamiento en la Tabla 3.3 (según la categoría y el espesor) debe ser la más alta de estas temperaturas mínimas de precalentamiento.

3.5.2 Temperaturas alternativas de precalentamiento y entre pasadas en SAW. Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas para una SAW de electrodo paralelo o múltiple deben seleccionarse según la Tabla 3.3. En el caso de soldaduras en ranura o en filete de pasada única, combinaciones de los metales que estén siendo soldados y la entrada de calor involucrada y con la aprobación del ingeniero, se pueden establecer las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas que sean suficientes para reducir la dureza en la HAZ del metal base a menos de 225 Vickers para aceros con una resistencia a la tracción mínima especificada no mayor de 60 ksi [415 MPa] y 280 Vickers para aceros con una resistencia a la tracción mínima especificada mayor de 60 ksi [415 MPa], pero no mayor de 70 ksi [485 MPa].

El número de dureza de Vickers debe determinarse según ASTM E92. Si se utilizara otro método de dureza, el número de dureza equivalente debe determinarse según ASTM E140 y se debe realizar el ensayo según la especificación ASTM aplicable.

3.5.2.1 Requisitos de dureza. La determinación de dureza de la HAZ debe realizarse en:

- (1) Secciones transversales con macroataque inicial de una muestra de prueba.
- (2) La superficie del miembro durante el avance del trabajo. La superficie se debe esmerilar antes del ensayo de dureza:
 - (a) La frecuencia de la evaluación de la HAZ debe ser por lo menos de un área de prueba por soldadura del metal más grueso involucrado en una junta cada 50 pies [15 m] de soldaduras en ranura o par de soldaduras en filete.

(b) Estas determinaciones de dureza pueden discontinuarse después de que se haya establecido el procedimiento y la discontinuación haya sido aprobada por el ingeniero.

3.6 Limitación de las variables de WPS

El fabricante o contratista debe preparar por escrito las WPS precalificadas que vayan a ser utilizadas. La WPS escrita puede seguir cualquier formato conveniente (ver ejemplos en el Apéndice M). Los parámetros de soldadura establecidos en la Tabla 3.6 deben estar especificados en las WPS escritas y dentro del rango mostrado para las variables con límites. Los cambios de las variables esenciales, más allá de los permitidos por la Tabla 3.7, exigen una WPS precalificada nueva o revisada o que la WPS se califique mediante ensayos de acuerdo con la Sección 4.

3.6.1 Combinación de WPS. Se puede utilizar una combinación de WPS calificadas y precalificadas sin necesidad de calificación de la combinación, siempre que se observe la limitación de las variables esenciales aplicables a cada uno de los procesos.

3.7 Requisitos generales de WPS

Se debe cumplir con todos los requisitos de la Tabla 3.6 para WPS precalificadas.

3.7.1 Requisitos de soldadura vertical ascendente. La progresión para todas las pasadas de soldadura en posición vertical debe ser hacia arriba, con las siguientes excepciones:

- (1) La socavación puede ser reparada verticalmente de manera descendente cuando el precalentamiento cumpla con la Tabla 3.3, pero no inferior a 70°F [20°C].
- (2) Cuando se sueldan productos tubulares, la progresión de la soldadura vertical puede ser ascendente o descendente, pero solo en la dirección o las direcciones para las cuales el soldador está calificado.

3.7.2 Limitación de ancho/profundidad de la pasada. Ni la profundidad ni el ancho máximo en la sección transversal del metal de soldadura depositado en cada pasada de soldadura deben exceder el ancho de la superficie de la pasada de soldadura (ver Figura 3.1).

3.7.3 Requisitos del acero autoprotegido. En las aplicaciones expuestas, descubiertas y sin pintar de acero autoprotegido que requieran metal de soldadura con resistencia a la corrosión atmosférica y características de color similares a las del metal base, la combinación de electrodo y fundente de electrodo debe cumplir con la Tabla 3.4.

Las excepciones a este requisito son las siguientes:

3.7.3.1 Soldaduras en ranura de pasada única. Las soldaduras en ranura realizadas con una pasada única o una pasada única a cada lado pueden realizarse utilizando cualquiera de los metales de aporte para los metales base del Grupo II en la Tabla 3.2.

3.7.3.2 Soldaduras en filete de pasada única. Las soldaduras en filete de pasada única hasta los siguientes tamaños pueden ser realizadas utilizando cualquiera de los metales de aporte para los metales base del Grupo II enumerados en la Tabla 3.2:

SMAW	1/4 pulg. [6 mm]
SAW	5/16 pulg. [8 mm]
GMAW/FCAW	5/16 pulg. [8 mm]

3.7.4 Gas de protección. Los gases de protección para GMAW y FCAW-G deben cumplir con AWS A5.32/A5.32M y uno de los siguientes:

(1) El gas de protección debe ser el utilizado para la clasificación de electrodos según la especificación aplicable AWS A5, AWS A5.18, A5.20, A5.28 o A5.29.

(2) Según AWS A5.36, las clasificaciones fijas de FCAW y GMAW de acero al carbono protegido por gas y FCAW de acero de baja aleación calificado con gas de protección M21 se limitan a los requisitos del gas de protección mezclado de AWS A5.20, A5.18 o A5.29, M21-ArC-20/25(SG-AC-20-25).

(3) Según todas las clasificaciones abiertas AWS A5.36, el gas de protección de clasificación se limita a la designación de gas de protección usado para la clasificación o las clasificaciones y no al rango de la clasificación de gas de protección.

(4) El gas de protección debe ser recomendado por el fabricante de electrodos para ser utilizado con el electrodo específico. Dichas recomendaciones deben estar respaldadas por ensayos que demuestren que la combinación de electrodo/gas de protección puede cumplir con los requisitos mecánicos y químicos para la clasificación de electrodos cuando se prueban de acuerdo con la especificación AWS A5 aplicable. La documentación de dicho ensayo se debe presentar cuando así lo requiera el ingeniero o el inspector.

3.8 Requisitos comunes para SAW de electrodo paralelo y electrodo múltiple

3.8.1 Pasada de raíz GMAW. Las soldaduras pueden realizarse también en la raíz de las soldaduras en ranura o en filete con GMAW, seguidas por arcos sumergidos de electrodo paralelo o múltiple, siempre que la GMAW cumpla con los requisitos de esta sección y siempre que el espaciamiento entre el arco de GMAW y el siguiente arco de SAW no supere las 15 pulg. [380 mm].

3.9 Requisitos de la soldadura en filete

Vea en la Tabla 5.7 los tamaños mínimos de soldadura en filete y en la Figura 3.5 los detalles de la junta con soldadura en filete precalificada.

3.9.1 Detalles (no tubulares). Vea en las Figuras 2.1 y 2.4 las limitaciones de soldaduras en filete precalificadas.

3.9.2 Juntas en T oblicuas. Las juntas en T oblicuas deben cumplir con la Figura 3.4.

3.9.2.1 Limitaciones de ángulo diedro. El lado obtuso de las juntas en T oblicuas con ángulos diedros mayores de 100° deben prepararse como se muestra en la Figura 3.4, Detalle C, para permitir la colocación de una soldadura del tamaño requerido. La cantidad de amolado o esmerilado, etc. de la Figura 3.4, Detalle C, no debe ser mayor que la necesaria para lograr el tamaño de soldadura requerido (W).

3.9.2.2 Tamaño mínimo de soldadura para juntas en T oblicuas. En el caso de juntas en T oblicuas, el tamaño mínimo de la soldadura para los Detalles A, B y C de la Figura 3.4 debe cumplir con la Tabla 5.7.

3.10 Requisitos de soldaduras de tapón y en ranura

Los detalles de las soldaduras de tapón y en ranura realizadas con los procesos SMAW, GMAW (excepto GMAW-S) o FCAW se describen en 2.4.5.1, 2.4.5.2, 2.4.5.4, y 2.10.4 y pueden ser utilizados sin realizar la calificación de WPS descrita en la Sección 4, siempre que se cumplan las disposiciones de 5.24.

3.11 Requisitos comunes de soldadura en ranura con CJP y PJP

3.11.1 FCAW/GMAW en juntas SMAW. Las preparaciones de las ranuras detalladas para juntas SMAW precalificadas pueden usarse para GMAW o FCAW precalificadas.

3.11.2 Preparación de juntas en esquina. La preparación de la ranura externa para las juntas en esquina puede ser en cualquiera de los dos o en ambos miembros siempre que no se cambie la configuración básica de la ranura y se mantenga una distancia de borde adecuada para sostener las operaciones de soldadura sin fusión excesiva.

3.11.3 Aberturas de la raíz. Las aberturas de la raíz de la junta pueden variar como se menciona en 3.12.3 y 3.13.1. Sin embargo, en las soldaduras automáticas o mecanizadas que utilicen procesos FCAW, GMAW y SAW, la variación máxima de la abertura de la raíz (abertura mínima a máxima en el acoplamiento) no debe exceder de 1/8 pulg. [3 mm]. Las variaciones superiores a 1/8 pulg. [3 mm] deben ser corregidas localmente antes de la soldadura automática o mecanizada.

3.12 Requisitos de la PJP

Las soldaduras en ranura con PJP deben realizarse utilizando los detalles de junta descritos en la Figura 3.2. Se deben aplicar las limitaciones dimensionales de la junta descritas en 3.12.3.

3.12.1 Definición. Excepto por lo dispuesto en 9.11.2 y en la Figura 3.3 (B-L1-S), las soldaduras en ranura sin respaldo de acero, soldadas de un lado y las soldaduras en ranura soldadas de ambos lados pero sin ranurado del lado opuesto se consideran soldaduras en ranura con PJP.

3.12.2 Tamaño de la soldadura. El tamaño de la soldadura (E) de una ranura con PJP precalificada debe ser como se muestra en la Figura 3.2 para el proceso de soldadura específico, la designación de junta, el ángulo en ranura y la posición de soldadura propuestos para utilizar en la fabricación de soldaduras.

3.12.2.1 Tamaños de soldadura precalificada

(1) El tamaño mínimo de soldadura con PJP en V simple o doble, biselada y en ranura en J y en U, tipos 2 a 9, debe ser según se muestra en la Tabla 3.5. El espesor del metal base debe ser suficiente para incorporar los requisitos de los detalles de la junta seleccionada, cumpliendo con las variaciones descritas en 3.12.3 y los requisitos de la Tabla 3.5.

(2) El espesor máximo del metal base no debe estar limitado.

(3) Los tamaños mínimos de la soldadura en ranura con PJP en escuadra B-P1 y de la soldadura de bisel abocinada BTC-P10 y B-P11 deben calcularse a partir de la Figura 3.2.

(4) Los planos del taller o de trabajo deben especificar las profundidades “S” de diseño de las ranuras aplicables al tamaño de soldadura “(E)” requerido por 3.12.2. (Observe que este requisito no se debe aplicar a los detalles B-P1, BTC-P10 y B-P11)

3.12.3 Dimensiones de la junta

(1) Las dimensiones de las soldaduras en ranura especificadas en 3.12 pueden variar en el diseño o en los detalles de los dibujos dentro de los límites de tolerancia mostrados en la columna “como se detalla” de la Figura 3.2.

(2) Las tolerancias de acoplamiento de la Figura 3.2 pueden aplicarse a las dimensiones mostradas en el dibujo de detalle. Sin embargo, el uso de tolerancias de acoplamiento no exime al usuario de cumplir con los requisitos mínimos de tamaño de soldadura de 3.12.2.1.

(3) Las ranuras en J y en U pueden prepararse antes o después del montaje.

3.13 Requisitos de soldaduras en ranura con CJP

Las soldaduras en ranura con CJP que pueden utilizarse sin realizar el ensayo de calificación de WPS descrito en la Sección 4 deben cumplir con los detalles de la Figura 3.3 y están sujetas a las limitaciones descritas en 3.13.1.

3.13.1 Dimensiones de juntas. Las dimensiones de las soldaduras en ranura especificadas en 3.13 pueden variar en el diseño o en los detalles de los dibujos dentro de los límites o las tolerancias mostradas en la columna “como se detalla” de la Figura 3.3. Las tolerancias de acoplamiento de la Figura 3.3 pueden aplicarse a las dimensiones mostradas en el dibujo de detalle.

3.13.2 Respaldo. Las soldaduras en ranura con CJP precalificadas realizadas de un solo lado, excepto según se permita para estructuras tubulares, deben tener respaldo de acero.

3.13.2.1 Las soldaduras en ranura con CJP precalificadas detalladas sin espaciadores ni respaldo de acero pueden usar un respaldo que no sea de acero, según lo detallado en 5.9.3 cuando se cumplan las siguientes condiciones:

(1) El respaldo se retira después de la soldadura, y

(2) La parte trasera de la soldadura está ranurada del lado opuesto al metal sólido y soldada por el respaldo.

Los procedimientos de soldadura para juntas con respaldo que no sea de acero, en el cual la soldadura se deja en las condiciones en que fue soldada sin ranurado del lado opuesto y soldadura del otro lado, no están precalificados.

3.13.3 Preparación de ranura de doble lado. Las ranuras en J- y en U- y el otro lado de las ranuras parcialmente soldadas en doble-V y doble-bisel pueden prepararse antes o después del montaje. Después del ranurado del lado opuesto, el otro lado de las juntas parcialmente soldadas en doble-V o doble-bisel deberían parecerse a una configuración de junta precalificada en U- o en J-en la raíz de la junta.

3.14 Tratamiento térmico posterior a la soldadura

El tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT) debe ser precalificado siempre que sea aprobado por el ingeniero y se cumpla con las siguientes condiciones.

(1) El límite elástico mínimo especificado del metal base no debe exceder de 50 ksi [345 MPa].

(2) El metal base no debe estar fabricado por medio de templado y revenido (Q&T), templado y auto-revenido (Q&ST), procesamiento termo-mecánico controlado (TMCP) o si se utilizara trabajo en frío para alcanzar propiedades mecánicas superiores (por ejemplo: algunos grados de tuberías ASTM A 500).

(3) No debe haber requisitos de ensayos de tenacidad a la entalla del metal base, HAZ o metal de soldadura.

(4) Debe haber datos disponibles que demuestren que el metal de soldadura tendrá la resistencia y ductilidad adecuadas en la condición PWHT (ejemplo: según puede encontrarse en la especificación y clasificación relevante del metal de aporte AWS A5.X o del fabricante del metal de aporte).

(5) El PWHT debe realizarse según 5.8.

Tabla 3.1
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
1	ASTM A36	(≤3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A381	Grado Y35	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A500	Grado A	33	230	45 mín.	310 mín.
		Grado B	42	290	58 mín.	400 mín.
		Grado C	46	315	62 mín.	425 mín.
	ASTM A501	Grado A	36	250	58 mín.	400 mín.
	ASTM A516	Grado 55	30	205	55–75	380–515
		Grado 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524	Grado I	35	240	60–85	415–586
		Grado II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573	Grado 65	35	240	65–77	450–530
		Grado 58	32	220	58–71	400–490
	ASTM A709	Grado 36 (≤ 3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A1008 SS	Grado 30	30	205	45 mín.	310 mín.
		Grado 33 Tipo 1	33	230	48 mín.	330 mín.
		Grado 40 Tipo 1	40	275	52 mín.	360 mín.
	ASTM A1011 SS	Grado 30	30	205	49 mín.	340 mín.
		Grado 33	33	230	52 mín.	360 mín.
		Grado 36 Tipo 1	36	250	53 mín.	365 mín.
		Grado 40	40	275	55 mín.	380 mín.
		Grado 45	45	310	60 mín.	410 mín.
	ASTM A1018 SS	Grado 30	30	205	49 mín.	340 mín.
		Grado 33	33	230	52 mín.	360 mín.
		Grado 36	36	250	53 mín.	365 mín.
		Grado 40	40	275	55 mín.	380 mín.
API 5L	Grado B	35	241	60	414	
	Grado X42	42	290	60	414	
ABS	Grados A, B, D, CS, DS	34	235	58–75	400–520	
	Grado E ^b	34	235	58–75	400–520	

(Continuación)

Tabla 3.1 (Continuación)
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
II	ASTM A36	(>3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A131	Grados AH32, DH32, EH32	46	315	64–85	440–590
		Grados AH36, DH36, EH36	51	355	71–90	490–620
	ASTM A441		40–50	275–345	60–70	415–485
	ASTM A501	Grado B	50	345	70 mín.	485 mín.
	ASTM A516	Grado 65	35	240	65–85	450–585
		Grado 70	38	260	70–90	485–620
	ASTM A529	Grado 50	50	345	70–100	485–690
		Grado 55	55	380	70–100	485–690
	ASTM A537	Clase 1	45–50	310–345	65–90	450–620
	ASTM A572	Grado 42	42	290	60 mín.	415 mín.
		Grado 50	50	345	65 mín.	450 mín.
		Grado 55	55	380	70 mín.	485 mín.
	ASTM A588 ^b	(4 pulgadas [100 mm] y menor	50	345	70 mín.	485 mín.
	ASTM A595	Grado A	55	380	65 mín.	450 mín.
		Grados B y C	60	410	70 mín.	480 mín.
	ASTM A606 ^b		45–50	310–340	65 mín.	450 mín.
	ASTM A618	Grados Ib, II, III	46–50	315–345	65 mín.	450 mín.
	ASTM A633	Grado A	42	290	63–83	430–570
		Grados C, D	50	345	70–90	485–620
		(2-1/2 pulgadas [65 mm] y menor)				
	ASTM A709	Grado 36 (>3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
		Grado 50	50	345	65 mín.	450 mín.
		Grado 50W ^b	50	345	70 mín.	485 mín.
		Grado 50S	50–65	345–450	65 mín.	450 mín.
		Grado HPS 50W ^b	50	345	70 mín.	485 mín.
	ASTM A710	Grado A, Clase 2 (>2 pulgadas [50 mm])	50–55	345–380	60–65	415–450
	ASTM A808	(2-1/2 pulgadas [65 mm] y menor)	42	290	60 mín.	415 mín.
	ASTM A913	Grado 50	50	345	65 mín.	450 mín.
	ASTM A992		50–65	345–450	65 mín.	450 mín.
	ASTM A1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1	45	310	60 mín.	410 mín.
		Grado 45 Clase 2	45	310	55 mín.	380 mín.
		Grado 50 Clase 1	50	340	65 mín.	450 mín.
		Grado 50 Clase 2	50	340	60 mín.	410 mín.
		Grado 55 Clase 1	55	380	70 mín.	480 mín.
		Grado 55 Clase 2	55	380	65 mín.	450 mín.
	ASTM A1008 HSLAS-F	Grado 50	50	340	60 mín.	410 mín.

(Continuación)

Tabla 3.1 (Continuación)
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero				
	Especificación del acero	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción	
		ksi	MPa	ksi	MPa
II (Cont.)	ASTM A1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1	45	310	60 mín. 410 mín.
		Grado 45 Clase 2	45	310	55 mín. 380 mín.
		Grado 50 Clase 1	50	340	65 mín. 450 mín.
		Grado 50 Clase 2	50	340	60 mín. 410 mín.
		Grado 55 Clase 1	55	380	70 mín. 480 mín.
		Grado 55 Clase 2	55	380	65 mín. 450 mín.
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grado 50	50	340	60 mín. 410 mín.
	ASTM A1011 SS	Grado 50	50	340	65 mín. 450 mín.
		Grado 55	55	380	70 mín. 480 mín.
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1	45	310	60 mín. 410 mín.
		Grado 45 Clase 2	45	310	55 mín. 380 mín.
		Grado 50 Clase 1	50	340	65 mín. 450 mín.
		Grado 50 Clase 2	50	340	60 mín. 410 mín.
		Grado 55 Clase 1	55	380	70 mín. 480 mín.
		Grado 55 Clase 2	55	380	65 mín. 450 mín.
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 50	50	340	60 mín. 410 mín.
	<u>ASTM A1085</u>		<u>50–70</u>	<u>345–485</u>	<u>65 mín. 450 mín.</u>
	API 2H	Grado 42	42	289	62–82 427–565
		Grado 50	50	345	70–90 483–620
	API 2MT1	Grado 50	50	345	65–90 488–620
	API 2W	Grado 42	42–67	290–462	62 mín. 427 mín.
		Grado 50	50–75	345–517	65 mín. 448 mín.
		Grado 50T	50–80	345–552	70 mín. 483 mín.
	API 2Y	Grado 42	42–67	290–462	62 mín. 427 mín.
		Grado 50	50–75	345–517	65 mín. 448 mín.
		Grado 50T	50–80	345–552	70 mín. 483 mín.
	API 5L	Grado X52	52	359	66 mín. 455 mín.
	ABS	Grados AH32, DH32, EH32	46	315	64–85 440–590
		Grados AH36, DH36, EH36 ^b	51	355	71–90 490–620

(Continuación)

Tabla 3.1 (Continuación)
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero		Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción	
			ksi	MPa	ksi	MPa
III	API 2W	Grado 60	60–90	414–621	75 mín.	517 mín.
	API 2Y	Grado 60	60–90	414–621	75 mín.	517 mín.
	ASTM A537	Clase 2 ^b	46–60	315–415	70–100	485–690
	ASTM A572	Grado 60	60	415	75 mín.	520 mín.
		Grado 65	65	450	80 mín.	550 mín.
	ASTM A633	Grado E ^b	55–60	380–415	75–100	515–690
	ASTM A710	Grado A, Clase 2 (≤2 pulgadas [50 mm])	60–65	415–450	72 mín.	495 mín.
	ASTM A710	Grado A, Clase 3 (>2 pulgadas [50 mm])	60–65	415–450	70–75	485–515
	ASTM A913 ^a	Grado 60	60	415	75 mín.	520 mín.
		Grado 65	65	450	80 mín.	550 mín.
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 60 Clase 2	60	410	70 mín.	480 mín.
		Grado 70 Clase 2	70	480	80 mín.	550 mín.
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 60 Clase 2	60	410	70 mín.	480 mín.
		Grado 70 Clase 2	70	480	80 mín.	550 mín.
	ASTM A709	Grado HPS 70W	70	485	85–110	585–760
IV	ASTM A852		70	485	90–110	620–760
	ASTM A913 ^a	Grado 70	70	485	90 mín.	620 mín.

^a Las limitaciones de entrada de calor de 5.7 no se deben aplicar a ASTM A913 Grados 60, 65 o 70.

^b Pueden ser necesarios materiales de soldadura y una WPS especiales (por ejemplo, electrodos de baja aleación E80XX-X) para que coincidan con la tenacidad a la entalla del metal base (para aplicaciones que involucren carga de impacto o baja temperatura) o por la corrosión atmosférica y las características de resistencia a la intemperie (ver 3.7.3).

Notas:

1. En juntas que involucren metales base de diferentes grupos, se puede usar alguno de los siguientes metales de aporte: (1) el que coincida con el metal base de mayor resistencia o (2) el que coincida con el metal base de menor resistencia y produzca un depósito de bajo hidrógeno. El precalentamiento se debe hacer según los requisitos aplicables al grupo de mayor resistencia.
2. Ajustarse a la norma API 2B (tubos fabricados) según el acero utilizado.
3. Cuando las soldaduras vayan a recibir tratamiento para el alivio de esfuerzo, el metal de soldadura depositado no debe exceder el 0,05 % de vanadio.
4. Consulte en las Tablas 2.3 y 9.2 los requisitos de esfuerzo admisible para el metal de aporte correspondiente.
5. Las propiedades del metal de aporte se han trasladado al Anexo T (no obligatorio).
6. En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (Unidades SI) de AWS de la misma clasificación de electrodos.
7. Se puede utilizar cualquiera de las clasificaciones de electrodos para un grupo específico en la Tabla 3.2 para soldar cualquiera de los metales base de ese grupo en la Tabla 3.1.

Tabla 3.2
Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 3.1,
Metales de Grupos I, II, III y IV —SMAW y SAW (véase 3.3)

Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	SMAW		SAW	
		A5.1, Acero al carbono	A5.5 ^a , Acero de baja aleación	A5.17, Acero al carbono	A5.23 ^c , Acero de baja aleación
I	Clasificación del electrodo de AWS	E60XX	E70XX-X	F6XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E70XX		F6XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
				F7XX-EXXX	
				F7XX-ECXXX	
II	Clasificación del electrodo de AWS	E7015	E7015-X	F7XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E7016	E7016-X	F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
		E7018	E7018-X		
		E7028			
III	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	E8015-X	N/A	F8XX-EXXX-XX
			E8016-X		F8XX-ECXXX-XX
			E8018-X		
IV	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	E9015-X	N/A	F9XX-EXXX-XX
			E9016-X		F9XX-ECXXX-XX
			E9018-X		
			E9018M		

(Continuación)

Tabla 3.2 (Continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 3.1, metales de Grupo I - FCAW y GMAW con núcleo de metal (véase 3.3)

PROCESO(S) DE SOLDADURA							
Grupo de metal base	Especificación de electrodos de AWS	GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.18, Acero al carbono	A5.28 ^a , Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29 ^a , Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija ^b	A5.36 ^c , Clasificación abierta ^d Ver Nota 8 del Anexo U
I	Clasificación de electrodos de AWS	ER70S-X	ER70S-XXX	E7XT-X	E6XTX-X	FCAW con acero al carbono E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	FCAW con acero al carbono E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 FCAW con acero de baja aleación E6XTX-XAX-XXX E7XTX-XAX-XXX GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E70C-6M (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS) (NOTA: A5.36 no tienen clasificaciones fijas para otros electrodos con núcleo de acero al carbono o para electrodos con núcleo de fundente de acero de baja aleación o con núcleo de metal)
		E70C-XC	E70C-XXX	E7XT-XC	E7XTX-X		
		E70C-XM		E7XT-XM	E6XTX-XC		
		(Se deben excluir electrodos con sufijo -GS)		(Se deben excluir los electrodos con sufijos -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS y los electrodos con sufijos -11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	E6XTX-XM		
					E7XTX-XC		
					E7XTX-XM		

(Continuación)

Tabla 3.2 (Continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 3.1, metales de Grupo II - FCAW y GMAW con núcleo de metal
(véase 3.3)

PROCESO(S) DE SOLDADURA							
Grupo de metal base	Especificación de electrodos de AWS	GMAW	FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación	
		A5.18. Acero al carbono	A5.28 ^a . Acero de baja aleación	A5.20. Acero al carbono	A5.29 ^a . Acero de baja aleación	A5.36. Clasificación fija ^b	A5.36 ^c . Clasificación abierta ^d Ver Nota 8 del Anexo U
II	Clasificación de electrodos de AWS	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS y los electrodos con sufijo -11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	FCAW con acero al carbono E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (Se deben excluir los electrodos de núcleo de fundente con sufijo T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos son sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	FCAW con acero al carbono E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 (Se deben excluir los electrodos de núcleo de fundente con sufijo T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos son sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])
							FCAW con acero de baja aleación E7XTX-AX-XXX E7XTX-XAX-XXX
						GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E70C-6M (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)	GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)
						(NOTA: A5.36 no tienen clasificaciones fijas para otros electrodos con núcleo de acero al carbono o para electrodos de núcleo de fundente de acero de baja aleación o con núcleo de metal)	GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal E7XTX-XAX-XXX

(Continuación)

Tabla 3.2 (Continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 3.1, metales de Grupo II - FCAW y GMAW con núcleo de metal (véase 3.3)

PROCESO(S) DE SOLDADURA							
Grupo de metal base	Especificación de electrodos de AWS	GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.18, Acero al carbono	A5.28 ^a , Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29 ^a , Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija ^b	A5.36 ^c , Clasificación abierta ^d Ver Nota 8 del Anexo U
III	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	ER80S-XXX E80C-XXX	N/A	E8XTX-X E8XTX-XC E8XTX-XM	FCAW con acero al carbono N/A	FCAW con acero al carbono N/A
							FCAW con acero de baja aleación E8XTX-AX-XXX E8XTX-XAX-XXX
						GMAW con acero al carbono con núcleo de metal N/A	GMAW con acero al carbono con núcleo de metal N/A
							GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal E8XTX-XAX-XXX
IV	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	ER90S-XXX E90C-XXX	N/A	E9XTX-X E9XTX-XC E9XTX-XM	FCAW con acero al carbono N/A	FCAW con acero al carbono N/A
							FCAW con acero de baja aleación E9XTX-AX-XXX E9XTX-XAX-XXX
						GMAW con acero al carbono con núcleo de metal N/A	GMAW con acero al carbono con núcleo de metal N/A
							GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal E9XTX-XAX-XXX

^a Los metales de aporte de los grupos de aleaciones B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, B9, E9015-C5L, E9015-D1, E9018-D1, E9018-D3, o cualquiera de grado BXH en AWS A5.5, A5.23, A5.28 o A5.29 no están precalificados para el uso en las condiciones como fueron soldados.

^b Los gases de protección precalificados con base de argón para las clasificaciones fijas de FCAW con acero de baja aleación y al carbono y GMAW con núcleo de metal de acero al carbono deben ser M21-ArC-20-25 (SG-AC-20/25), ver 3.7.4(2).

^c Los metales de aporte de los grupos de aleaciones B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L y B9 en AWS A5.36/A5.36M pueden estar "PRECALIFICADOS" si se los clasifica en la condición tal y como "FUERON SOLDADOS".

^d El gas de protección precalificado de clasificación abierta se limita al gas de protección específico para la clasificación de electrodos y no para el rango de la designación de gas de protección, ver 3.7.4(3).

Notas:

1. En juntas que involucran metales base de diferentes grupos, se pueden usar alguno de los siguientes metales de aporte: (1) el que coincida con el metal base de mayor resistencia o (2) el que coincida con el metal base de menor resistencia y produzca un depósito de bajo hidrógeno. El precalentamiento se debe hacer según los requisitos aplicables al grupo de mayor resistencia.
2. Ajustarse a la norma API 2B (tubos fabricados) según el acero utilizado.
3. Cuando las soldaduras vayan a recibir tratamiento para el alivio de esfuerzo, el metal de soldadura depositado no debe exceder el 0,05 % de vanadio, excepto el grupo de aleación B9.
4. Consulte en las Tablas 2.3 y 9.2 los requisitos de esfuerzo admisible para el metal de aporte correspondiente.
5. Las propiedades del metal de aporte se han trasladado al Anexo T (no obligatorio).
6. En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (Unidades SI) de AWS de la misma clasificación de electrodos.
7. Se puede utilizar cualquiera de las clasificaciones de electrodos para un grupo específico en la Tabla 3.2 para soldar cualquiera de los metales base de ese grupo en la Tabla 3.1.
8. Las clasificaciones abiertas de AWS A5.36/A5.36M se incluyen en el Anexo U.

Tabla 3.3
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (véase 3.5)

Categoría	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulgadas	mm	°F	°C
A	ASTM A36						
	ASTM A53	Grado B					
	ASTM A106	Grado B					
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A139	Grado B					
	ASTM A381	Grado Y35					
	ASTM A500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A501	<u>Grado A</u>					
	ASTM A516			1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 ^a	0 ^a
	ASTM A524	Grados I y II					
	ASTM A573	Grado 65					
	ASTM A709	Grado 36					
	ASTM A1008 SS	Grado 30					
		Grado 33 Tipo 1					
B	ASTM A1011 SS	Grado 40 Tipo 1					
		Grado 30					
		Grado 33					
		Grado 36 Tipo 1					
		Grado 40					
		Grado 45					
		Grado 50					
		Grado 55					
	<u>ASTM A1018 SS</u>	<u>Grado 30</u>					
		<u>Grado 33</u>					
		<u>Grado 36</u>					
		<u>Grado 40</u>					
	API 5L	Grado B					
		Grado X42					
	ABS	Grados A, B, D, CS, DS					
		Grado E					
B	ASTM A36						
	ASTM A53	Grado B					
	ASTM A106	Grado B					
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
		AH 32 y 36					
		DH 32 y 36					
		EH 32 y 36					
	ASTM A139	Grado B					
	ASTM A381	Grado Y35					
	ASTM A441						
	ASTM A500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A501	<u>Grados A y B</u>					
	ASTM A516	<u>Grados 55 y 60</u>					
		65 y 70					
	ASTM A524	Grados I y II					
	ASTM A529	Grados 50 y 55					

(Continuación)

Tabla 3.3 (Continuación)
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (véase 3.5)

C a t e g o r í a	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulgadas	mm	°F	°C
B (Continuación)	ASTM A537	Clases 1 y 2	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 ^a	0 ^a
	ASTM A572	Grados 42, 50, 55					
	ASTM A573	Grado 65					
	ASTM A588						
	ASTM A595	Grados A, B, C					
	ASTM A606						
	ASTM A618	Grados 1b, II, III					
	ASTM A633	Grados A, B					
		Grados C, D					
	ASTM A709	Grados 36, 50, 50S, 50W, HPS 50W					
	ASTM A710	Grado A, Clase 2 (>2 pulgadas [50 mm])					
	ASTM A808						
	ASTM A913 ^b	Grado 50					
	ASTM A992						
	ASTM A1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
		Grado 45 Clase 2					
		Grado 50 Clase 1					
		Grado 50 Clase 2					
		Grado 55 Clase 1					
		Grado 55 Clase 2					
	ASTM A1008 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
		Grado 45 Clase 2					
		Grado 50 Clase 1					
		Grado 50 Clase 2					
		Grado 55 Clase 1					
		Grado 55 Clase 2					
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
		Grado 45 Clase 2					
		Grado 50 Clase 1					
		Grado 50 Clase 2					
		Grado 55 Clase 1					
		Grado 55 Clase 2					
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
		Grado 45 Clase 2					
		Grado 50 Clase 1					
		Grado 50 Clase 2					
		Grado 55 Clase 1					
		Grado 55 Clase 2					
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A1018 SS	Grado 30					
		Grado 33					
		Grado 36					
		Grado 40					
	<u>ASTM 1085</u>						
	API 5L	Grado B					
		Grado X42					
	Espec. API 2H	Grados 42, 50					
	API 2MT1	Grado 50					
	API 2W	Grados 42, 50, 50T					
	API 2Y	Grados 42, 50, 50T					
	ABS	Grados AH 32 y 36					
		Grados DH 32 y 36					
		Grados EH 32 y 36					

(Continuación)

Tabla 3.3 (Continuación)
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (véase 3.5)

Categoría	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulgadas	mm	°F	°C
C	ASTM A572	Grados 60, 65	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	50	10
	ASTM A633	Grado E					
	ASTM A913 ^b	Grados 60, 65, 70					
	ASTM A710	Grado A, Clase 2 (≤2 pulgadas [50 mm])		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Más de 20 hasta 38 incl.	150	65
	ASTM A710	Grado A, Clase 3 (>2 pulgadas [50 mm])					
	ASTM A709 ^c	Grado HPS 70W					
	ASTM A852 ^c			Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Más de 38 hasta 65 incl.	225	110
	ASTM A1018	Grado 60 Clase 2					
	HSLAS	Grado 70 Clase 2					
	ASTM A1018	Grado 60 Clase 2		Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
HSLAS-F	Grado 70 Clase 2						
API 2W	Grado 60						
API 2Y	Grado 60						
API 5L	Grado X52						
D	ASTM A710	Grado A (Todas las clases)	SMAW, SAW, GMAW y FCAW con electrodos o combinaciones electrodo-fundente capaces de depositar el metal de soldadura con un contenido máximo de hidrógeno difusible de 8 ml/100 g (H8) cuando se ensaya según AWS A4.3.	Todos los espesores ≥ 1/8 pulgadas [3 mm]		32 ^a	0 ^a
	ASTM A913 ^b	Grados 50, 60, 65					

^a Cuando la temperatura del metal base está por debajo de 32 °F [0 °C], el metal base debe ser precalentado a un mínimo de 70 °F [20 °C] y se debe mantener la temperatura mínima entre pasadas durante la soldadura.

^b Las limitaciones de entrada de calor de 5.7 no se deben aplicar a ASTM A913.

^c Para ASTM A709 Grado HPS 70W y ASTM A852, las temperaturas máximas de precalentamiento y entre pasadas no deben exceder de 400 °F [200 °C] para espesores de hasta 1-1/2 pulgadas [40 mm], inclusive y 450 °F [230 °C] para espesores mayores.

Notas:

1. Para modificar los requisitos de precalentamiento de SAW con electrodos paralelos o múltiples, ver 3.5.2.
2. Consulte los requisitos de temperatura ambiente y del metal base en 5.11.2 y 5.6.

Tabla 3.4 (véase 3.7.3)
Requisitos de metal de aporte para aplicaciones descubiertas expuestas para aceros resistentes al ambiente

Proceso	Especificación de AWS para metal de aporte	Electrodos aprobados ^a
SMAW	A5.5	Todos los electrodos que depositan metal de soldadura y cumplen con un análisis B2L, C1, C1L, C2, C2L, C3 o WX según A5.5.
SAW	A5.23	Todas las combinaciones de electrodo-fundente que depositan metal de soldadura con un análisis Ni1, Ni2, Ni3, Ni4 o WX según A5.23.
FCAW	A5.29 y A5.36	Todos los electrodos que depositan metal de soldadura con un análisis B2L, K2, Ni1, Ni2, Ni3, Ni4 o WX según A5.29 o A5.36.
GMAW	A5.28 y A5.36	Todos los electrodos que cumplen con los requisitos de composición del metal de aporte del análisis B2L, G ^a , Ni1, Ni2, Ni3 según A5.28 o A5.36.

^a El metal de soldadura depositado debe tener una composición química igual a la de cualquiera de los metales de soldadura en esta tabla.

Notas:

- Los metales de aporte deben cumplir los requisitos de la Tabla 3.2 además de los requisitos de composición enumerados arriba. Se puede utilizar el mismo tipo de metal de aporte que tenga la siguiente resistencia a la tracción más alta incluida en la especificación del metal de aporte AWS.
- Los electrodos compuestos con núcleo de metal se designan de la siguiente manera:
 SAW: Insertar la letra "C" entre las letras "E" y "X", por ej.: E7AX-ECXXX-Ni1.
 GMAW: Reemplazar la letra "S" por la letra "C" y omitir la letra "R", por ej.: E80C-Ni1. La designación AWS A5.36 del electrodo compuesto puede ser T15 o T16, por ej.: E8XT15-XXX-Ni1, E8XT16-XXX-Ni1.

Tabla 3.5
Tamaño mínimo precalificado de las soldaduras con PJP (E)
(véase 3.12.2.1)

Espesor del metal base (T) ^a	Tamaño mínimo de la soldadura ^b	
	pulgadas [mm]	pulgadas mm
1/8 [3] a 3/16 [5] incl.	1/16	2
Más de 3/16 [5] a 1/4 [6] incl.	1/8	3
Más de 1/4 [6] a 1/2 [12] incl.	3/16	5
Más de 1/2 [12] a 3/4 [20] incl.	1/4	6
Más de 3/4 [20] a 1-1/2 [38] incl.	5/16	8
Más de 1-1/2 [38] a 2-1/4 [57] incl.	3/8	10
Más de 2-1/4 [57] a 6 [150] incl.	1/2	12
Más de 6 [150]	5/8	16

^a En el caso de los procesos que no son de bajo hidrógeno y no tienen precalentamiento calculado según 4.8.4, T equivale al espesor de la parte más gruesa unida; se deben utilizar soldaduras de pasada única. Tanto en los procesos de bajo hidrógeno como en los que no lo son y están establecidos para evitar el agrietamiento según 4.8.4, T equivale al espesor de la parte más delgada; no se aplica el requisito de pasada única.

^b Excepto que no es necesario que el tamaño de la soldadura supere el espesor de la parte más delgada unida.

Tabla 3.6
Requisitos de la WPS precalificada^f (véase 3.7)

Variable	Posición	Tipo de soldadura	SMAW	SAW ^d			GMAW/ FCAW ^g
				Simple	Paralelo	Múltiple	
Diámetro máximo del electrodo	Plana	Filete ^a	5/16" [8,0 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8" [3,2 mm]
		Ranura ^a	1/4" [6,4 mm]				
		Pasada de raíz	3/16" [4,8 mm]				
	Horizontal	Filete	1/4" [6,4 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8" [3,2 mm]
		Ranura	3/16" [4,8 mm]				
	Vertical	Todos	3/16" [4,8 mm] ^b	Requiere ensayo de calificación de la WPS			3/32" [2,4 mm]
	Sobre cabeza	Todos	3/16" [4,8 mm] ^b				5/64" [2,0 mm]
Corriente máxima	Todos	Filete	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte	1000 A	1200 A	Sin límite	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte
	Todos	Pasada de raíz de la soldadura en ranura con abertura		600 A	700 A		
		Pasada de raíz de la soldadura en ranura sin abertura			900 A		
		Pasadas de relleno de soldadura en ranura			1200 A		
				Pasada de cobertura de soldadura en ranura	Sin límite		
Espesor máximo de pasada de raíz ^d	Plana	Todos	3/8" [10 mm]	Sin límite			3/8" [10 mm]
	Horizontal		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
	Vertical		1/2" [12 mm]	Sin límite			1/2" [12 mm]
	Sobre cabeza		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
Espesor máximo de pasada de relleno	Todos	Todos	3/16" [5 mm]	1/4" [6 mm]	Sin límite		1/4" [6 mm]
Tamaño máximo de soldadura en filete de pasada única ^c	Plana	Filete	3/8" [10 mm]	Sin límite			1/2" [12 mm]
	Horizontal		5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]	1/2" [12 mm]	3/8" [10 mm]	
	Vertical		1/2" [12 mm]	Sin límite			1/2" [12 mm]
	Sobre cabeza		5/16" [8 mm]				5/16" [8 mm]
Ancho máximo de capa de pasada única	Todas (para GMAW/ FCAW) F y H (para SAW)	Abertura de la raíz > 1/2" [12 mm], o		Capas divi- didas	Electrodos desplazados lateralmente o capa dividida	Capas divi- didas	Capas divididas
		Cualquier capa de ancho w		Capas divi- didas si w > 5/8" [16 mm]	Capas divi- didas con elec- trodos en tándem si w > 5/8" [16 mm]	Si w > 1" [25 mm], capas divi- didas	(Nota e)

^a Excepto pasadas de raíz.^b 5/32" [4,0 mm] para EXX14 y electrodos de bajo hidrógeno^c Ver en 3.7.3 los requisitos ASTM A588 para soldadura sin pintar y expuesta.^d Ver las limitaciones de ancho a profundidad en 3.7.2.^e En las posiciones F, H u OH para no tubulares, dividida las capas cuando el ancho de la capa sea w > 5/8 pulgadas [16 mm]. En la posición vertical para no tubulares o las posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza para tubulares, dividida las capas cuando el ancho sea w > 1 pulgadas [25 mm]^f El área sombreada indica no aplicabilidad.^g GMAW-S no debe ser precalificada.

Tabla 3.7
Variables precalificadas de WPS (véase 3.6 y 3.7)

Variable precalificada de WPS	Proceso			
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
Generalidades				
1) Un cambio de los procesos de soldadura ^a	X	X	X	X
2) Un cambio en las posiciones de soldadura	X	X	X	X
Metal base				
3) Un cambio en los números de los grupos del metal base (véase Tabla 3.1)	X	X	X	X
4) Un cambio en la categoría de precalentamiento del metal base (véase Tabla 3.3)	X	X	X	X
Metal de aporte				
5) Un cambio de la clasificación de los electrodos	X	X	X	X
6) Un cambio de la clasificación de los electrodos/fundentes		X		
7) Un cambio del diámetro nominal del electrodo	X	X	X	X
8) Un cambio de la cantidad de electrodos		X		
Parámetros de proceso				
9) Un cambio del amperaje		> 10% de incremento o disminución	> 10% de incremento o disminución	> 10% de incremento o disminución
10) Un cambio del tipo de corriente (CA o CC) o polaridad	X	X	X	X
11) Un cambio del modo de transferencia			X	
12) Un cambio del voltaje		> 15% de incremento o disminución	> 15% de incremento o disminución	> 15% de incremento o disminución
13) Un cambio de velocidad de alimentación del alambre (si no está controlado por el amperaje)		> 10% de incremento o disminución	> 10% de incremento o disminución	> 10% de incremento o disminución
14) Un cambio de velocidad de desplazamiento		> 25% de incremento o disminución	> 25% de incremento o disminución	> 25% de incremento o disminución
Gas de protección				
15) Un cambio de composición nominal del gas de protección			X	X (solo para FCAW-G)

(Continuación)

Tabla 3.7 (Continuación)
Variables precalificadas de WPS (véase 3.6 y 3.7)

Variable precalificada de WPS	Proceso			
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW
16) Disminución del caudal de gas de protección			> 25%	> 25% (solo para FCAW-G)
17) Aumento del caudal de gas			> 50%	> 50 % (solo para FCAW-G)

Parámetros de SAW

18) Un cambio del espaciamiento longitudinal de los arcos		> 10% o 1/8 pulgadas [3 mm], el que sea mayor		
19) Un cambio del espaciamiento lateral de los arcos		> 10% o 1/8 pulgadas [3 mm], el que sea mayor		
20) Un cambio de orientación angular de electrodos paralelos		Incremento o disminución > 10°		
21) En el caso de SAW mecanizada o automática, cambio del ángulo paralelo a la dirección del desplazamiento del electrodo		Incremento o disminución > 10°		
22) En el caso de SAW mecanizada o automática, cambio del ángulo del electrodo normal a la dirección del desplazamiento		Incremento o disminución > 15°		

Detalles de soldadura

23) Un cambio de la configuración de la soldadura (por ejemplo: una soldadura en filete por una en ranura con CJP, etc.)	X	X	X	X
24) Un cambio de los detalles de soldadura en ranura como se muestra en las Figuras 3.2, 3.3 y 3.6	X	X	X	X

Térmica

25) Un cambio (agregado o eliminación) de PWHT ^a	X	X	X	X

^aSe debe exigir una WPS independiente cuando se cambia esta variable.

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el proceso, un bloque sombreado indica no aplicabilidad.

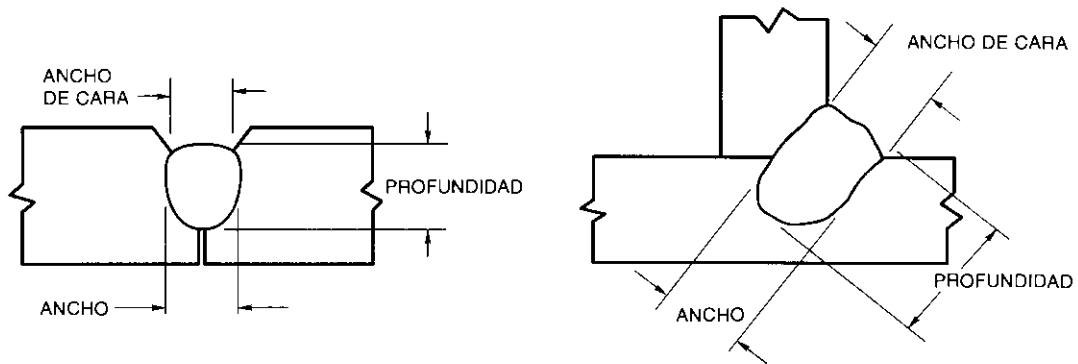


Figura 3.1—Cordón de soldadura donde la profundidad y el ancho exceden el ancho de la cara de soldadura (véase 3.7.2)

Notas de las Figuras 3.2 y 3.3

Símbolos para los tipos de juntas

B — junta a tope
 C — junta en esquina
 T — junta en T
 BC — junta en esquina o a tope
 BC — junta en esquina o en T
 BTC — junta en esquina, en T o a tope

Símbolos para el espesor del metal base y la penetración

P — PJP
 L — espesor limitado—CJP
 U — espesor ilimitado—CJP

Símbolos para los tipos de soldaduras

1 — ranura en escuadra
 2 — ranura en V simple
 3 — ranura en doble V
 4 — ranura de bisel simple
 5 — ranura doble bisel
 6 — ranura en U simple
 7 — ranura en U doble
 8 — ranura en J simple
 9 — ranura en J doble
 10 — ranura de bisel abocinada
 11 — ranura abocinada en V

Símbolos para los procesos de soldadura si no son SMAW

S — SAW
 G — GMAW
 F — FCAW

Procesos de soldadura

SMAW — soldadura por arco con electrodo metálico revestido
 GMAW — soldadura por arco con electrodo metálico protegido con gas
 FCAW — soldadura por arco metálico de núcleo fundente
 SAW — soldadura por arco sumergido

Posiciones de soldadura

F — Plana
 H — Horizontal
 V — Vertical
 OH — Sobrecabeza

Dimensiones

R = Abertura de la raíz
 α, β = Ángulos de la ranura
 f = Cara de la raíz
 r = Radio de la ranura en J o en U
 S, S₁, S₂ = Soldadura en ranura con PJP
 Profundidad de la ranura
 E, E₁, E₂ = Soldadura en ranura con PJP
 Tamaños correspondientes a S, S₁, S₂, respectivamente

Designación de junta

Las letras minúsculas, por ej.: a, b, c, etc., se utilizan para diferenciar las juntas, que de otro modo tendrían la misma designación de junta.

Notas de las Figuras 3.2 y 3.3

^a No precalificado para GMAW-S ni GTAW.

^b La junta debe estar soldada de un solo lado.

^c La aplicación de carga cíclica establece restricciones al uso de este detalle para las juntas a tope en la posición plana (véase 2.18.2).

^d Ranurado de raíz del lado opuesto al metal sólido antes de soldar el segundo lado.

^e Las juntas SMAW detalladas pueden usarse para GMAW (excepto para GMAW-S) o FCAW precalificadas.

^f El tamaño mínimo de soldadura (E) según se muestra en la Tabla 3.5. S según se especifica en los planos.

^g Si las soldaduras en filete se usan en estructuras cargadas estáticamente para reforzar las soldaduras en ranura en juntas en esquina y en T, estas serán igual a T₁/4, pero no deben exceder de 3/8 pulg. [10 mm]. Las soldaduras en ranura en las juntas en esquina y en T de estructuras cargadas cíclicamente se deben reforzar con soldaduras en filete iguales a T₁/4, pero no deben exceder de 3/8 pulg. [10 mm].

^h Las soldaduras en ranura doble pueden presentar ranuras de profundidad desigual, pero la profundidad de la ranura menos profunda no debe ser inferior a un cuarto del espesor de la parte más delgada que se junte.

ⁱ Las soldaduras en ranura doble pueden presentar ranuras de profundidad desigual, siempre que cumplan con las limitaciones de la Nota f. Además, el tamaño de la soldadura (E) se aplica en forma individual a cada ranura.

^j La orientación de ambas partes de las juntas puede variar de 135° a 180° en las juntas a tope, o de 45° a 135° en las juntas en esquina, o de 45° a 90° en las juntas en T.

^k En el caso de las juntas en esquina, la preparación de la ranura externa puede ser en cualquiera de los dos o en ambos miembros, siempre que no se cambie la configuración básica de la ranura y se mantenga una distancia de borde adecuada para sostener las operaciones de soldadura sin fusión excesiva.

^l El tamaño de la soldadura (E) se debe basar en las juntas soldadas al ras.

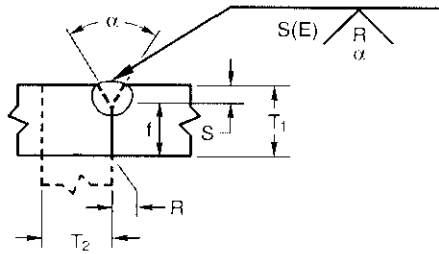
^m En el caso de las soldaduras en ranura abocinada en V y las soldaduras en ranura de bisel abocinado a secciones tubulares rectangulares, r debe tener el doble del espesor de la pared.

ⁿ En el caso de las soldaduras en ranura abocinada en V a superficies con diferente radio r, se debe usar el r más pequeño.

^o En el caso de las juntas en T y en esquina, la orientación puede variar de 90° a menos de o igual a 170° siempre que se mantengan el ángulo en ranura y la abertura de la raíz, y el ángulo entre las caras de la ranura y el respaldo de acero sea de al menos 90°. Ver Figura 3.6

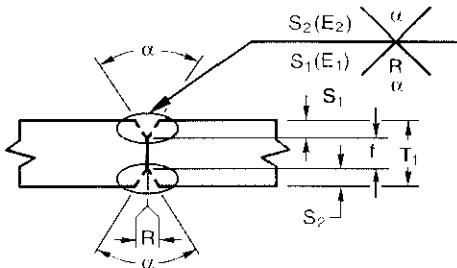
Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura en V simple (2)
 Junta a tope (B)
 Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	1/4 min.	U	R = 0 f = 1/32 min. α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	1/4 min.	U	R = 0 f = 1/8 mín. α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	7/16 min.	U	R = 0 f = 1/4 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, j

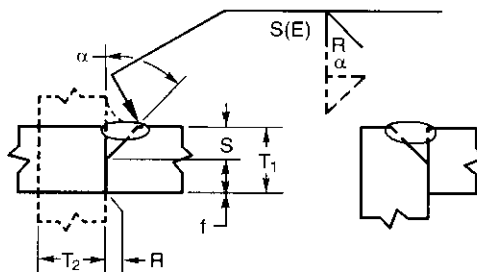
Soldadura en ranura de doble V (3)
 Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P3	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. α = 60°	+1/16, -0 +U, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	3/4 mín.	—	R = 0 f = 1/4 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

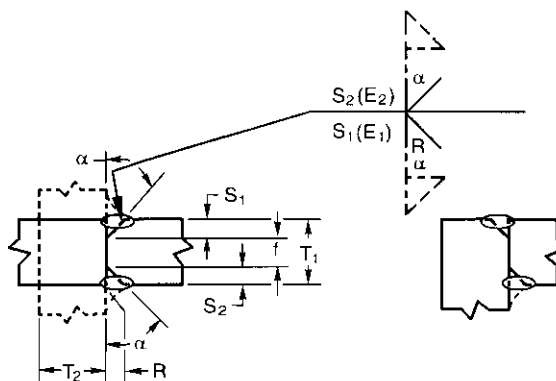
Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂	Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 1/8 mín. α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S-1/8	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F, H	S	a, b, f, g, j, k
							V, OH	S-1/8	
SAW	TC-P4-S	7/16 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, g, j, k

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

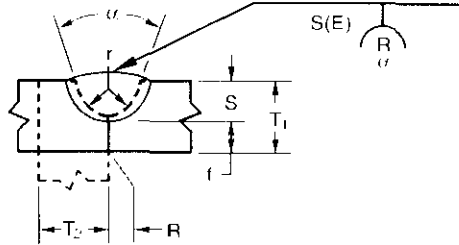


Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	5/16 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂ -1/4	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	1/2 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. α = 45°	+1/16, -0 +U -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 +10°, -5°	F, H	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
							V, OH	S ₁ + S ₂ -1/4	
SAW	TC-P5-S	3/4 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

68

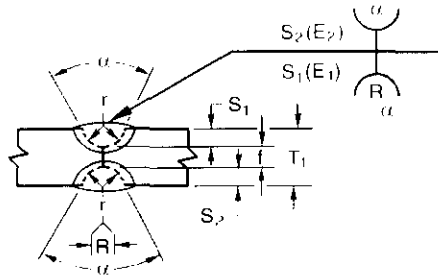
Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en U (6)
 Junta a tope (B)
 Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/32 mín. r = 1/4 α = 45°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P6-GF	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. r = 1/4 α = 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	a, b, f, j
SAW	BC-P6-S	7/16 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/4 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	b, f, j

Soldadura en ranura de doble U (7)
 Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas	
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)				Según acoplamiento (véase 3.12.3)
SMAW	B-P7	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 1/4 α = 45°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P7-GF	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 1/4 α = 20°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P7-S	3/4 mín.	—	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/4 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

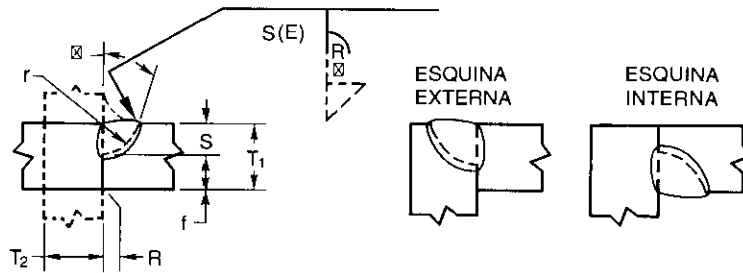
Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en J (B)

Junta a tope (B)

Junta en T (T)

Junta en esquina (C)



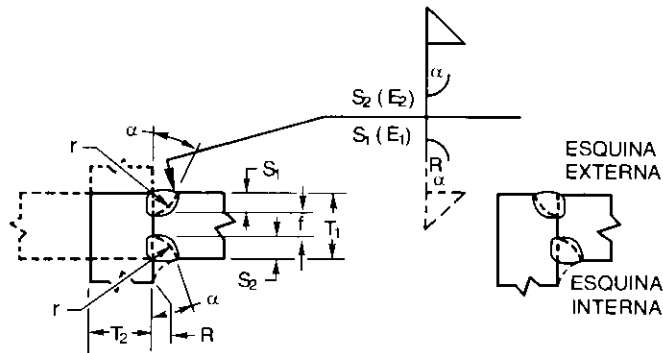
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P8	1/4 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α = 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	e, f, g, j, k
	TC-P8	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	e, f, g, j, k
GMAW FCAW	B-P8-GF	1/4 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α = 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S	a, f, g, j, k
	TC-P8-GF	1/4 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°**	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	a, f, g, j, k
SAW	B-P8-S	7/16 mín.	—	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/2 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S	f, g, j, k
	TC-P8-S	7/16 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/2 α _{oc} = 20°** α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	F	S	f, g, j, k

* α_{oc} = Ángulo exterior de la ranura en esquina.** α_{ic} = Ángulo interior de la ranura en esquina.

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de doble J (g)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P9	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α = 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k
	TC-P9	1/2 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°***	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	B-P9-GF	1/2 mín.	—	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α = 30°	+1/16, -0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/8, -1/16 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
	TC-P9-GF	1/2 mín.	U	R = 0 f = 1/8 mín. r = 3/8 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°***	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
SAW	B-P9-S	3/4 mín.	—	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/2 α = 20°	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k
	TC-P9-S	3/4 mín.	U	R = 0 f = 1/4 mín. r = 1/2 α _{oc} = 20°** α _{ic} = 45°***	±0 +U, -0 +1/4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 ±1/16 +10°, -5° +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

* α_{oc} = Ángulo exterior de la ranura en esquina.** α_{ic} = Ángulo interior de la ranura en esquina.

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel
 abocinado (10)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)			Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas			
		T ₁	T ₂	T ₃	Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio de doblado	Tolerancias							
						Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)						
SMAW FCAW-S	BTC-P10	3/16 mín.	U	T ₁ mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	Todas	5/16 r	e, g, j, l			
GMAW FCAW-G	BTC-P10-GF	3/16 mín.	U	T ₁ mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	Todas	5/8 r	a, g, j, l, m			
SAW	B-P10-S	1/2 mín.	N/A	1/2 mín.	R = 0 f = 1/2 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	5/16 r	g, j, l, m			

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

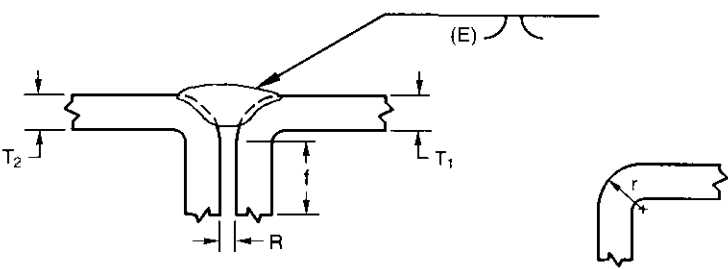
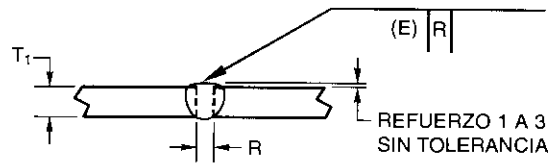
Soldadura en ranura abocinada en V (11) Junta a tope (B) 								
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio de doblado	Tolerancias Según detalle (véase 3.12.3) Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	3/16 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	Todas	5/8 r e, j, l, m, n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	3/16 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 3/16 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+1/16, -0 +U, -0 +U, -0	+1/8, -1/16 +U, -1/16 +U, -0	Todas	3/4 r a, j, l, m, n
SAW	B-P11-S	1/2 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 1/2 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	±0 +U, -0 +U, -0	+1/16, -0 +U, -1/16 +U, -0	F	1/2 r j, l, m, n

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

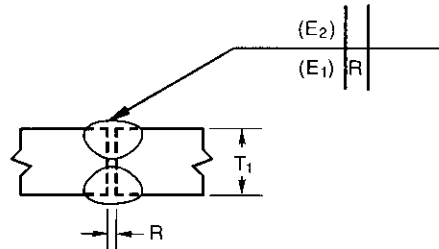
Soldadura en ranura en
escuadra (1)
Junta a tope (B)



TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	3	—	R = 0 a 2	+2, -0	±2	Todas	T ₁ - 1	b
	B-P1c	6 máx.	—	R = $\frac{T_1}{2}$ mín.	+2, -0	±2	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	3	—	R = 0 a 2	+2, -0	±2	Todas	T ₁ - 1	b, e
	B-P1c-GF	6 máx.	—	R = $\frac{T_1}{2}$ mín.	+2, -0	±2	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b, e

Soldadura en ranura en escuadra (1)
Junta a tope (B)



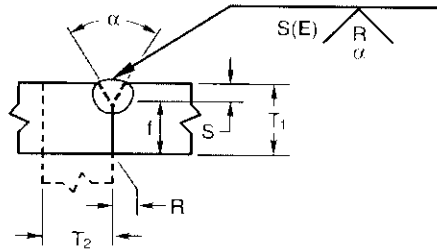
$E_1 + E_2$ NO DEBE EXCEDER DE $\frac{3T_1}{4}$
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P1b	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	±2	Todas	$\frac{3T_1}{4}$	
GMAW FCAW	B-P1b-GF	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	±2	Todas	$\frac{3T_1}{4}$	e

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

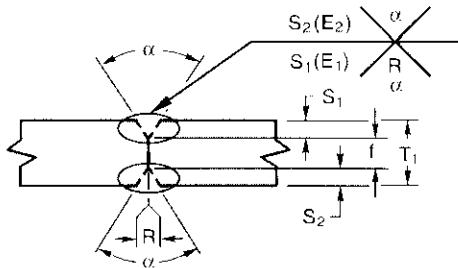
Soldadura en ranura en V simple (2)
 Junta a tope (B)
 Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	6 mín.	U	R = 0 f = 1 mín. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	11 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, j

Soldadura en ranura de doble V (3)
 Junta a tope (B)



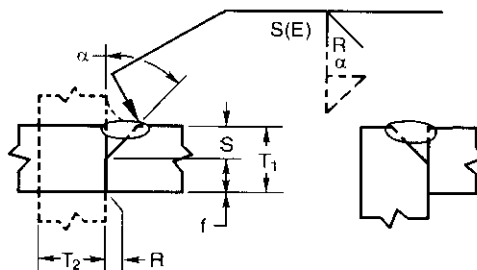
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P3	12 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P3-GF	12 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P3-S	20 mín.	—	R = 0 f = 6 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

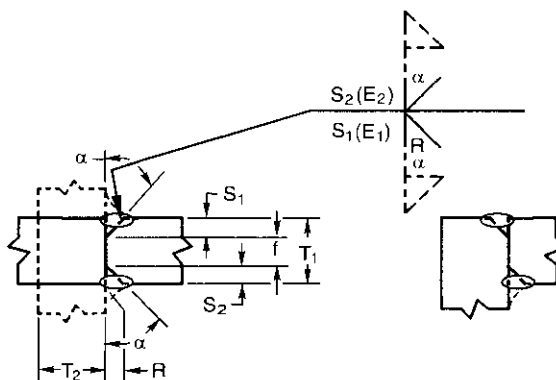
Soldadura en ranura con bisel simple (4)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 3 mín. $\alpha = 45^\circ$	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	Todas	S-3	b, e, f, g, j, k
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. $\alpha = 45^\circ$	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ± 2 +10°, -5°	F, H	S	a, b, f, g, j, k
							V, OH	S-3	
SAW	TC-P4-S	11 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. $\alpha = 60^\circ$	± 0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ± 2 +10°, -5°	F	S	b, f, g, j, k

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



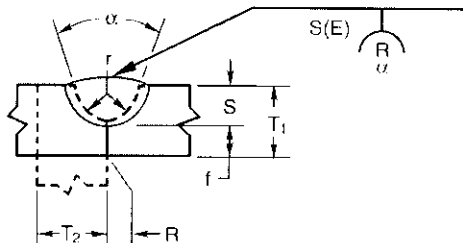
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂	Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	8 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂ -6	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	12 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
							V, OH	S ₁ + S ₂ -6	
SAW	TC-P5-S	20 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

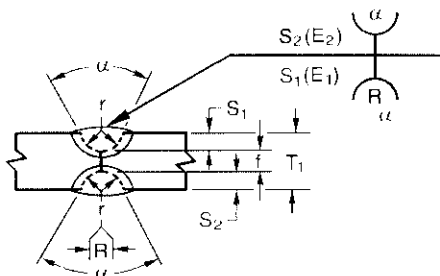
Soldadura simple en ranura en U (6)
 Junta a tope (B)
 Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	6 mín.	U	R = 0 f = 1 mín. r = 6 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P6-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. r = 6 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	a, b, f, j
SAW	BC-P6-S	11 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. r = 6 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	b, f, j

Soldadura en ranura de doble U (7)
 Junta a tope (B)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P7	12 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 6 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, i, j
GMAW FCAW	B-P7-GF	12 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 6 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, i, j
SAW	B-P7-S	20 mín.	—	R = 0 f = 6 mín. r = 6 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, i, j

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en J (8)
Junta a tope (B)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

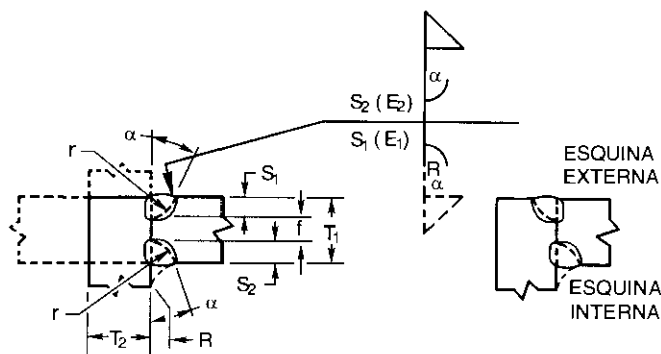
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias							
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)						
SMAW	B-P8	6 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	e, f, g, j, k			
	TC-P8	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°***	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	e, f, g, j, k			
GMAW FCAW	B-P8-GF	6 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	a, f, g, j, k			
	TC-P8-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α _{oc} = 30°** α _{ic} = 45°***	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	a, f, g, j, k			
SAW	B-P8-S	11 mín.	—	R = 0 f = 6 mín. r = 12 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	f, g, j, k			
	TC-P8-S	11 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. r = 12 α _{oc} = 20°** α _{ic} = 45°***	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	F	S	f, g, j, k			

* α_{oc} = Ángulo exterior de la ranura en esquina.** α_{ic} = Ángulo interior de la ranura en esquina.

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de doble J (9)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño total de la soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio del bisel Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P9	12 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α = 30 °	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k
	TC-P9	12 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} = 45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	e, f, g, i, j, k
GMAW FCAW	B-P9-GF	6 mín.	—	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α = 30 °	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
	TC-P9-GF	6 mín.	U	R = 0 f = 3 mín. r = 10 α _{oc} = 30°* α _{ic} = 45°**	+2, -0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S ₁ + S ₂	a, f, g, i, j, k
SAW	B-P9-S	20 mín.	—	R = 0 f = 6 mín. r = 12 α = 20°	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k
	TC-P9-S	20 mín.	U	R = 0 f = 6 mín. r = 12 α _{oc} = 20°* α _{ic} = 45°**	±0 +U, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	F	S ₁ + S ₂	f, g, i, j, k

* α_{oc} = Ángulo exterior de la ranura de esquina.** α_{ic} = Ángulo interior de la ranura en esquina.

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel
abocinado (10)
Junta a tope (B)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

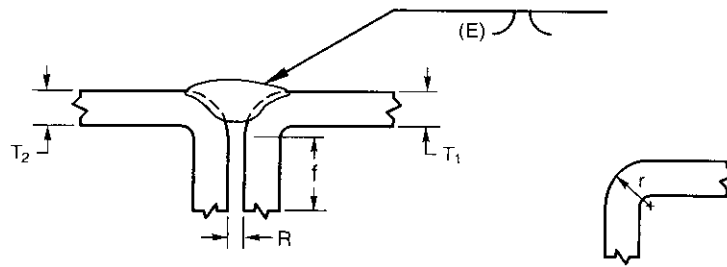
TODAS LAS DIMENSIONES EN
mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)			Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas			
		T ₁	T ₂	T ₃	Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio de doblado	Tolerancias							
						Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)						
SMAW FCAW-S	BTC-P10	5 mín.	U	T ₁ mín.	R = 0 f = 5 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	5/16 r	e, g, j, l			
GMAW FCAW-G	BTC-P10-GF	5 mín.	U	T ₁ mín.	R = 0 f = 5 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	5/8 r	a, g, j, l, m			
SAW	B-P10-S	12 mín.	12 mín.	N/A	R = 0 f = 12 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	5/16 r	g, j, l, m			

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura abocinada en V
(11)
Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Radio de doblado	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW FCAW-S	B-P11	5 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 5 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	5/8 r	e, j, l, m, n
GMAW FCAW-G	B-P11-GF	5 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 5 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	3/4 r	a, j, l, m, n
SAW	B-P11-S	12 mín.	T ₁ mín.	R = 0 f = 12 mín. $r = \frac{3T_1}{2}$ mín.	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	1/2 r	j, l, m, n

Figura 3.2 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con PJP precalificada (véase 3.12) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura en escuadra (1)

Junta a tope (B)

Junta en esquina (C)

B-L1a

C-L1a

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	1/4 máx.	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	Todas	—	e, j
	C-L1a	1/4 máx.	U	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	Todas	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	3/8 máx.	—	R = T ₁	+1/16, -0	+1/4, -1/16	Todas	No se requiere	a, j

Soldadura en ranura en escuadra (1)

Junta a tope (B)

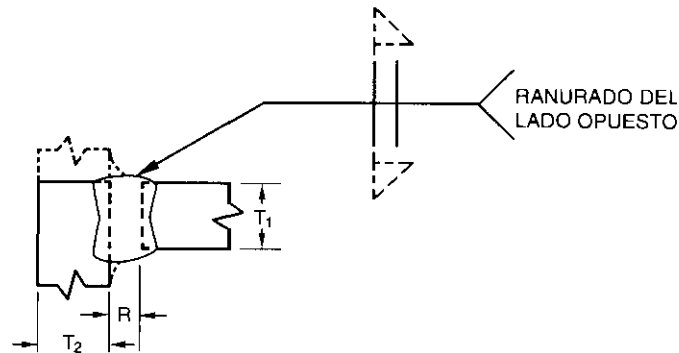
RANURADO DEL LADO OPUESTO
(EXCEPTO B-L1-S)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	1/4 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	+1/16, -1/8	Todas	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	3/8 máx.	—	R = 0 a 1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	Todas	No se requiere	a, d, j
SAW	B-L1-S	3/8 máx.	—	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	5/8 máx.	—	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	d, j

Figura 3.3—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

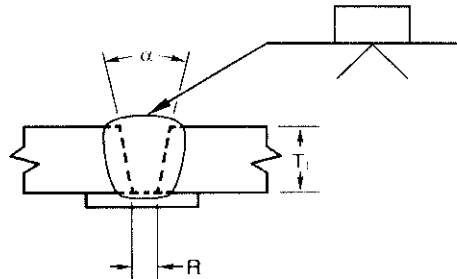
Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura en escuadra (1)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	TC-L1b	1/4 máx.	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	+1/16, -1/8	Todas	—	d, e, g
GMAW FCAW	TC-L1-GF	3/8 máx.	U	R = 0 a 1/8	+1/16, -0	+1/16, -1/8	Todas	No se requiere	a, d, g
SAW	TC-L1-S	3/8 máx.	U	R = 0	±0	+1/16, -0	F	—	d, g

Soldadura en ranura en V simple (2)
 Junta a tope (B)



Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
R = +1/16, -0	+1/4, -1/16
α = +10°, -0°	+10°, -5°

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 1/4	α = 45°	Todas	—	e, j
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	—	e, j
				R = 1/2	α = 20°	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 3/16	α = 30°	F, V, OH	Se requiere	a, j
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	No se req.	a, j
				R = 1/4	α = 45°	F, V, OH	No se req.	a, j
SAW	B-L2a-S	2 máx.	—	R = 1/4	α = 30°	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R = 5/8	α = 20°	F	—	j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en V (2)
 Junta en esquina (C)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
R = +1/16, -0	+1/4, -1/16
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°

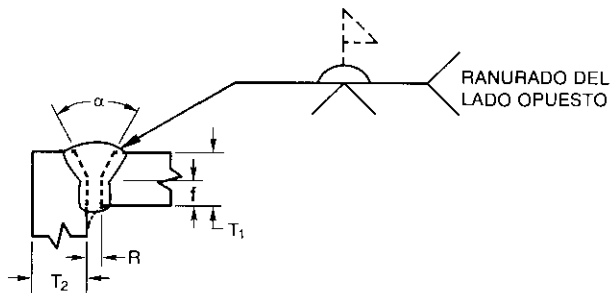
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	C-U2a	U	U	R = 1/4	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	e, o
				R = 3/8	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, o
				R = 1/2	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	e, o
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	U	R = 3/16	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	Se requiere	a
				R = 3/8	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	No se req.	a, o
				R = 1/4	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	No se req.	a, o
SAW	C-L2a-S	2 máx.	U	R = 1/4	$\alpha = 30^\circ$	F	—	o
SAW	C-U2-S	U	U	R = 5/8	$\alpha = 20^\circ$	F	—	o

Soldadura simple en ranura en V (2)
Junta a tope (B)

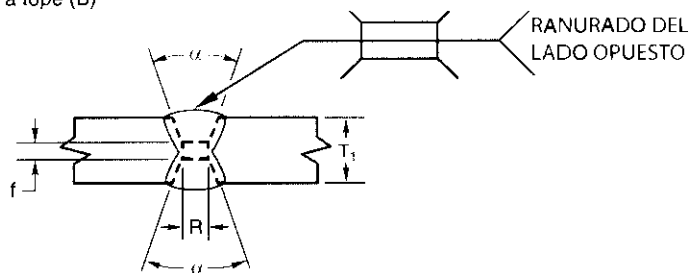
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias							
					Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)						
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, j			
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, d, j			
SAW	B-L2c-S	Más de 1/2 a 1	—	R = 0 f = 1/4 máx. α = 60°	R = ±0 f = +0, -f α = +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	—	d, j			
		Mayor de 1 a 1-1/2	—	R = 0 f = 1/2 máx. α = 60°								
		Mayor de 1-1/2 a 2	—	R = 0 f = 5/8 máx. α = 60°								

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en V (2)
Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Angulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 60°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	R = 0 a 1/8 f = 1/4 máx. α = 60°	±0 +0, -1/4 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	—	d, g, j

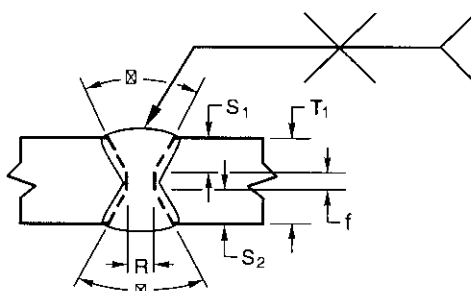
Soldadura en ranura de doble V (3)
Junta a tope (B)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
R = ± 0	+1/4, -0
f = ± 0	+1/16, -0
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
Separador	
SAW	± 0
SMAW	± 0

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U3a	U	—	R = 1/4	f = 0 a 1/8	α = 45°	Todas	—	d, e, h, j
		Espaciador = 1/8 ξ R		R = 3/8	f = 0 a 1/8	α = 30°	F, V, OH		
				R = 1/2	f = 0 a 1/8	α = 20°	F, V, OH		
SAW	B-U3a-S	U Espaciador = 1/4 ξ R	—	R = 5/8	f = 0 a 1/4	α = 20°	F	—	d, h, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de doble V (3) Junta a tope (B) 				Solo para B-U3c-S					
				T ₁		S ₁			
				Mayor de	a				
				2	2-1/2	1-3/8			
				2-1/2	3	1-3/4			
				3	3-5/8	2-1/8			
				3-5/8	4	2-3/8			
				4	4-3/4	2-3/4			
				4-3/4	5-1/2	3-1/4			
				5-1/2	6-1/4	3-3/4			
Para T ₁ > 6-1/4 o T ₁ ≤ 2 S ₁ = 2/3 (T ₁ - 1/4)									
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
SMAW GMAW FCAW	B-U3b B-U3-GF	U	—	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = β = 60°	Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)	Todas	—	d, e, h, j
	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°				+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, d, h, j	
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 1/4 mín. α = β = 60°	+1/16, -0 +1/4, -0 +10°, -0°	+1/16, -0 +1/4, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j
					Para buscar S ₁ ver tabla de arriba: S ₂ = T ₁ - (S ₁ + f)				

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
Junta a tope (B)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
$R = +1/16, -0$	$+1/4, -1/16$
$\alpha = +10^{\circ}, -0^{\circ}$	$+10^{\circ}, -5^{\circ}$

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 1/4	$\alpha = 45^{\circ}$	Todas	—	c, e, j
				R = 3/8	$\alpha = 30^{\circ}$	Todo	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 3/16	$\alpha = 30^{\circ}$	Todas	Se requiere	a, c, j
				R = 1/4	$\alpha = 45^{\circ}$	Todas	No se req.	a, c, j
				R = 3/8	$\alpha = 30^{\circ}$	F, H	No se req.	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	R = 3/8	$\alpha = 30^{\circ}$	F	—	c, j
				R = 1/4	$\alpha = 45^{\circ}$			

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel simple (4)						Tolerancias	
Junta en T (T)						Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
Junta en esquina (C)						$R = +1/16, -0$	$+1/4, -1/16$
						$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	TC-U4a	U	U	$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	e, g, k, o
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, g, k, o
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	$R = 3/16$	$\alpha = 30^\circ$	Todo	Se requiere	a, g, k, o
				$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F	No se req.	a, g, k, o
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$	Todas	No se req.	a, g, k, o
SAW	TC-U4a-S	U	U	$R = 3/8$	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g, k, o
				$R = 1/4$	$\alpha = 45^\circ$			

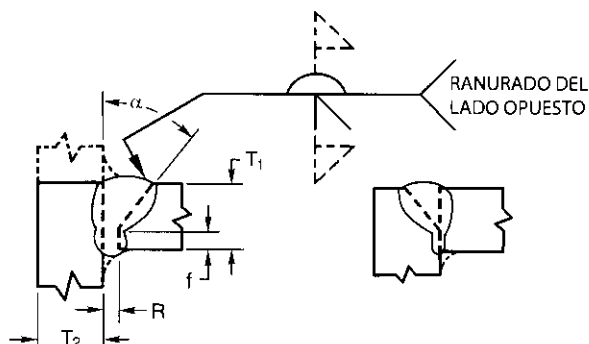
Soldadura en ranura con bisel simple (4)						Tolerancias	
Junta a tope (B)						Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)
						± 0	$+1/4, -0$
						$+0, -1/8$	$\pm 1/16$
						$+10^\circ, -0^\circ$	$10^\circ, -5^\circ$

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Tolerancias			
SMAW	B-U4b	U	—	$R = 0$ a $1/8$	$+1/16, -0$	Todas	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—	$f = 0$ a $1/8$ $\alpha = 45^\circ$	$+1/16, -0$ $+10^\circ, -0^\circ$	Todas	No se requiere	a, c, d, j
SAW	B-U4b-S	U	—	$R = 0$ $f = 1/4$ máx. $\alpha = 60^\circ$	± 0 $+0, -1/8$ $+10^\circ, -0^\circ$	F	—	c, d, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)



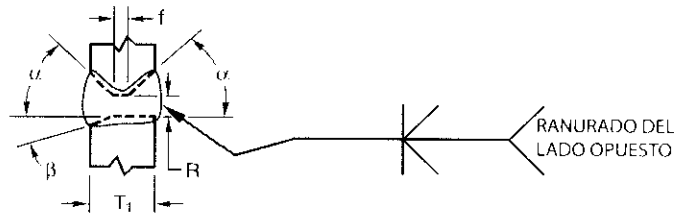
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado 10°, -5°	Todas	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				Todas	No se requiere	a, d, g, j, k
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 1/4 máx. α = 60°	±0 +0, -1/8 +10°, -0°	+1/4, -0 ±1/16 10°, -5°	F	—	d, g, j, k

Soldadura en ranura con doble bisel (5) Junta a tope (B) Junta en T (T) Junta en esquina (C)				Tolerancias	
				Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)
				R = ± 0	+1/4, -0
				f = +1/16, -0	$\pm 1/16$
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
Separador				+1/16, -0	+1/8, -0

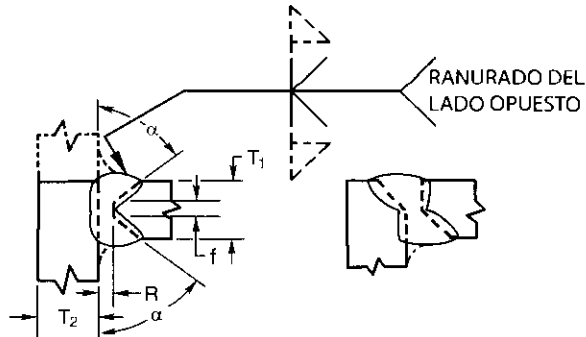
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U5b	U Espaciador = 1/8 ξ R	—	R = 1/4	f = 0 a 1/8	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	c, d, e, h, j
	TC-U5a	U Espaciador = 1/4 ξ R	U	R = 1/4	f = 0 a 1/8	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	d, e, g, h, j, k
				R = 3/8	f = 0 a 1/8	$\alpha = 30^\circ$	F, OH	—	d, e, g, h, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
Junta a tope (B)

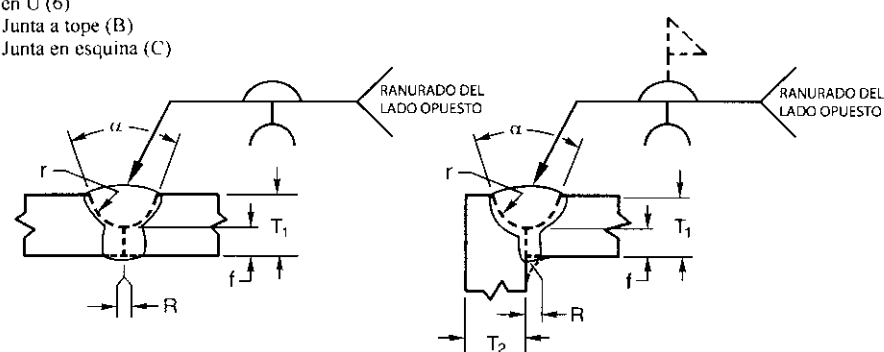
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 45° β = 0° a 15°	+1/16, -0 +1/16, -0 α + β = +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado α + β = +10°, -5°	Todas	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 45° β = 0° a 15°	+1/16, -0 +1/16, -0 α + β = +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado α + β = +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, c, d, h, j

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 Ilimitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U				Todas	No se requiere	a, d, g, h, j, k
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 1/4 máx. α = 60°	±0 +0, -3/16 +10°, -0°	+1/16, -0 ±1/16 +10°, -5°	F	—	d, g, h, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en U (6) Junta a tope (B) Junta en esquina (C) 				Tolerancias						
				Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)					
				$R = +1/16, -0$	$+1/16, -1/8$					
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$					
				$f = \pm 1/16$	Ilimitado					
				$r = +1/8, -0$	$+1/8, -0$					
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U6	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todas	—	d, e, j
				$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	F, OH	—	d, e, j
	C-U6	U	U	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todo	—	d, e, g, j
				$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	F, OH	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todas	No se req.	a, d, j
	C-U6-GF	U	U	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todas	No se req.	a, d, g, j

Soldadura en ranura de
doble U (7)
Junta a tope (B)

Tolerancias

Según detalle
(véase 3.13.1)

Según
acoplamiento
(véase 3.13.1)

Para B-U7 y B-U7-GF

$R = +1/16, -0$

$+1/16, -1/8$

$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$

$+10^\circ, -5^\circ$

$f = +1/16, -0$

Ilimitado

$r = +1/4, -0$

$\pm 1/16$

Para B-U7-S

$R = +0$

$+1/16, -0$

$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$

$+10^\circ, -5^\circ$

$f = +0, -1/4$

$\pm 1/16$

$r = +1/4, -0$

$\pm 1/16$

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U7	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todo	—	d, e, h, j
				$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	F, OH	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U7-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/8$	$r = 1/4$	Todas	No se requiere	a, d, j, h
SAW	B-U7-S	U	—	$R = 0$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 1/4 \text{ máx.}$	$r = 1/4$	F	—	d, h, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en J (B)
Junta a tope (B)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
B-U8 y B-U8-GF	
$R = +1/16, -0$	$+1/16, -1/8$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +1/8, -0$	Ilimitado
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$
B-U8-S	
$R = \pm 0$	$+1/4, -0$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +0, -1/8$	$\pm 1/16$
$r = +1/4, -0$	$\pm 1/16$

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U8	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/8$	$r = 3/8$	Todas	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 1/8$	$\alpha = 30^\circ$	$f = 1/8$	$r = 3/8$	Todas	No se req.	a, c, d, j
SAW	B-U8-S	U	—	$R = 0$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 1/4 \text{ máx.}$	$r = 3/8$	F	—	c, d, j

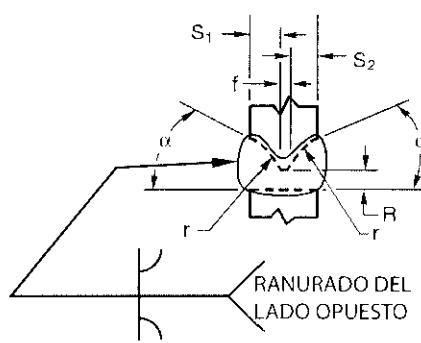
Soldadura simple en
 ranura en J (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
TC-U8a y TC-U8a-GF	
R = +1/16, -0	+1/16, -1/8
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = +1/16, -0	Ilimitado
r = +1/4, -0	±1/16
TC-U8a-S	
R = ±0	+1/4, -0
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = +0, -1/8	±1/16
r = +1/4, -0	±1/16

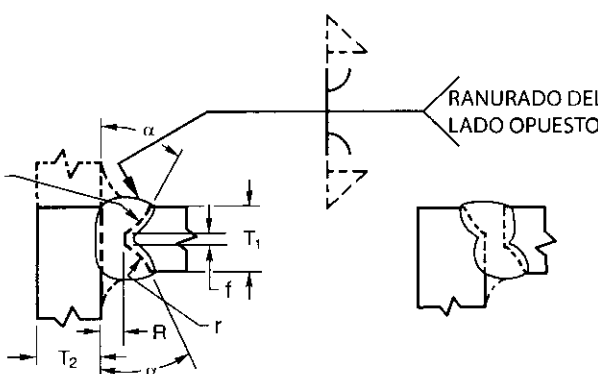
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U8a	U	U	R = 0 a 1/8	α = 45°	f = 1/8	r = 3/8	Todas	—	d, e, g, j, k
				R = 0 a 1/8	α = 30°	f = 1/8	r = 3/8	F, OH	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	U	R = 0 a 1/8	α = 30°	f = 1/8	r = 3/8	Todas	No se requiere	a, d, g, j, k
SAW	TC-U8a-S	U	U	R = 0	α = 45°	f = 1/4 máx.	r = 3/8	F	—	d, g, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de doble J (9)								Tolerancias	
Junta a tope (B)								Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
		R = +1/16, -0	+1/16, -1/8						
		α = +10°, -0°	+10°, -5°						
		f = +1/16, -0	Ilimitado						
		r = +1/8, -0	±1/16						

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U9	U	—	R = 0 a 1/8	α = 45°	f = 1/8	r = 3/8	Todas	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	—	R = 0 a 1/8	α = 30°	f = 1/8	r = 3/8	Todas	No se requiere	a, c, d, h, j

Soldadura en ranura de doble J (9) Junta en T (T) Junta en esquina (C)				RANURADO DEL LADO OPUESTO		Tolerancias	
						Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
						R = +1/16, -0	+1/16, -1/8
						$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°
						f = +1/16, -0	Ilimitado
						r = 1/8, -0	±1/16

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 a 1/8	$\alpha = 45^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	Todas	—	d, e, g, h, j, k
				R = 0 a 1/8	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	F, OH	—	d, e, g, h, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 a 1/8	$\alpha = 30^\circ$	f = 1/8	r = 3/8	Todas	No se requiere	a, d, g, h, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en pulgadas)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura en escuadra (1)
Junta a tope (B)
Junta en esquina (C)

B-L1a

C-L1a

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	B-L1a	6 máx.	—	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todas	—	e, j
	C-L1a	6 máx.	U	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todas	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	10 máx.	—	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todas	No se requiere	a, j

Soldadura en ranura en escuadra (1)

Junta a tope (B)

RANURADO DEL LADO OPI
(EXCEPTO B-L1-S)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	B-L1b	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	+2, -3	Todas	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	10 máx.	—	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todas	No se requiere	a, d, j
SAW	B-L1-S	10 máx.	—	R = 0	±0	+2, -0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	16 máx.	—	R = 0	±0	+2, -0	F	—	d, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura en escuadra (1)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias							
					Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)						
SMAW	TC-L1b	6 máx.	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	+2, -3	Todas	—	d, e, g			
GMAW FCAW	TC-L1-GF	10 máx.	U	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todas	No se requiere	a, d, g			
SAW	TC-L1-S	10 máx.	U	R = 0	±0	+2, -0	F	—	d, g			

Soldadura simple en
ranura en V (2)
Junta a tope (B)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+6, -2$
$\alpha = +10^{\circ}, -0^{\circ}$	$+10^{\circ}, -5^{\circ}$

TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^{\circ}$	Todas	—	e, j
				R = 10	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	—	e, j
				R = 12	$\alpha = 20^{\circ}$	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	Se requiere	a, j
				R = 10	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	No se req.	a, j
				R = 6	$\alpha = 45^{\circ}$	F, V, OH	No se req.	a, j
SAW	B-L2a-S	50 máx.	—	R = 6	$\alpha = 30^{\circ}$	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	$\alpha = 20^{\circ}$	F	—	j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en V (2)
Junta en esquina (C)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
R = +2, -0	+6, -2
$\alpha = +10^{\circ}, -0^{\circ}$	$+10^{\circ}, -5^{\circ}$

TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	C-U2a	U	U	R = 6	$\alpha = 45^{\circ}$	Todas	—	e, o
				R = 10	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	—	e, o
				R = 12	$\alpha = 20^{\circ}$	F, V, OH	—	e, o
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	U	R = 5	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	Se requiere	a
				R = 10	$\alpha = 30^{\circ}$	F, V, OH	No se req.	a, o
				R = 6	$\alpha = 45^{\circ}$	F, V, OH	No se req.	a, o
SAW	C-L2a-S	50 máx.	U	R = 6	$\alpha = 30^{\circ}$	F	—	o
SAW	C-U2-S	U	U	R = 16	$\alpha = 20^{\circ}$	F	—	o

Soldadura simple en ranura en V (2)
Junta a tope (B)

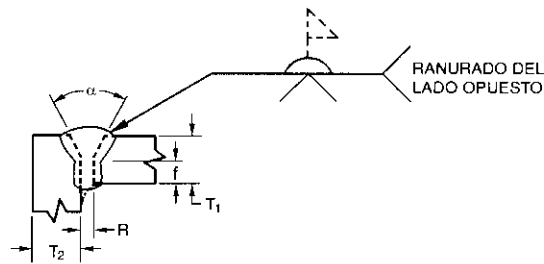
The diagram illustrates a V-groove butt joint (B) between two plates of thickness T_1 . The joint is characterized by an angle α and a face f . A radius R is indicated at the base of the groove. A note points to the opposite side of the joint, stating "RANURADO DEL LADO OPUESTO" (groove on the opposite side).

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias							
					Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)						
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +2, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 ilimitado $+10^\circ, -5^\circ$	Todas	—	d, e, j			
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 $\alpha = 60^\circ$	+2, -0 +2, -0 $+10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 ilimitado $+10^\circ, -5^\circ$	Todas	No se requiere	a, d, j			
SAW	B-L2c-S	Mayor de 12 hasta 25	—	R = 0 f = 6 máx. $\alpha = 60^\circ$	R = ± 0 f = +0, -f $\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -0 ± 2 $+10^\circ, -5^\circ$	F	—	d, j			
		Mayor de 25 hasta 38	—	R = 0 f = 12 máx. $\alpha = 60^\circ$								
		Mayor de 38 hasta 50	—	R = 0 f = 16 máx. $\alpha = 60^\circ$								

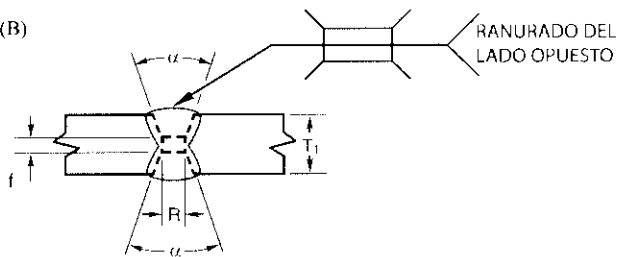
Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en V (2)
Junta en esquina (C)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (ver 3.13.1)	Según acoplamiento (ver 3.13.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	R = 0 a 3 f = 6 máx. α = 60°	±0 +0, -6 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, j

Soldadura en ranura de
doble V (3)
Junta a tope (B)

Tolerancias

Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
R = ±0	+6, -0
f = ±0	+2, -0
α = +10°, -0°	+10°, -5°

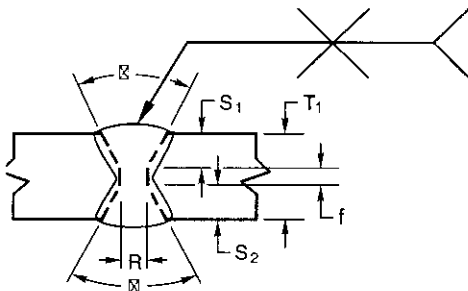
Separador	SAW	±0	+2, -0
	SMAW	±0	+3, -0

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U3a	U Separador = 1/8 ξR	—	R = 6	f = 0 a 3	α = 45°	Todas	—	d, e, h, j
				R = 10	f = 0 a 3	α = 30°	F, V, OH	—	
				R = 12	f = 0 a 3	α = 20°	F, V, OH	—	
SAW	B-U3a-S	U Separador = 1/4 ξR	—	R = 16	f = 0 a 6	α = 20°	F	—	d, h, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de doble V (3) Junta a tope (B)  TODAS LAS DIMENSIONES EN mm				Solo para B-U3c-S					
				T ₁		S ₁			
				Mayor de	a				
				50	60	35			
				60	80	45			
				80	90	55			
				90	100	60			
				100	120	70			
				120	140	80			
				140	160	95			
				Para T ₁ > 160 o T ₁ ≤ 50 S ₁ = 2/3 (T ₁ - 6)					
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = β = 60°			+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todas
GMAW FCAW	B-U3-GF				+2, -0 +10°, -0°	ilimitado +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, d, h, j
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 6 mín. α = β = 60°	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j
					Para buscar S ₁ ver tabla de arriba: S ₂ = T ₁ - (S ₁ + f)				

Soldadura en ranura con bisel simple (4) Junta a tope (B)

Tolerancias

Según detalle
(véase 3.13.1)

R = +2, -0

α = +10°, -0°

Según
acoplamiento
(véase 3.13.1)

+6, -2

+10°, -5°

TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 6	α = 45°	Todas	—	c, e, j
				R = 10	α = 30°	Todas	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	Todas	Se requiere	a, c, j
				R = 6	α = 45°	Todas	No se req.	a, c, j
				R = 10	α = 30°	F, H	No se req.	a, c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	R = 10	α = 30°	F	—	c, j
				R = 6	α = 45°			

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+6, -2$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	TC-U4a	U	U	$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	e, g, k, o
				$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, g, k, o
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	$R = 5$	$\alpha = 30^\circ$	Todo	Se requiere	a, g, k, o
				$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F	No se req.	a, g, k, o
				$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$	Todas	No se req.	a, g, k, o
SAW	TC-U4a-S	U	U	$R = 10$	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g, k, o
				$R = 6$	$\alpha = 45^\circ$			

Soldadura en ranura con bisel simple (4)
 Junta a tope (B)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
				Abertura de la raíz	Tolerancias					
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)				
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado 10°, -5°	Todas	—	c, d, e, j	
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—				Todas	No se requiere	a, c, d, j	
SAW	B-U4b-S	U	—	R = 0 f = 6 máx. α = 60°	±0 +0, -3 +10°, -0°	+6, -0 ±2 10°, -5°	F	—	c, d, j	

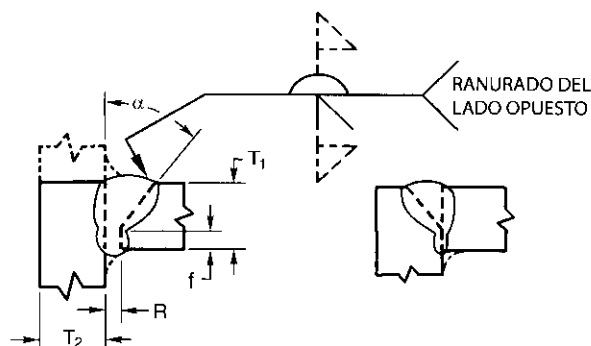
Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con bisel simple (4)

Junta en T (T)

Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

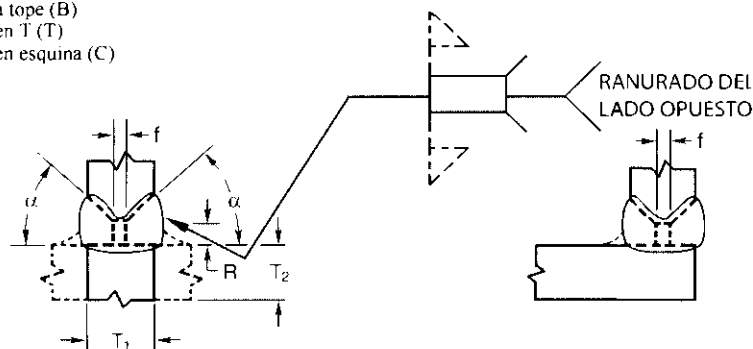
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado 10°, -5°	Todas	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				Todas	No se requiere	a, d, g, j, k
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 6 máx. α = 60°	±0 +0, -3 +10°, -0°	+6, -0 ±2 10°, -5°	F	—	d, g, j, k

Soldadura en ranura con doble bisel (5)

Junta a tope (B)

Junta en T (T)

Junta en esquina (C)



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
 Junta a tope (B)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

The diagram illustrates a double bevel butt joint (B) between two plates of thicknesses T_1 and T_2 . The bevel angle is α , the root face width is f , and the root radius is R . A detail view shows the opposite side of the joint, labeled "RANURADO DEL LADO OPUESTO", which also features a bevel angle α and root face width f .

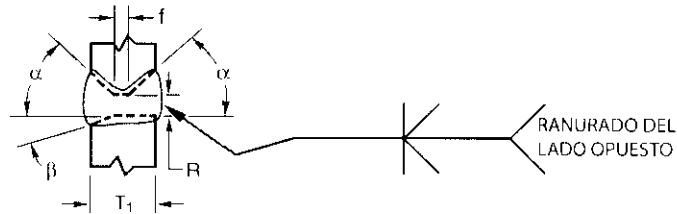
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Tolerancias		
Sepa- rador	Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
	R = ±0	+6, -0
	f = +2, -0	±2
	α = +10°, -0°	+10°, -5°
	+2, -0	+3, -0

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U5b	U Separador = 1/8 × R	—	R = 6	f = 0 a 3	α = 45°	Todas	—	c, d, e, h, j
	TC-U5a	U Separador = 1/4 × R	U	R = 6	f = 0 a 3	α = 45°	Todas	—	d, e, g, h, j, k
				R = 10	f = 0 a 3	α = 30°	F, OH	—	d, e, g, h, j, k

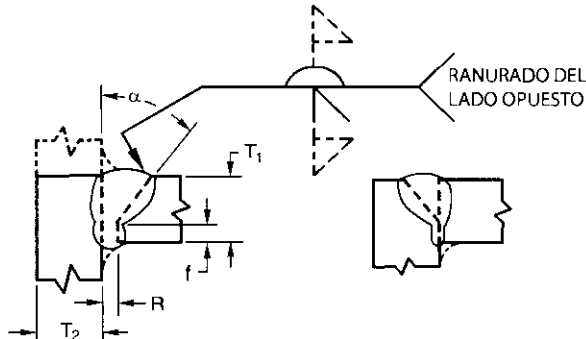
Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
Junta a tope (B)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45° β = 0° a 15°	+2, -0 +2, -0 α + β = +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado α + β = +10°, -5°	Todas	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45° β = 0° a 15°	+2, -0 +2, -0 α + β = +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado α + β = +10°, -5°	Todas	No se requiere	a, c, d, h, j

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

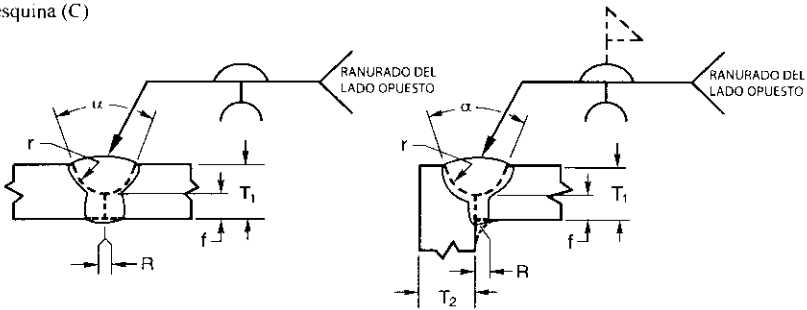
TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂		Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U				Todas	No se requiere	a, d, g, h, j, k
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 6 máx. α = 60°	±0 +0, -5 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, h, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

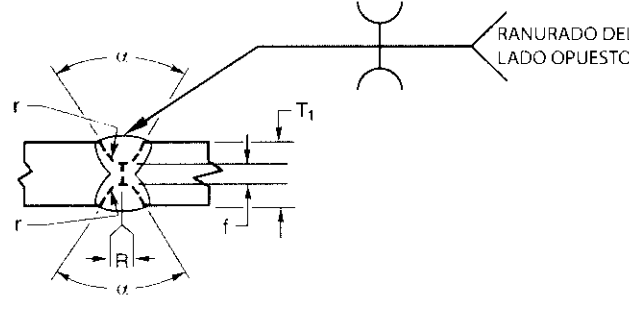
Soldadura simple en ranura en U (6)				Tolerancias	
Junta a tope (B)				Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
Junta en esquina (C)				$R = +2, -0$	$+2, -3$
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
				$f = \pm 2$	Ilimitado
				$r = +3, -0$	$+3, -0$



TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T1	T2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U6	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todas	—	d, e, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, j
	C-U6	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	—	d, e, g, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todas	No se req.	a, d, j
	C-U6-GF	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todas	No se req.	a, d, g, j

Soldadura en ranura de doble U (7)				Tolerancias	
Junta a tope (B)				Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
				Para B-U7 y B-U7-GF	
				$R = +2, -0$	$+2, -3$
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
				$f = \pm 2, -0$	Ilimitado
				$r = +6, -0$	± 2
				Para B-U7-S	
				$R = +0$	$+2, -0$
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
				$f = +0, -6$	± 2
				$r = +6, -0$	± 2

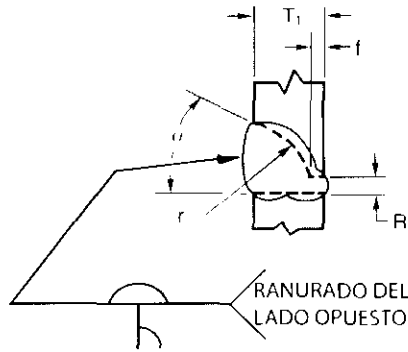


TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T1	T2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U7	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todas	—	d, e, h, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U7-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todas	No se requiere	a, d, h, j
SAW	B-U7-S	U	—	$R = 0$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 6 \text{ máx.}$	$r = 6$	F	—	d, h, j

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

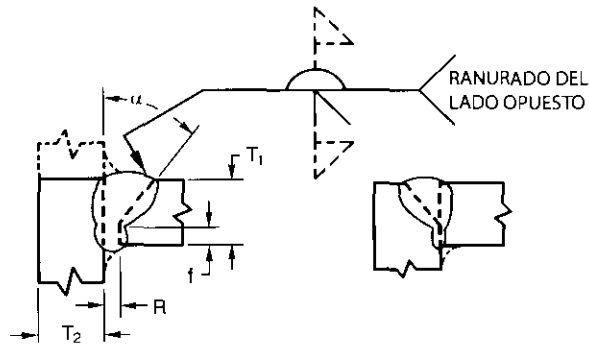
Ver Notas en la página 65

Soldadura simple en ranura en J (B)
Junta a tope (B)

TODAS LAS DIMENSIONES EN mm

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
B-U8 y B-U8-GF	
R = +2, -0	+2, -3
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
f = +3, -0	ilimitado
r = +6, -0	$\pm 1/16$
B-U8-S	
R = ± 0	+3, -0
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
f = +0, -1/8	± 2
r = +6, -0	± 2

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U8	U	—	R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	R = 0 a 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	No se req.	a, c, d, j
SAW	B-U8-S	U	—	R = 0	$\alpha = 45^\circ$	f = 6 máx.	r = 10	F	—	c, d, j

Soldadura simple en
ranura en J (B)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
TC-U8a y TC-U8a-GF	
R = +2, -0	+2, -3
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
f = +2, -0	ilimitado
r = +6, -0	$\pm 1/16$
TC-U8a-S	
R = ± 0	+6, -0
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
f = +0, -3	± 2
r = +6, -0	± 2

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U8a	U	U	R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	—	d, e, g, j, k
				R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	F, OH	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	U	R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	a, d, g, j, k
SAW	TC-U8a-S	U	U	R = 0	$\alpha = 45^\circ$	f = 6 máx.	r = 10	F	—	d, g, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)

Ver Notas en la página 65

Soldadura en ranura de
doble J (9)
Junta a tope (B)

TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+2, -3$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +2, -0$	Ilimitado
$r = +3, -0$	± 2

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U9	U	—	R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	—	R = 0 a 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	a, c, d, h, j

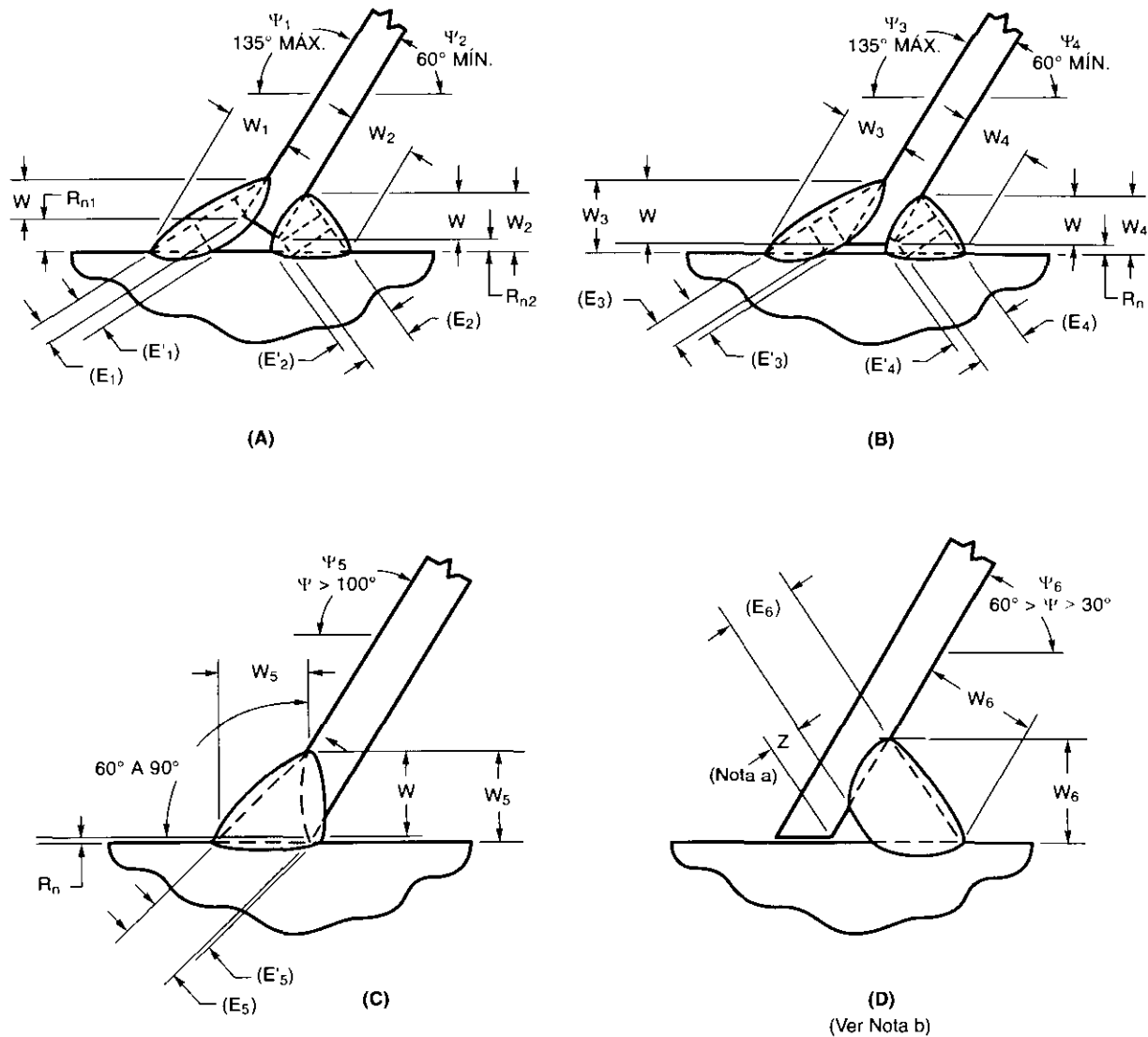
Soldadura en ranura de
doble J (9)
Junta en T (T)
Junta en esquina (C)

TODAS LAS
DIMENSIONES EN mm

Tolerancias	
Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)
$R = +2, -0$	$+2, -3$
$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
$f = +2, -0$	Ilimitado
$r = 3, -0$	± 2

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 a 3	$\alpha = 45^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	—	d, e, g, h, j, k
				R = 0 a 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	F, OH	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 a 3	$\alpha = 30^\circ$	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	a, d, g, h, j, k

Figura 3.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada (véase 3.13) (Dimensiones en milímetros)



^a Detalle (D). Aplicar dimensión de pérdida Z de la Tabla 2.2 para determinar la garganta efectiva.

^b El detalle (D) no se precalifica por debajo de 30°. Para las calificaciones del soldador, ver Tabla 4.10.

Notas:

1. (E_n) , (E'_n) — Gargantas efectivas dependen de la magnitud de la abertura de la raíz (R_n) (ver 5.21.1). (n) representa 1 a 5.

2. t = espesor de la parte más delgada

3. No precalificado para GMAW-S ni GTAW.

Figura 3.4—Detalles de la junta en T oblicua precalificada (no tubular) (véase 3.9.2)

Notas de la Figura 3.5

^a Tamaño de la soldadura en filete ("S"). Ver 2.4.2.8 y Sección 5.13 para tamaños mínimos de la soldadura en filete. Ver Tabla 3.6 para el tamaño máximo de pasada única.

^b Ver 5.21.1 para conocer las excepciones o requisitos del montaje de la soldadura en filete adicional.

^c Ver 2.4.2.9 para conocer el tamaño máximo de la soldadura en juntas traslapadas.

^d La perpendicularidad de los miembros debe ubicarse dentro de $\pm 10^\circ$.

Soldadura en filete (12)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)
 Junta traslapada (L)

The image contains two technical drawings of welded joints. The left drawing shows a T-joint (labeled 'T') where a vertical plate of thickness T_1 is welded to a horizontal plate of thickness T_2 . The root opening is labeled R . A weld symbol with 'S' indicates the weld size. The right drawing shows a lap joint (labeled 'L') where two plates of thickness T_1 are overlapped and welded. The root opening is labeled R . A weld symbol with 'S' indicates the weld size. Both drawings include a detail view of the weld profile, showing a concave shape with a radius S .

TODAS LAS DIMENSIONES
 EN pulgadas

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base	Diseño/Geometría de la junta			Posiciones de soldadura permitidas	Notas		
		T_1 o T_2	Abertura de la raíz	Tolerancias					
				Según detalle	Según acoplamiento				
SMAW	TC-F12	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16 máx.	Todas	a, b, d		
	TC-F12a	≥3			5/16 máx.		a, b, d		
	L-F12	<3			3/16 máx.		a, b, c		
	L-F12a	≥3			5/16 máx.		a, b, c		
GMAW FCAW	TC-F12-GF	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16 máx.	Todas	a, b, d		
	TC-F12a-GF	>3			5/16 máx.		a, b, d		
	L-F12-GF	<3			3/16 máx.		a, b, c		
	L-F12a-GF	≥3			5/16 máx.		a, b, c		
SAW	TC-F12-S	<3	R = 0	+1/16, -0	3/16 máx.	F, H	a, b, d		
	TC-F12a-S	≥3			5/16 máx.		a, b, d		
	L-F12-S	<3			3/16 máx.		a, b, c		
	L-F12a-S	>3			5/16 máx.		a, b, c		

Figura 3.5—Detalles de la junta soldada en filete precalificada
(Dimensiones en pulgadas) (véase 3.9)

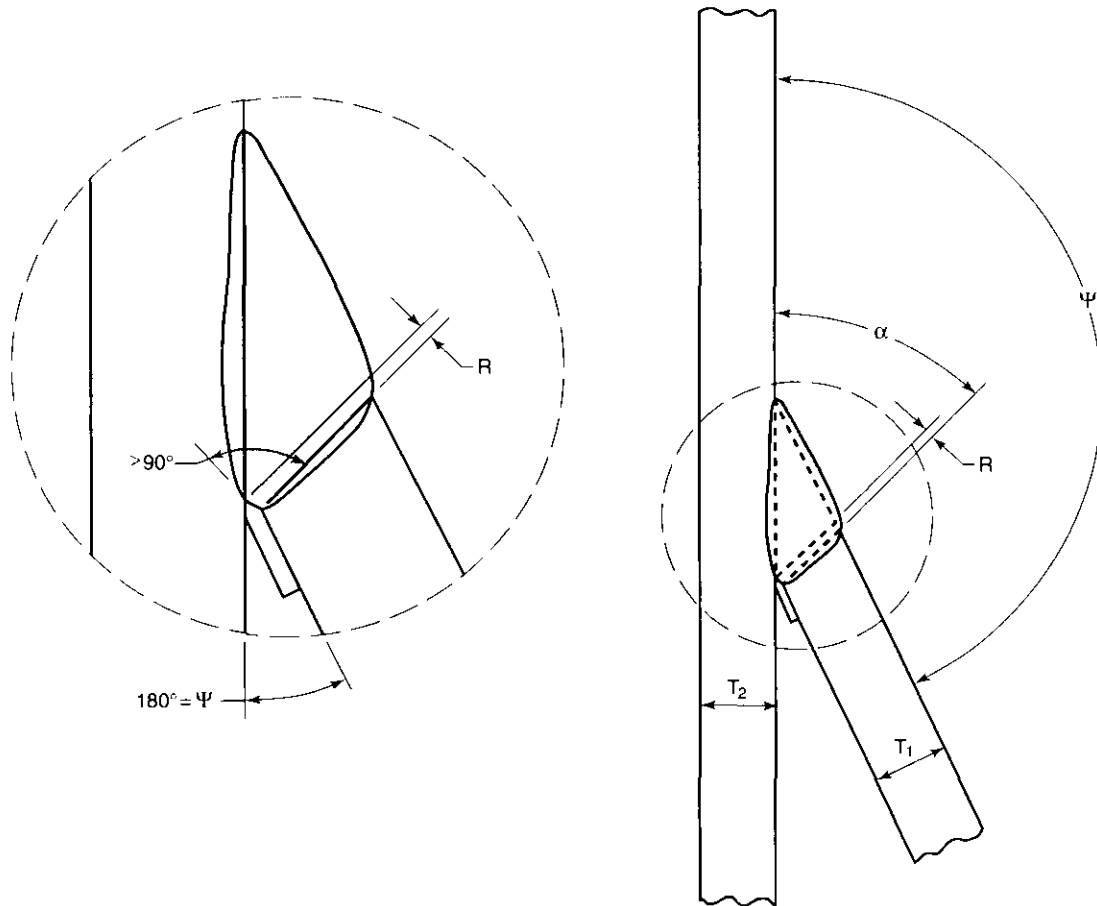
Ver Notas en la página 105

Soldadura en filete (12)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)
 Junta traslapada (L)

TODAS LAS DIMENSIONES
 EN mm

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base T ₁ o T ₂	Diseño/Geometría de la junta			Posiciones de soldadura permitidas	Notas		
			Abertura de la raíz	Tolerancias					
				Según detalle	Según acoplamiento				
SMAW	TC-F12	<75	R = 0	+2, -0	5 máx.	Todas	a, b, d		
	TC-F12a	≥75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12	<75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a	≥75			8 máx.		a, b, c		
GMAW FCAW	TC-F12-GF	<75	R = 0	+2, -0	5 máx.	Todas	a, b, d		
	TC-F12a-GF	≥75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12-GF	<75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a-GF	≥75			8 máx.		a, b, c		
SAW	TC-F12-S	<75	R = 0	+2, -0	5 máx.	F, H	a, b, d		
	TC-F12a-S	≥75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12-S	<75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a-S	≥75			8 máx.		a, b, c		

Figura 3.5 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en filete precalificada
(Dimensiones en milímetros) (véase 3.9)



Nota. $90^\circ < \Psi \leq 170^\circ$.

**Figura 3.6—Junta en esquina, en T y en ranura con CJP precalificada
(véase Notas para las Figuras 3.2 y 3.3, Nota o)**

4. Calificación

4.1 Alcance

Los requisitos para el ensayo de calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) y del personal de soldadura se describen como sigue:

Parte A—Requisitos generales. Esta parte cubre los requisitos generales para la WPS y para el desempeño del personal de soldadura.

Parte B—Especificación del procedimiento de soldadura (WPS). Calificación. Esta parte cubre la calificación de una WPS que no está clasificada como precalificada según la Sección 3.

Parte C—Calificación del desempeño. Esta parte cubre los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código para determinar la capacidad de un soldador, un operario de soldadura o un soldador punteador para producir soldaduras sin imperfecciones.

Parte D—Requisitos para los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN). Esta parte cubre los requisitos y procedimientos generales para los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) cuando se especifiquen en el documento del contrato.

Parte A *Requisitos generales*

4.2 General

En esta sección se describen los requisitos para el ensayo de calificación de las WPS y el personal de soldadura (definidos como soldadores, operadores de soldadura y soldadores punteadores).

4.2.1 Especificación del procedimiento de soldadura (WPS). A excepción de las WPS precalificadas según los requisitos de la Sección 3, la WPS para uso en soldaduras de producción deben estar calificados de acuerdo con la Sección 4, Parte B. Es posible utilizar evidencia correctamente documentada de calificaciones de WPS anteriores.

4.2.1.1 Responsabilidad de la calificación. Todos los fabricantes o contratistas deben realizar los ensayos

requeridos por este código para calificar la WPS. Las WPS adecuadamente documentadas calificadas de acuerdo con las disposiciones de este código por una empresa que luego cambie de nombre debido a la acción voluntaria o consolidación con una empresa matriz pueden utilizar el nuevo nombre en los documentos de las WPS siempre que se guarden los registros de calificación PQR con el antiguo nombre de la empresa.

4.2.1.2 Calificación de WPS con otras normas. La aceptabilidad de calificación según otras normas es responsabilidad del ingeniero, y debe realizarse sobre la base ya sea de una estructura específica o de las condiciones de servicio o ambas. La serie AWS B2.1- X-XXX de Especificación del procedimiento de soldadura estándar puede, de este modo, ser aceptada para uso en este código.

4.2.1.3 Requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN). Cuando así se requiere en los documentos del contrato, los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) deben estar incluidos en la calificación WPS. Los ensayos, requisitos y procedimientos CVN deben cumplir con las disposiciones de la Parte D de esta sección o con lo especificado en los documentos del contrato.

4.2.2 Calificación de desempeño del personal de soldadura. Los soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado que vayan a ser empleados para soldar según este código y utilizando los procesos de soldadura de arco protegido SMAW, SAW, GMAW, GTAW, FCAW, ESW o EGW, deben haber sido calificados según los ensayos aplicables descritos en la Parte C de esta sección (ver comentario).

4.2.2.1 Calificación del desempeño previo. Los ensayos previos para calificación de desempeño de soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado que están adecuadamente documentados son aceptables con la aprobación del ingeniero. La aceptabilidad de calificación de desempeño según otras normas es responsabilidad del ingeniero, y debe realizarse sobre la base ya sea de una estructura específica o de las condiciones de servicio o ambas.

4.2.2.2 Responsabilidad de la calificación. Cada fabricante o contratista es responsable de la calificación de soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado, ya sea que la calificación la realice el fabricante, el contratista o una agencia de pruebas independiente.

4.2.3 Período de efectividad

4.2.3.1 Soldadores y operarios de soldadura. La calificación del soldador u operario de soldadura según se especifica en este código debe considerarse de efecto indefinido a menos que:

(1) el soldador no realice un proceso de soldadura para el que el soldador u operario de soldadura esté calificado durante un período mayor a seis meses o

(2) exista una razón específica para cuestionar la capacidad de un soldador o de un operario de soldadura (ver 4.24.1).

4.2.3.2 Soldadores de punteado. Un soldador de punteado que apruebe el examen descrito en la Parte C o los exámenes requeridos para la calificación del soldador debe ser considerado apto para realizar la soldadura de punteado indefinidamente en las posiciones y con el proceso para el cual está calificado el soldador de punteado, excepto que exista una razón específica para cuestionar la capacidad del soldador de punteado (ver 4.24.2).

4.3 Requisitos comunes para WPS y calificación de habilidad del personal de soldadura

4.3.1 Calificación según ediciones previas. Las calificaciones que fueron realizadas según AWS D1.1 o AWS D1.0 o AWS D2.0 y que cumplieron con los requisitos de ediciones anteriores mientras dichas ediciones estaban en vigencia, son válidas y pueden utilizarse. Se debe prohibir el uso de ediciones anteriores para nuevas calificaciones en lugar de las ediciones vigentes, salvo que la edición anterior específica esté especificada en los documentos del contrato.

4.3.2 Envejecimiento. Cuando lo permita la especificación del metal de aporte aplicable al metal de soldadura que esté siendo probado, las probetas de ensayo de calificación completamente soldadas pueden ser envejecidas a una temperatura entre 200 °F y 220 °F [95 °C a 105 °C] durante 48 ± 2 horas.

4.3.3 Registros. El fabricante o el contratista debe mantener los registros de los resultados de ensayo y ponerlos a disposición para que los examinen las personas autorizadas.

4.3.4 Posiciones de las soldaduras. Las soldaduras se clasifican como planas (F), horizontales (H), verticales (V) o sobrecabeza (OH), de acuerdo con las definiciones que se muestran en las Figuras 4.1, 4.2, y 9.2.1.

Las posiciones de montaje del ensayo se muestran en:

- (1) Figura 4.3 (soldaduras en ranura en placa)
- (2) Figura 4.4 (soldaduras en filete sobre placa)

Parte B

Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura: la calificación de WPS

4.4 Posiciones calificadas de soldadura de producción

Las posiciones de la soldadura de producción, calificadas por un ensayo de placa, deben cumplir con los requisitos de la Sección 4 y la Tabla 4.1. Las posiciones de la soldadura de producción, calificadas por un ensayo de tubular, deben cumplir con los requisitos de la Sección 9 y la Tabla 9.9.

4.5 Tipo de ensayos de calificación

El tipo y la cantidad de ensayos de calificación necesarios para calificar una WPS para un determinado espesor o diámetro o ambos, deben cumplir con la Tabla 4.2 (CJP), Tabla 4.3 (PJP) o Tabla 4.4 (filete). Los detalles de los requisitos de ensayos mecánicos y NDT individuales se encuentran en las siguientes subsecciones:

- (1) Inspección visual (véase 4.9.1)
- (2) NDT (véase 4.9.2)
- (3) Doblado de cara, raíz y lado (véase 4.9.3.1)
- (4) Tracción en sección reducida (véase 4.9.3.4)
- (5) Tracción en todo el metal de soldadura (véase 4.9.3.6)
- (6) Macro-ataque (véase 4.9.4)

4.6 Tipos de soldadura para la calificación de WPS

Para los fines de la calificación de WPS, los tipos de soldadura deben clasificarse como sigue:

- (1) Soldaduras en ranura con CJP para conexiones no tubulares (véase 4.10)
- (2) Soldaduras en ranura con PJP para conexiones no tubulares (véase 4.11)
- (3) Soldaduras en filete (véase 4.12)
- (4) Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares (véase 9.15)
- (5) Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares en T-, Y- y K- y juntas a tope (véase 9.16)
- (6) Soldaduras de tapón y en ranura (véase 4.13)

4.7 Preparación de WPS

El fabricante o contratista debe preparar una WPS por escrito que especifique todas las variables esenciales aplicables a las que hace referencia en 4.8. Los valores específicos para estas variables de WPS se deben obtener del registro de calificación del procedimiento (PQR) que debe servir como una confirmación escrita de una calificación exitosa de la WPS.

4.8 Variables esenciales

4.8.1 SMAW, SAW, GMAW, GTAW y FCAW. Los cambios más allá de las limitaciones de las variables esenciales del PQR para los procesos SMAW, SAW, GMAW, GTAW y FCAW mostrados en la Tabla 4.5 y la Tabla 4.6 (cuando se especifica el ensayo CVN) deben exigir la recalificación de la WPS (ver 4.2.1.3).

4.8.2 ESW y EGW. Ver en la Tabla 4.7 los cambios de variables esenciales de PQR que requieran recalificación de la WPS para los procesos EGW y ESW.

4.8.3 Calificación de metal base. Las WPS que requieran una calificación que utilice los metales base enumerados en la Tabla 3.1 calificarán otros grupos de metales base según la Tabla 4.8. Las WPS para metales base no enumerados en la Tabla 3.1 o Tabla 4.9 deben calificarse según la Sección 4. El uso de metales base no enumerados debe ser aprobado por el ingeniero.

Las WPS con aceros enumerados en la Tabla 4.9 califican también los aceros de la Tabla 3.1 o Tabla 4.9, de acuerdo con la Tabla 4.8. La Tabla 4.9 también contiene recomendaciones para el metal de aporte de resistencia similar y temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para los materiales de la tabla.

4.8.4 Temperatura de precalentamiento y entre pasadas. La temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas se debe establecer sobre la base de la composición del acero según se muestra en la Tabla 3.1. En forma alternativa, es posible utilizar métodos de predicción o pautas reconocidas como las provistas en el Apéndice H u otros métodos. Pueden utilizarse temperaturas de precalentamiento y entre pasadas inferiores a las requeridas en la Tabla 3.3 o calculadas según el Apéndice H siempre que estén aprobadas por el ingeniero y calificadas por el ensayo de WPS.

Los métodos del Apéndice H están basados en los ensayos de agrietamiento de laboratorio y pueden predecir temperaturas de precalentamiento más altas que la temperatura mínima mostrada en la Tabla 3.3. El Apéndice H puede tener valor para identificar situaciones en las que el riesgo de agrietamiento se incrementa a causa de la composición, restricción, nivel de hidrógeno o aporte de calor de soldadura más bajo donde pueda requerirse un precalentamiento más alto. En forma alternativa, el Apéndice H puede ser de ayuda para la definición de las condiciones en las cuales el agrietamiento por hidrógeno es improbable y donde los requisitos mínimos de la Tabla 3.3 se puedan flexibilizar en forma segura.

4.9 Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS

Los conjuntos de ensayo de soldadura según 4.9.2 deben contar con probetas preparadas mediante el corte de la placa de ensayo como se muestra en las Figuras 4.5 a 4.7, la que sea aplicable. Las probetas deben prepararse para el ensayo de acuerdo con las Figuras 4.8, 4.9, 4.10 y 4.14, según corresponda.

4.9.1 Inspección visual de las soldaduras. La calificación visual aceptable para la calificación de soldaduras en ranura y en filete (excluyendo lengüetas de soldadura) debe cumplir con los siguientes requisitos según corresponda:

4.9.1.1 Inspección visual de las soldaduras en ranura. Las soldaduras en ranura deben cumplir con los siguientes requisitos:

(1) No se debe aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño.

(2) Se deben rellenar todos los cráteres hasta la sección transversal completa de la soldadura.

(3) El refuerzo de la soldadura no debe exceder de 1/8 pulg. [3 mm]. El perfil de la soldadura debe estar de acuerdo con la Figura 5.4 y debe tener fusión completa.

(4) La socavación no debe exceder de 1/32 pulg. [1 mm].

(5) Se debe inspeccionar la raíz de la soldadura de las ranuras con CJP y no deben tener ninguna grieta, fusión incompleta o penetración inadecuada de la junta.

(6) En el caso de ranuras con CJP soldadas desde un lado sin respaldo, la concavidad de la raíz o perforación por fusión debe cumplir con lo siguiente:

(a) La máxima concavidad de la raíz debe ser de 1/16 pulg. [2 mm], siempre que el espesor total de la soldadura sea igual o superior al del metal base.

(b) La perforación por fusión máxima debe ser de 1/8 pulg. [3 mm].

4.9.1.2 Inspección visual de soldaduras en filete. Las soldaduras en filete deben cumplir con los siguientes requisitos:

(1) No se debe aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño.

(2) Se deben rellenar todos los cráteres hasta la sección transversal completa de la soldadura.

(3) El tamaño de la pierna de la soldadura en filete no debe ser inferior a los tamaños de pierna requeridos.

(4) El perfil de soldadura debe cumplir con los requisitos de la Figura 5.4.

(5) La socavación del metal base no debe exceder de 1/32 pulg. [1 mm].

4.9.2 NDT. Antes de preparar las probetas para el ensayo mecánico, se debe probar la solidez de la placa, el conducto o la tubería para la prueba de calificación con un ensayo no destructivo de la forma siguiente:

4.9.2.1 RT o UT. Se debe utilizar RT o UT. La longitud total de la soldadura en las placas de ensayo, excepto las longitudes descartadas en cada extremo, deben examinarse de acuerdo con la Sección 6, Parte E o F, y la Sección 9, Parte F para tubulares.

4.9.2.2 Criterios de aceptación con RT o UT. Para que la calificación sea aceptable, la soldadura, según los resultados de RT o UT, debe cumplir con los requisitos de la Sección 6, Parte C o la Sección 9, Parte F, para tubulares.

4.9.3 Ensayos mecánicos. Los ensayos mecánicos deben cumplir con lo siguiente:

4.9.3.1 Probetas para doblado de raíz, cara y lado (véase Figura 4.8 para doblado de raíz y cara y Figura 4.9 para doblado de lado). Todas las probetas deben doblarse en una plantilla guía de doblado que cumpla con los requisitos que se muestran en las Figuras 4.11 a 4.13 o que esté básicamente de acuerdo con dichas figuras, siempre que no se exceda el radio máximo de doblado. Se puede utilizar cualquier medio conveniente para mover el émbolo con relación a la matriz.

Se debe colocar la probeta sobre la matriz de la plantilla guía con la soldadura en la mitad del vano. Las probetas de doblado de cara se deben colocar con la cara de la soldadura dirigida hacia la abertura. Las probetas de doblado de raíz y de solidez de la soldadura en filete se deben colocar con la raíz de la soldadura hacia la abertura. Las probetas de doblado lateral se deben colocar con el lado que muestre la mayor discontinuidad, si existiera, hacia la abertura.

El émbolo debe forzar la probeta hacia la matriz hasta que la probeta tome forma de U. La soldadura y las HAZ deben estar centradas y completamente dentro de la parte doblada de la probeta después del ensayo. Cuando se utiliza la plantilla envolvente, la probeta debe estar firmemente sujeta en un extremo de manera que no se deslice durante la operación de doblado. La soldadura y las HAZ deben estar completamente dentro de la parte doblada de la probeta después del ensayo. Se deben retirar las probetas de ensayo de la plantilla guía cuando el rodillo externo se haya movido 180° desde el punto de partida.

4.9.3.2 Probetas de doblado longitudinal. Cuando las combinaciones de materiales difieren marcadamente en las propiedades de doblado mecánico, como entre dos materiales base o entre el metal de soldadura y el metal base, los ensayos de doblado longitudinal (cara y raíz) pueden utilizarse en lugar de los ensayos de doblado transversal de cara y de raíz. Los conjuntos de ensayo de soldadura según 4.9.2 deben contar con probetas preparadas mediante el corte de la placa de ensayo como se muestra en las Figuras 4.6 o 4.7, la que sea aplicable. Las probetas para el ensayo de doblado longitudinal se deben preparar como se muestra en la Figura 4.8.

4.9.3.3 Criterios de aceptación para los ensayos de doblado. Se debe examinar visualmente la superficie convexa de la probeta de ensayo de doblado en busca de las discontinuidades de la superficie. Para su aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

(1) 1/8 pulg. [3 mm] medidas en cualquier dirección sobre la superficie.

(2) 3/8 pulg. [10 mm]—la suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1/32 pulg. [1 mm] pero inferiores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm]

(3) 1/4 pulg. [6 mm]—la grieta máxima de esquina, excepto cuando la grieta de esquina resulta de una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad de fusión, en cuyo caso se debe aplicar el máximo de 1/8 pulg. [3 mm]

Las probetas con grietas de esquina que excedan de 1/4 pulg. [6 mm] sin evidencia de inclusiones de escoria u otra discontinuidad de fusión deben descartarse y se debe ensayar una probeta de recemplazo de la soldadura original.

4.9.3.4 Probetas de tracción de sección reducida (véase Figura 4.10). Antes del ensayo se debe medir el ancho menor y el espesor correspondiente de la sección reducida. La probeta se debe romper bajo la carga de tracción y se debe determinar la carga máxima. Se debe obtener el área transversal multiplicando el ancho por el espesor. La resistencia a la tracción se debe obtener dividiendo la carga máxima por el área transversal.

4.9.3.5 Criterios de aceptación para ensayos de tracción de sección reducida. La resistencia a la tracción no debe ser inferior al mínimo del rango de tracción especificado del metal base utilizado.

4.9.3.6 Probetas de tracción de todos los metales de soldadura (véase Figura 4.14). La probeta de ensayo debe probarse según ASTM A370, *Ensayos mecánicos de productos de acero*.

4.9.4 Ensayo de macroataque. Las probetas de ensayo se deben preparar con un acabado adecuado para el examen de macroataque. Se debe utilizar una solución adecuada para que el ataque proporcione una definición clara de la soldadura.

4.9.4.1 Criterios de aceptación para el ensayo de macroataque. Para que la calificación sea aceptable, la probeta inspeccionada visualmente debe cumplir con los siguientes requisitos:

(1) En las soldaduras en ranura con PJP, el tamaño real de la soldadura debe ser igual o mayor que el tamaño de soldadura especificado, (E).

(2) Las soldaduras en filete deben tener fusión a la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá de ella.

(3) El tamaño mínimo de la pierna debe cumplir con el tamaño de la soldadura en filete especificado.

(4) Las soldaduras en ranura con PJP y las soldaduras en filete deben cumplir con lo siguiente:

(a) sin grietas

(b) fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base

(c) perfiles de soldadura que cumplan con los detalles especificados, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en 5.23

(d) sin socavación que exceda de 1/32 pulg. [1 mm]

4.9.5 Repetición del ensayo. Si alguna de las probetas no cumple con los requisitos del ensayo, se pueden realizar dos repeticiones del ensayo de ese tipo de probeta en particular, con probetas cortadas del mismo material de calificación de WPS. Los resultados de ambas probetas de ensayo deben cumplir con los requisitos del ensayo. En el caso de materiales de más de 1-1/2 pulg. [38 mm] de espesor, la falla de una probeta exigirá el ensayo de todas las probetas del mismo tipo desde dos ubicaciones adicionales en el material de ensayo.

4.10 Soldaduras en ranura con CJP

Vea en la Tabla 4.2(1) los requisitos para la calificación de una WPS de una soldadura con CJP en conexiones no tubulares. Consulte la placa de ensayo adecuada en las Figuras 4.5–4.7.

4.10.1.1 Juntas en esquina o en T. Las probetas para soldaduras en ranura en juntas en esquina o en T deben ser juntas a tope con la misma configuración de soldadura en ranura como la junta en esquina o en T a ser utilizada en la construcción, excepto que la profundidad de la ranura no debe exceder de 1 pulg. [25 mm].

4.11 Soldaduras en ranura con PJP

4.11.1 Tipo y cantidad de probetas a ensayar. El tipo y cantidad de probetas que se deben ensayar para calificar una WPS se muestran en la Tabla 4.3. Se debe realizar una soldadura de muestra utilizando el tipo de diseño de ranura y la WPS que se usará en la construcción, excepto que la profundidad de la ranura no debe exceder de 1 pulg. [25 mm]. Para el ensayo de macroataque requerido más adelante es posible utilizar cualquier acero de los Grupos I, II y III de la Tabla 3.1 para calificar el tamaño de la soldadura en cualquiera de los aceros o combinaciones de aceros en esos grupos. Si se fuera a utilizar la soldadura en ranura con PJP para juntas en esquina o en T, la junta de tope debe tener una placa restrictiva temporal en el plano de la cara en escuadra para simular la configuración de la junta en T. Las soldaduras de muestra deben probarse del siguiente modo:

4.11.2 Verificación del tamaño de soldadura por macroataque. Para las WPS que cumplen con todos los aspectos de la Sección 4, se deben preparar tres probetas transversales de macroataque para demostrar que se

cumple con el tamaño de soldadura indicado (obtenido de los requisitos de WPS).

4.11.3 Verificación de una WPS en ranura con CJP por macroataque. Cuando se ha calificado una WPS para una soldadura en ranura con CJP y se aplica a las condiciones de la soldadura en ranura con PJP, se deben exigir tres probetas transversales de macroataque para demostrar que se igualará o superará el tamaño de la soldadura especificado.

4.11.4 Otras verificaciones de WPS por macroataque. Si una WPS no está cubierta por 4.11.2 ni por 4.11.3 o si las condiciones de soldadura no cumplen con un estado precalificado o si estas no han sido usadas ni probadas para una soldadura con CJP en una junta a tope, se debe preparar una junta de muestra y la primera operación debe ser la realización de una probeta de macroataque para determinar el tamaño de la soldadura de la junta. Luego se debe eliminar por maquinado el exceso de material del lado inferior de la junta hasta llegar al espesor del tamaño de la soldadura. Se deben preparar probetas de ensayo de tracción y de doblado y realizar los ensayos según se requiera para las soldaduras en ranura con CJP (ver 4.10).

4.11.5 Soldaduras en ranura abocinada. Los tamaños de soldadura efectivos para soldaduras en ranura abocinada calificadas deben determinarse de acuerdo con lo siguiente:

(1) Se deben utilizar las secciones de ensayo para verificar que el tamaño de soldadura efectivo se obtenga sistemáticamente.

(2) Para un grupo de condiciones de WPS dadas, si el contratista ha demostrado una producción sistemática de tamaños de soldadura efectivos mayores a los mostrados en la Tabla 2.1, el contratista puede establecer dichos tamaños de soldadura efectivos más grandes por calificación.

(3) La calificación requerida por (2) debe consistir en seccionar el miembro redondeado, normal a su eje, en el medio y en los extremos de la soldadura. Dicho seccionamiento debe ser realizado sobre una cantidad de combinaciones de tamaños de materiales representativos del rango utilizado por el contratista en la construcción.

4.12 Soldaduras en filete

4.12.1 Tipo y cantidad de probetas. A excepción de lo permitido en otra parte de la Sección 4, el tipo y cantidad de probetas que deben ser ensayadas para calificar una WPS de soldadura en filete de una sola pasada y/o soldadura en filete de pasadas múltiples se muestran en la Tabla 4.4. El ensayo de calificación puede ser para una soldadura en filete de una sola pasada o para una soldadura en filete de pasadas múltiples o ambas.

4.12.2 Ensayo de soldadura en filete. Se debe realizar una junta en T soldada en filete, como se muestra en la Figura 4.15 para las placas o en la Figura 9.21 para conductos (Detalle A o Detalle B), para cada WPS y posición que se utilizará en la construcción. Se requiere la realización de ensayos para la soldadura en filete de una sola pasada de tamaño máximo y para soldadura en filete de pasadas múltiples de tamaño mínimo utilizadas en construcción. Estos dos ensayos de soldadura en filete pueden combinarse en un único conjunto soldado o montaje de ensayo o calificar en forma individual como calificaciones separadas. Cada soldadura debe cortarse perpendicular a la dirección de la soldadura en las ubicaciones que se muestran en la Figura 4.15 o la Figura 9.21 según corresponda. Las probetas que representan una cara de cada corte deben constituir probetas de ensayo por macroataque y probarse conforme a 4.9.4.

4.12.3 Ensayo de verificación de consumibles

4.12.3.1 Cuando se requiere un ensayo. Un ensayo de verificación de consumibles se requiere cuando:

- (1) Los consumibles de soldadura no cumplen con las disposiciones precalificadas de la Sección 3, y
- (2) La WPS que usa los consumibles propuestos no ha sido calificada según 4.10 o 4.11.

4.12.3.2 Soldadura de placa de ensayo. La placa de ensayo se debe soldar del siguiente modo:

- (1) La placa de ensayo debe tener la configuración de ranura que se muestra en la Figura 4.16 (Figura 4.17 para SAW), con respaldo de acero.
- (2) La placa debe ser soldada en posición 1G (plana).
- (3) La longitud de la placa debe ser la adecuada para proporcionar las probetas necesarias y estar orientada según se muestra en la Figura 4.18.
- (4) Las condiciones de corriente, voltaje, velocidad de desplazamiento y flujo de gas del ensayo de soldadura deben aproximarse tanto como sea posible a las que se utilizarán para la producción de las soldaduras en filete.

Estas condiciones establecen la WPS a partir de la cual, cuando se realicen las soldaduras en filete de producción, se medirán los cambios en las variables esenciales de acuerdo con 4.8.

4.12.3.3 Requisitos del ensayo. La placa de ensayo debe probarse del siguiente modo:

- (1) Se deben extraer de la placa de ensayo dos probetas de doblado lateral (Figura 4.9) y una sola de metal de soldadura para ensayo de tracción (Figura 4.14) como se muestra en la Figura 4.18.
- (2) Las probetas para ensayo de doblado deben probarse según 4.9.3.1. Los resultados del ensayo deben cumplir con los requisitos de 4.9.3.3.
- (3) La probeta de ensayo de tracción debe probarse según 4.9.3.6. El resultado del ensayo determinará el nivel de resistencia para el consumible de soldadura que debe cumplir con los requisitos de la Tabla 2.3 o con el nivel de resistencia del metal base que está siendo soldado.

4.13 Soldaduras de tapón y en ranura

Cuando se especifican soldaduras de tapón y en ranura, la calificación de la WPS debe cumplir con 4.21.3.

4.14 Procesos de soldadura que requieren calificación

4.14.1 GTAW, GMAW-S, ESW y EGW. Se pueden usar GTAW, GMAW-S, ESW y EGW siempre que las WPS estén calificadas según los requisitos de la Sección 4.

4.14.1.1 Requisito de la WPS (GMAW-S). Antes de su uso, el contratista debe preparar una o más WPS y calificar cada WPS de acuerdo con los requisitos de la Sección 4. Las limitaciones de las variables básicas en la Tabla 4.5 para GMAW se deben aplicar también a GMAW-S.

4.14.1.2 Requisito de la WPS (GMAW-S). Antes de su uso, el contratista debe preparar una o más WPS y calificar cada WPS de acuerdo con los requisitos de la Sección 4.

4.14.1.3. Requisitos de la WPS (ESW/EGW)

(1) Antes de su uso, el contratista debe preparar y calificar cada WPS de ESW o EGW que se utilizará de acuerdo con los requisitos de la Sección 4. La WPS debe incluir los detalles de la junta, el tipo y diámetro del metal de aporte, el amperaje, el voltaje (tipo y polaridad), la velocidad de desplazamiento vertical si no es una función automática de la longitud del arco o de la tasa de deposición, la oscilación (velocidad de desplazamiento transversal, longitud y tiempo de exposición), el tipo de protección incluyendo el caudal de flujo y punto de rocío del gas o tipo de fundente, el tipo de zapata de moldeo, PWHT, si se utiliza, y otra información pertinente.

(2) **Requisitos de ensayo de tracción de metal completamente soldado.** Antes de su uso, el contratista debe demostrar por medio del ensayo descrito en la Sección 4 que cada combinación de protección y metal de aporte producirá un metal de soldadura con las propiedades mecánicas especificadas en la edición más reciente de AWS A5.25, *Especificación de electrodos y fundentes de aceros al carbono y de baja aleación para soldadura por electroescoria* o en la edición más reciente de AWS A5.26, *Especificación de electrodos de aceros al carbono y de baja aleación para soldadura por electrogás*, según corresponda, cuando sean soldados según WPS.

(3) **Calificación previa.** Se pueden utilizar las WPS que hayan sido calificadas previamente, siempre que exista documentación adecuada y que la WPS sea aprobada por el ingeniero.

4.14.2 Otros procesos de soldadura. Pueden utilizarse otros procesos de soldadura no enumerados en 3.2.1 o 4.14.1, siempre que las WPS se califiquen mediante ensayos. La limitación de las variables esenciales aplicables a cada proceso de soldadura debe ser establecida por el contratista que desarrolla la WPS y aprobada por el ingeniero. Los rangos de las variables esenciales deben estar basados en evidencia documentada de experiencia

con el proceso o se deben realizar una serie de ensayos para establecer los límites de las variables esenciales. Todo cambio en las variables esenciales fuera del rango establecido exigirá una recalificación.

Parte C

Calificación del desempeño

4.15 General

Los ensayos de calificación de desempeño requeridos por este código son ensayos concebidos específicamente para determinar la capacidad de un soldador, un operario de soldadura o un soldador punteador para producir soldaduras sólidas. Los ensayos de calificación no están previstos para ser utilizados como guía para la soldadura o soldadura de punteado durante la construcción real. Esta última debe realizarse de acuerdo con una WPS.

4.15.1 Posiciones calificadas de soldadura de producción

4.15.1.1 Soldadores y operarios de soldadura. Las posiciones de soldadura de producción calificadas por un ensayo de placa para soldadores y operarios de soldadura deben cumplir con la Tabla 4.10. Las posiciones de soldadura de producción calificadas por un ensayo tubular para soldadores y operarios de soldadura deben cumplir con la Sección 9 y la Tabla 9.13.

4.15.1.2 Soldadores punteadores. Un soldador de punteado debe estar calificado por una placa de ensayo en cada posición en la que se va a realizar la soldadura de punteado.

4.15.2 Espesores y diámetros de producción calificados

4.15.2.1 Soldadores u operarios de soldadura. El rango de los espesores y diámetros calificados de soldadura de producción para los que un soldador u operario de soldadura está calificado debe cumplir con la Tabla 4.11.

4.15.2.2 Soldadores de punteado. La calificación del soldador de punteado debe ser para espesores mayores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm].

4.15.3 Calificación del soldador y del operario de soldadura a través de la calificación de WPS. Un soldador u operario de soldadura puede calificarse también soldando una placa, conducto o tubería de ensayo de calificación de WPS que cumpla con los requisitos de 4.9. El soldador u operario de soldadura se califica de acuerdo con 4.15.1 y 4.15.2.

4.16 Tipo de ensayos de calificación requeridos

4.16.1 Soldadores y operarios de soldadura. El tipo y la cantidad de ensayos de calificación necesarios para los soldadores y operarios de soldadura deben cumplir con la

Tabla 4.11. Los detalles de los requisitos de los ensayos mecánicos y NDT individuales se encuentran en las siguientes subsecciones:

- (1) Inspección visual (véase 4.9.1) (usar requisitos de WPS)
- (2) Doblado de cara, raíz y lado (véase 4.9.3.1) (usar requisitos de WPS)
- (3) Macroataque (véase 4.22.2)
- (4) Rotura de soldadura en filete (véase 4.22.4)

4.16.1.1 Sustitución de los ensayos de doblado guiados por RT. A excepción de las juntas soldadas por GMAW-S, el examen radiográfico de una placa o conducto para ensayo de calificación de un soldador u operario de soldadura puede ser realizado en lugar de los ensayos de doblado descritos en 4.16.1(2) (véase en 4.22.3 los requisitos de RT).

En lugar de los ensayos mecánicos o los RT de los conjuntos de ensayos de calificación, un operario de soldadura puede calificarse por el RT de las primeras 15 pulg. [380 mm] de una soldadura en ranura de producción. El rango de espesor del material calificado debe ser el que se muestra en la Tabla 4.11.

4.16.1.2 Ensayos de doblado guiado. Se deben preparar las probetas para ensayos mecánicos cortando la placa, conducto o tubería de ensayo como se muestra en las Figuras 4.16, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 y 9.28 para la calificación del soldador o en las Figuras 4.17, 4.22 o 4.24 para la calificación del operario de soldadura, según corresponda. Estas probetas de ensayo deben tener una sección transversal aproximadamente rectangular y estar preparadas para el ensayo según las Figuras 4.8, 4.9, 4.10 o 4.14 según corresponda.

4.16.2 Soldadores punteadores. El soldador de punteado debe realizar una soldadura de punteado de un tamaño máximo de 1/4 pulg. [6 mm] y aproximadamente 2 pulg. [50 mm] de largo en la probeta de rotura de soldadura en filete como se muestra en la Figura 4.27.

4.16.2.1 Alcance de la calificación. Un soldador de punteado que apruebe el ensayo de rotura de la soldadura en filete estará calificado para soldar de punteado todos los tipos de juntas (excepto las soldaduras en ranura con CJP, soldadas de un lado sin respaldo, por ejemplo juntas a tope y conexiones en T-, Y-, K-) para el proceso y en la posición en la que el soldador de punteado esté calificado. Las soldaduras de punteado de la excepción anterior deben ser realizadas por soldadores completamente calificados para el proceso y en la posición en la que se debe realizar la soldadura.

4.17 Tipos de soldadura para la calificación de desempeño de

soldadores y operarios de soldadura

A los fines de calificación de soldadores y operarios de soldadura, los tipos de soldadura deben clasificarse como sigue:

- (1) Soldaduras en ranura con CJP para conexiones no tubulares (ver 4.20)
- (2) Soldaduras en ranura con PJP para conexiones no tubulares (ver 4.21.1)
- (3) Soldaduras en filete para conexiones no tubulares (ver 4.21.2)
- (4) Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares (ver 9.19)
- (5) Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares (ver 9.20)
- (6) Soldaduras en filete para conexiones tubulares (ver 9.21)
- (7) Soldaduras de tapón y en ranura para conexiones tubulares y no tubulares (ver 4.21.3)

4.18 Preparación de los formularios de calificación de desempeño

El personal de soldadura debe seguir una WPS aplicable para el ensayo de calificación requerido. Se deben aplicar todas las limitaciones de las variables esenciales de WPS de 4.8 además de las variables esenciales de desempeño 4.19. El Registro de calificación de desempeño de soldadura (WPQR) debe servir como una verificación escrita y debe enumerar todas las variables esenciales aplicables de la Tabla 4.12. En el Apéndice M se encuentran los formularios sugeridos.

4.19 Variables esenciales

Los cambios más allá de la limitación de las variables esenciales para los soldadores, operarios de soldadura o soldadores punteadores que se muestran en la Tabla 4.12 deben requerir recalificación.

4.20 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones no tubulares

Ver en la Tabla 4.10 los requisitos de posición para la calificación de soldadores u operarios de soldadura en conexiones no tubulares. Observe que la calificación en juntas con respaldo califica para la soldadura de juntas de producción con ranurado del lado opuesto y soldadas del otro lado.

4.20.1 Placas para calificación del soldador. Los siguientes números de figuras se aplican a los requisitos de posición y de espesor para soldadores.

(1) Figura 4.16—Todas las posiciones—Espesor ilimitado

(2) Figura 4.19—Posición horizontal—Espesor ilimitado

(3) Figura 4.20—Todas las posiciones—Espesor limitado

(4) Figura 4.21—Posición horizontal—Espesor limitado

4.20.2 Placas de ensayo para la calificación del operario de soldadura

4.20.2.1 Para soldaduras distintas de EGW, ESW y soldaduras de tapón. La placa de ensayo de calificación para un operario de soldadura que no utilice soldaduras EGW, ESW ni soldaduras de tapón debe cumplir con la Figura 4.17. Esto debe calificar a un operario de soldadura para soldaduras en ranura y en filete en materiales de espesor ilimitado para el proceso y la posición de ensayo.

4.20.2.2 Para ESW y EGW. La placa de ensayo de calificación para un operario de soldadura ESW o EGW debe consistir en soldar una junta del espesor máximo del material a ser utilizado en la construcción, pero el espesor del material de la soldadura de ensayo no debe exceder de 1-1/2 pulg. [38 mm] (ver Figura 4.24). Si se realiza una soldadura de ensayo de 1-1/2 pulg. [38 mm] de espesor, no es necesario realizar una prueba para un espesor menor. El ensayo calificará a un operario para soldaduras en ranura y en filete en materiales de espesor ilimitado para el proceso y la posición de ensayo.

4.21. Alcance de la calificación

4.21.1 Soldaduras en ranura con PJP para conexiones no tubulares. La calificación para soldaduras en ranura con CJP calificará para todas las soldaduras en ranura con PJP.

4.21.2 Soldaduras en filete para conexiones no tubulares. La calificación para soldaduras en ranura con CJP calificará para las soldaduras en filete. Sin embargo, si se requiere solamente la calificación de soldadura en filete, consulte la Tabla 4.11.

4.21.3 Soldaduras de tapón y en ranura. La calificación para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares y no tubulares calificará para todas las soldaduras de tapón y en ranura. Ver la Tabla 4.10 solo para calificación de soldadura de tapón y en ranura. La junta debe constar de un orificio de 3/4 pulg. [20 mm] de diámetro en una placa de 3/8 pulg. [10 mm] de espesor con una placa de respaldo de un espesor mínimo de 3/8 pulg. [10 mm] (véase Figura 4.26).

4.22 Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de soldadores y operarios de soldadura

4.22.1 Inspección visual. véase 4.9.1 Criterios de aceptación.

4.22.2 Ensayo de macroataque. Las probetas de ensayo se deben preparar con un acabado adecuado para el examen de macroataque. Se debe utilizar una solución adecuada para que el ataque proporcione una definición clara de la soldadura.

4.22.2.1 Ensayos de macroataque para soldaduras de tapón y en filete. La cara del macroataque debe ser lisa para el ataque.

(1) Los ensayos de macroataque en soldaduras de tapón deben cortarse de las juntas de ensayo de acuerdo con:

(a) Calificación del soldador—Figura 4.26

(b) Calificación del operario de soldadura—Figura 4.26

(2) Los ensayos de macroataque en soldaduras en filete deben cortarse de las juntas de ensayo de acuerdo con:

(a) Calificación del soldador—Figura 4.25

(b) Calificación del operario de soldadura—Figura 4.25

4.22.2.2 Criterios de aceptación del ensayo de macroataque. Para que la calificación sea aceptable, la probeta inspeccionada visualmente debe cumplir con los siguientes requisitos:

(1) Las soldaduras en filete deben tener fusión a la raíz de la junta, pero no necesariamente más allá de ella.

(2) El tamaño mínimo de la pierna debe cumplir con el tamaño de la soldadura en filete especificado.

(3) Las soldaduras de tapón deben tener:

(a) Sin grietas

(b) Fusión completa al respaldo y a los lados del orificio

(c) Ninguna escoria visible que exceda de 1/4 pulg. [6 mm] de longitud total acumulada

4.22.3 RT. Si se utiliza RT en lugar de los ensayos de doblado indicados, no es necesario esmerilar ni alisar de otra forma el refuerzo de la soldadura para la inspección, salvo que la irregularidad de la superficie o la unión con el metal base pueda dar lugar a que las discontinuidades inaceptables no se visualicen correctamente en la radiografía. Si se retira el respaldo para RT, se debe esmerilar la raíz al ras (ver 5.23.3.1) con el metal base.

4.22.3.1 Procedimiento y técnica del ensayo de RT. El procedimiento y la técnica de RT deben cumplir

con los requisitos de la Sección 6, Parte E y la Sección 9, Parte E para tubulares. Para la calificación del soldador se excluyen 1-1/4 pulg. [32 mm] en cada extremo de la soldadura de la evaluación del ensayo de la placa; para la calificación del operario de soldadura se excluyen 3 pulg. [75 mm] en cada extremo de la longitud de la placa de ensayo.

4.22.3.2 Criterios de aceptación de RT. Para que la calificación sea aceptable, la soldadura revelada por la radiografía debe cumplir con los requisitos de 6.12.2, excepto que 6.12.2.2 no sea aplicable.

4.22.4 Ensayo de rotura de la soldadura en filete. Se debe examinar visualmente toda la longitud de la soldadura en filete y luego se debe cargar una probeta de 6 pulg. [150 mm] de largo (ver Figura 4.25) o un cuarto de sección del conjunto de soldadura en filete de la tubería de manera tal que la raíz de la soldadura esté sometida a tracción. Se debe ubicar como mínimo un comienzo y un final de soldadura dentro de la probeta de soldadura. La carga debe aumentarse o repetirse hasta que la probeta se fracture o se doble en forma plana sobre sí misma.

4.22.4.1 Criterios de aceptación para el ensayo de rotura de soldaduras en filete. Para aprobar el examen visual previo al ensayo de rotura, la soldadura debe presentar una apariencia razonablemente uniforme y estar libre de traslapes, grietas y socavación que exceda los requisitos de 6.9. No debe haber porosidad visible sobre la superficie de la soldadura.

La probeta rota se debe aprobar si:

(1) La probeta se dobla sobre sí misma, o

(2) La soldadura en filete, si se fractura, tiene una superficie fracturada que muestra la fusión completa de la raíz de la junta sin inclusión o porosidad mayor de 3/32 pulg. [2,5 mm] en la mayor dimensión, y

(3) La suma de las mayores dimensiones de todas las inclusiones y la porosidad no excede de 3/8 pulg. [10 mm] en la probeta de 6 pulg. [150 mm] de largo.

4.22.5 Probetas de doblado lateral, de raíz y de cara. Ver en 4.9.3.3 los criterios de aceptación.

4.23. Método de ensayo y criterios de aceptación para la calificación del soldador de punteado

Se debe aplicar una fuerza a la probeta como se muestra en la Figura 4.23 hasta que se produzca la rotura. La fuerza puede ser aplicada mediante cualquier medio apropiado. La superficie de la soldadura y de la fractura debe ser examinada visualmente en busca de defectos.

4.23.1 Criterios para la aceptación visual. La soldadura de punteado debe presentar una apariencia razonablemente uniforme y debe estar libre de traslapes, grietas y socavación mayor de 1/32 pulg. [1 mm]. No debe haber porosidad visible sobre la superficie de la soldadura de punteado.

4.23.2 Criterios de aceptación para ensayos destructivos. La superficie fracturada de la soldadura de punteado debe mostrar fusión a la raíz, pero no necesariamente más allá de ella y no debe mostrar una fusión incompleta a los metales base ni inclusiones o porosidad superior a 3/32 pulg. [2.5 mm] en la mayor dimensión.

4.24 Repetición del ensayo

Cuando un soldador, operario de soldadura o soldador de punteado no pasa una prueba de calificación o si existe una razón específica para cuestionar sus capacidades para soldar o ha caducado su período de vigencia, se debe aplicar lo siguiente:

4.24.1 Requisitos para la repetición del ensayo del soldador y operario de soldadura

4.24.1.1 Repetición inmediata del ensayo. Se puede realizar una repetición inmediata del ensayo que consiste en dos soldaduras de cada tipo y posición en las que el soldador o el operario de soldadura haya fallado. Todas las probetas de repetición del ensayo deben cumplir con todos los requisitos especificados.

4.24.1.2 Repetición del ensayo después de capacitación o práctica adicional. Es posible realizar una repetición del ensayo siempre que haya evidencia de que el soldador o el operario de soldadura haya tenido capacitación o práctica adicional. Se debe realizar una repetición completa de los ensayos del tipo y la posición en cuestión.

4.24.1.3 Repetición del ensayo después de transcurrido el período de efectividad de la calificación. Cuando haya transcurrido el período de vigencia de calificación del soldador o del operario de soldadura se exigirá un ensayo de recalificación. Los soldadores tienen la opción de utilizar un espesor de ensayo de 3/8 pulg. [10 mm] para calificar en cualquier espesor de soldadura de producción mayor o igual a 1/8 pulg. [3 mm].

4.24.1.4 Excepción—Falla en la repetición del ensayo de recalificación. No se debe permitir la repetición del ensayo luego de la falla de la repetición del ensayo de recalificación. Se debe permitir una repetición del ensayo solo después de la capacitación y práctica adicional según 4.24.1.2.

4.24.2 Requisitos de la repetición del ensayo del soldador punteador

4.24.2.1 Repetición del ensayo sin capacitación adicional. En caso de no aprobar los requisitos del ensayo, el soldador de punteado puede realizar una repetición del ensayo sin capacitación adicional.

4.24.2.2 Repetición del ensayo después de la capacitación o práctica adicional. Es posible realizar una repetición del ensayo siempre que el soldador de punteado haya tenido capacitación o práctica adicional. Se exigirá una repetición completa del ensayo.

Parte D Requisitos para los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)

4.25 General

4.25.1 Los requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) y los procedimientos de ensayo incluidos en esta sección deben aplicarse solo cuando estén especificados en los documentos del contrato según 4.2.1.3, 5.25.5(3)[d], la Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 de este código. Si bien los requisitos de esta sección no hacen referencia a los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) de los metales base, se supone que los metales base son adecuados para las aplicaciones donde se requiere el ensayo CVN de la WPS.

4.25.2 Las probetas de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) deben ser maquinadas y ensayadas según ASTM E23, *Métodos estándar de ensayo de impacto de barras entalladas de materiales metálicos para probetas de impacto de tipo A Charpy (viga simple)*, ASTM A370, *Métodos y definiciones estándar para los ensayos mecánicos de productos de acero* o AWS B4.0, *Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras*.

4.26 Ubicaciones de ensayos

4.26.1 La ubicación del ensayo para las probetas individuales de CVN, excepto que se especifique lo contrario en los documentos del contrato, debe ser tal como se muestra en la Figura 4.28 y en la Tabla 4.14.

4.26.2 La ubicación de la entalla para todas las probetas de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) debe realizarse maquinando primero las probetas de la soldadura de ensayo en la profundidad adecuada según se muestra en la Figura 4.28. Las probetas deben ser levemente más largas para permitir la ubicación exacta de la entalla. Luego, se deben grabar las barras con producto suave, como nital al 5% para revelar la ubicación de la zona de fusión de soldadura y de HAZ. La línea central de la entalla debe estar ubicada en las probetas como se muestra en la Figura 4.28.

4.27 Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)

4.27.1 Existen dos opciones para la cantidad de probetas de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) que se deben tomar de una sola ubicación de ensayo:

Opción A—3 probetas

Opción B—5 probetas

4.27.2 Las probetas CVN se deben maquinar del mismo conjunto de ensayo soldado realizado para determinar otras propiedades de la junta de soldadura (ver Figuras 4.6 y 4.7 para la placa, Figuras 9.19 y 9.20 para tubulares).

Cuando el tamaño de los conjuntos soldados de ensayo no sea suficiente para cumplir con todos los requisitos de la probeta de ensayo mecánico se debe realizar un conjunto de ensayo soldado adicional. Las probetas para ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) se deben maquinarse desde el conjunto de ensayo soldado en el que se maquina las probetas para el ensayo de tracción.

4.27.3 Cuando el ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) es un requisito, se necesita un PQR con ensayos CVN y una WPS calificada. Se debe preparar un PQR nuevo o, si ya existe un PQR que satisfaga todos los requisitos excepto los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), será necesario preparar solo una soldadura de ensayo adicional con material suficiente para proveer las probetas necesarias para el ensayo CVN. Se debe soldar una placa de ensayo parcial o completa (como se indicó anteriormente) utilizando una WPS que cumpla con la WPS original "de prueba", si corresponde, y los límites de las Tablas 4.1, 4.2 y 4.5, además de las variables esenciales complementarias aplicables solamente a los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) (Tabla 4.6). Se debe preparar un PQR nuevo o revisado y se debe escribir una WPS nueva o revisada para adaptarse a las variables de calificación para ensayos con el péndulo de Charpy (CVN).

4.27.4 La línea central longitudinal de las probetas debe ser transversal al eje de la soldadura y la entalla de la base debe ser perpendicular (normal) a la superficie, excepto que se especifique lo contrario en los documentos del contrato.

4.27.5 La probeta estándar de 10 x 10 mm debe utilizarse cuando el espesor del material de ensayo sea de 7/16 pulg. [11 mm] o superior. Se deben utilizar probetas de tamaño reducido cuando el espesor del material de ensayo sea inferior a 7/16 pulg. [11 mm] o cuando la extracción de probetas de tamaño completo no sea posible a causa de la forma de la soldadura. Cuando se requieren probetas de tamaño reducido, deben hacerse de una de las dimensiones indicadas en la Tabla 4.15. (Nota: las probetas más grandes posibles deben ser maquinadas desde la pieza de ensayo de calificación.)

4.27.6 La temperatura del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) debe estar especificada en los documentos del contrato.

4.27.7 Temperatura del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) reducido

4.27.7.1 Espesor de la probeta de ensayo de 7/16 pulg. [11 mm] o superior. Cuando se requieran probetas de tamaño reducido y el ancho de la probeta en la entalla es inferior al 80 % del espesor de la probeta del ensayo, la temperatura del ensayo debe reducirse según la Tabla 4.15.

4.27.7.2 Espesor de la probeta de ensayo menor de 7/16 pulg. [11 mm]. Cuando se requieran probetas de tamaño reducido y el ancho de la probeta en la entalla es inferior al 80 % del espesor de la probeta del ensayo, la temperatura del ensayo debe reducirse en una cantidad igual a la diferencia (según la Tabla 4.15) entre la reducción de temperatura correspondiente al espesor de la probeta de ensayo y la reducción de temperatura correspondiente al ancho de la probeta Charpy realmente comprobada.

4.28 Requisitos del ensayo

4.28.1 Los requisitos del ensayo para soldaduras entre metales base con límite elástico mínimo especificado de 50 ksi [345 MPa] o inferior no deben ser menores que los requisitos mínimos de la Tabla 4.14, excepto que se especifique lo contrario. Los requisitos de ensayo para soldaduras entre metales base con un límite elástico mínimo especificado superior a 50 ksi [345 MPa] deben ser especificados en los documentos del contrato. Estos requisitos pueden incluir, pero no están limitados a, la energía absorbida, porcentaje de fractura dúctil y valores de expansión lateral.

4.28.2 Los criterios de aceptación para cada ensayo deben estar especificados en los planos o especificaciones del contrato y deben constar de lo siguiente:

(1) Valor mínimo individual: el valor debajo del cual no puede haber ninguna probeta y

(2) Valor promedio mínimo: el valor respecto del cual la media aritmética de las tres probetas debe ser igual o mayor.

Excepto que se especifique lo contrario en los planos o especificaciones del contrato, los valores de aceptación para los requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) descritos en 4.28.1 para soldaduras entre metales base con un límite elástico mínimo especificado de 50 ksi [345 MPa] o menor se muestran en la Tabla 4.14.

4.28.3 Si se elige la Opción B (ver 4.27.1) se deben descartar las probetas con los valores más altos y más bajos, y dejar 3 probetas para la evaluación. Tanto para la Opción A como para las 3 probetas restantes de la Opción B, 2 de los 3 valores de las probetas deben ser iguales o superiores al valor promedio mínimo especificado. Uno de los tres puede ser inferior al valor promedio mínimo especificado pero no inferior al valor individual mínimo especificado y el promedio de los tres no debe ser inferior al valor promedio mínimo especificado.

4.29 Repetición del ensayo

4.29.1 Cuando no se cumplen los requisitos de 4.28.2 y 4.28.3 se puede realizar una repetición de ensayo. Cada valor individual de las tres probetas restantes debe ser igual o superior al valor promedio mínimo especificado. Las probetas de repetición de ensayo deben extraerse del conjunto de soldaduras del ensayo original. Si no se pueden obtener probetas de estas soldaduras, se debe realizar una nueva soldadura de ensayo y se deben llevar a cabo todos los ensayos mecánicos requeridos por este código.

4.30 Informe

4.30.1 Todos los valores medidos de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) requeridos por este código, documentos del contrato o especificaciones deben ser informados en el PQR.

Tabla 4.1
Calificación de la WPS—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa, conducto y tubo rectangular (véase 4.4)

Ensayo de calificación			Soldadura de placa de producción calificada			Soldadura de tubos de producción calificada					Soldadura de tubo rectangular de producción calificada				
	Tipo de soldadura	Posiciones del ensayo	Ranura con CJP	Ranura con PJP	Filete ^c	Junta a tope ^b		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^c	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^c
						CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
P L A C A	Ranura con CJP ^a	1G	F	F	F	F	F			F	F	F			F
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H			F, H	F, H	F, H			F, H
		3G	V	V	V	V	V			V	V	V			V
		4G	OH	OH	OH	OH	OH			OH	OH	OH			OH
	Filete ^{a, b}	1F			F					F					F
		2F			F, H					F, H					F, H
		3F			V					V					V
		4F			OH					OH					OH
	Tapón/ Ranura	Califica la soldadura en ranura/de tapón solo para las posiciones probadas													

CJP—Penetración completa de la junta

PJP—Penetración parcial de la junta

^a Califica para un eje de soldadura con una línea básicamente recta, que incluye la soldadura a lo largo de una línea paralela hasta el eje del tubo circular.^b Califica para soldaduras en circunferencia de conductos de 24 pulgadas [600 mm] o más de diámetro exterior nominal.^c Las soldaduras en filete en conexiones de producción en T-, Y- o K- deben cumplir con la Figura 9.12. La calificación de la WPS debe cumplir con los requisitos de 4.12.

Tabla 4.2

Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados (véase 4.5) (Dimensiones en pulgadas)

1. Ensayos en placa^{a, b}

Espesor nominal de placa (T) probado, pulgadas	Cantidad de probetas				Espesor nominal del conducto o tubo calificado ^{c, d} pulgadas	
	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Min.	Máx.
$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(Nota g)	1/8	2T
$3/8 < T < 1$	2	—	—	4	1/8	2T
1 y más	2	—	—	4	1/8	Sin límite

2. Ensayos en ESW y EGW^{a, f}

Espesor nominal de placa probado	Cantidad de probetas				Espesor nominal de placa calificado	
	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Tracción del metal de soldadura (véase Fig. 4.14)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)	Min.	Máx.
T	2	1	4	(Nota e)	0,5 T	1,1 T

^a Todas las soldaduras de placa de ensayo deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.9.1) y sometidas a NDT (véase 4.9.2)

^b Ver en las Figuras 4.6 y 4.7 los requisitos de las placas de ensayo.

^c Para las soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado está limitado al espesor del ensayo.

^d La calificación de la soldadura en ranura con CJP de cualquier espesor debe calificar cualquier tamaño de la soldadura en filete o en ranura con PJP para cualquier espesor (ver 4.11.3).

^e Cuando esté especificado, los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) deben cumplir con la Sección 4, Parte D.

^f Ver en la Figura 4.5 los requisitos de las placas.

^g En caso de un espesor de pared o placa de 3/8 pulgadas, se puede reemplazar el ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

Tabla 4.2 (Continuación)
Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados (véase 4.5) (Dimensiones en milímetros)

1. Ensayos en placa^{a, b}

Espesor nominal de placa (T) probado, mm	Cantidad de probetas				Espesor nominal del conducto o tubo ^{c, d} calificado, mm	
	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Mín.	Máx.
$3 \leq T \leq 10$	2	2	2	(Nota g)	3	2T
$10 < T < 25$	2	—	—	4	3	2T
25 y más	2	—	—	4	3	Sin límite

3. Ensayos en ESW y FGW^{a, f}

Espesor nominal de placa probado	Cantidad de probetas				Espesor nominal de placa calificado	
	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Tracción del metal de soldadura (véase Fig. 4.14)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN)	Mín.	Máx.
T	2	1	4	(Nota g)	0,5 T	1,1 T

^a Todas las soldaduras de placa de ensayo deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.9.1) y sometidas a NDT (véase 4.9.2).

^b Ver en las Figuras 4.6 y 4.7 los requisitos de las placas de ensayo.

^c Para las soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado está limitado al espesor del ensayo.

^d La calificación de la soldadura en ranura con CJP de cualquier espesor debe calificar cualquier tamaño de la soldadura en filete o en ranura con PJP para cualquier espesor (véase 4.11.3).

^e Cuando esté especificado, los ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) deben cumplir con la Sección 4, Parte D.

^f Ver en la Figura 4.5 los requisitos de las placas.

^g Para un espesor de pared o placa de 10 mm, se puede reemplazar un ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de raíz y de cara requeridos.

Tabla 4.3
Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—
Calificación WPS; soldaduras en ranura con PJP (véase 4.11)

Profundidad de la ranura de ensayo, T pulgadas [mm]	Cantidad de probetas ^{a, b}					Rangos de calificación ^c	
	Tamaño de la soldadura de macroataque (E)	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Profundidad de la ranura	Espesor nominal de placa, pulgadas [mm]
	4.11.2 4.11.3 4.11.4						Min. Máx.
$1/8 \leq T \leq 3/8$ [3 ≤ T ≤ 10]	3	2	2	2	—	T	1/8 [3] 2T
$3/8 < T \leq 1$ [10 < T ≤ 25]	3	2	—	—	4	T	1/8 [3] Sin límite

^a Se requiere una placa de ensayo por posición (véase en Figura 4.6 o 4.7 la placa de ensayo). Utilizar el detalle de la ranura con PJP de producción para la calificación. Todas las placas deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.9.1).

^b Si se usará una soldadura en ranura en J o de bisel con PJP para las soldaduras con juntas en T, o se usará una soldadura en ranura en J doble o de bisel doble para las juntas en esquina, la junta a tope debe tener una placa restrictiva temporal en el plano de la cara en escuadra para simular la configuración de una junta en T.

^c Cualquier calificación de PJP también debe calificar cualquier tamaño de la soldadura en filete en cualquier espesor.

Tabla 4.4
Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—
Calificación de la WPS; soldaduras en filete (véase 4.12)

Probetas de ensayo	Tamaño del filete	Cantidad de soldaduras por WPS	Probetas de ensayo requeridas ^b			Tamaños calificados	
			Macroataque 4.12.1 4.9.4	Tracción del metal de soldadura (véase Fig. 4.14)	Doblado lateral (véase Figura 4.9)	Espesor de la placa/conducto ^a	Tamaño del filete
Ensayo de placa en T (Figura 4.15)	Pasada única, tamaño máximo a usar en construcción	1 pulgada en cada posición a ser usada	3 caras	—	—	Sin límite	Pasada única de ensayo, máx. y más pequeña
	Pasadas múltiples, tamaño mínimo a usar en construcción	1 pulgada en cada posición a ser usada	3 caras	—	—	Sin límite	Pasadas múltiples de ensayo, mín. y más grande
Ensayo de verificación de consumibles (Fig. 4.18)	—	1 en posición 1G	—	1	2	Califica a los consumibles de soldadura que se usarán en el ensayo T más arriba	

^a El espesor mínimo calificado debe ser de 1/8 pulgadas [3 mm].

^b Todas las placas de ensayo soldadas deben ser inspeccionadas visualmente según 4.9.1.

Tabla 4.5
Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para
SMAW, SAW, GMAW, FCAW y GTAW (véase 4.8.1)

Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación	Proceso				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Metal de aporte					
1) Aumento en la resistencia de la clasificación del metal de aporte	X		X	X	
2) Cambio de electrodos SMAW de bajo hidrógeno por hidrógeno no bajo	X				
3) Cambio de clasificación de fundente-electrodo o de un electrodo a cualquier clasificación de -fundente-electrodo u otro electrodo ^a		X		X	X
4) Cambio a una clasificación de fundente-electrodo o electrodo ^a no abarcado en:	AWS A5.1 o A5.5	AWS A5.17 o A5.23	AWS A5.18, A5.28, o A5.36	AWS A5.20, A5.29, o A5.36	AWS A5.18 o A5.28
5) Agregado o eliminación de metal de aporte					X
6) Cambio de alimentador de alambre frío a alimentador de alambre caliente o viceversa					X
7) Incorporación o eliminación de metal de aporte granular, en polvo complementario o alambre cortado		X			
8) Aumento en la cantidad de metal de aporte granular, en polvo complementario o alambre		X			
9) Si el contenido de la aleación de metal de soldadura depende en gran medida del metal de aporte en polvo complementario, todo cambio en la WPS que resulte en un depósito de soldadura con los elementos importantes de la aleación que no cumplan con los requisitos de la composición química de la WPS		X			
10) Cambio en el diámetro nominal del metal de aporte en:	incremento de > 1/32 pulgadas [0,8 mm]	Todo incremento ^b	Todo incre- mento o disminución	Todo incremento	incremento o disminución de > 1/16 pulgadas [1,6 mm]
11) Cambio en la cantidad de electrodos		X	X	X	X
Parámetros del proceso					
12) Un cambio de amperaje para cada diámetro usado de:	A un valor no recomendado por el fabricante	> 10% de incre- mento o dismi- nución	> 10% de incre- mento o dismi- nución	> 10% de incre- mento o dismi- nución	> 25% de incre- mento o dismi- nución
13) Un cambio del tipo de corriente (CA o CC) o de polaridad (electrodo positivo o negativo para la corriente CC)	X	X	X	X	X
14) Un cambio en el modo de transferencia			X		
15) Un cambio de salida CV a CC			X	X	
16) Un cambio en el voltaje de cada diámetro usado de:		> 7% de incre- mento o dismi- nución	> 7% de incre- mento o dismi- nución	> 7% de incre- mento o dismi- nución	
17) Un incremento o una disminución en la velocidad del alimentador de alambre para el diámetro de cada electrodo (si el amperaje no está controlado) de:		> 10%	> 10%	> 10%	

(Continuación)

Tabla 4.5 (Continuación)
Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para
SMAW, SAW, GMAW, FCAW y GTAW (véase 4.8.1)

Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación	Proceso				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Parámetros del proceso (Continuación)					
18) Un cambio de velocidad de desplazamiento ^c en:		> 15% de incremento o disminución	> 25% de incremento o disminución	> 25% de incremento o disminución	> 50% de incremento o disminución
Gas de protección					
19) Un cambio de gas de protección de un gas único a cualquier otro gas único o mezcla de gases, o en la composición porcentual nominal especificada de la mezcla de gas, o sin gas			X	X	X
20) Un cambio en el caudal total de gas de:			Incremento de > 50% Disminución de > 20%	Incremento de > 50% Disminución de > 20%	Incremento de > 50% Disminución de > 20%
21) Un cambio de la clasificación real del gas de protección no abarcado en:			AWS A5.18, A5.28, o A5.36. Para las clasificaciones abiertas y fijas A5.36, las variaciones en el rango de clasificación del gas de protección se limitan al gas de protección específico de ensayo o al indicador usado para la clasificación de los electrodos.	AWS A5.20, A5.29, o A5.36. Para las clasificaciones abiertas y fijas A5.36, las variaciones en el rango de clasificación del gas de protección se limitan al gas de protección específico de ensayo o al indicador usado para la clasificación de los electrodos.	
Parámetros de SAW					
22) Un cambio en > 10%, o 1/8 pulgadas [3 mm], el que sea superior, en el espaciamiento longitudinal de los arcos		X			
23) Un cambio en > 10%, o 1/8 pulgadas [3 mm], el que sea superior, en el espaciamiento lateral de los arcos		X			
24) Un incremento o una disminución de más de 10° en la orientación angular de cualquier electrodo paralelo		X			
25) Para SAW mecanizada o automática; un incremento o una disminución en más de 3° en el ángulo del electrodo		X			
26) Para SAW mecanizada o automática, un incremento o una disminución en más de 5° en la dirección normal de desplazamiento		X			

(Continuación)

Tabla 4.5 (Continuación)
Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para
SMAW, SAW, GMAW, FCAW y GTAW (véase 4.8.1)

Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación	Proceso				
	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Generalidades					
27) Un cambio de posición no calificado según la Tabla 4.1 o 9.9	X	X	X	X	X
28) Un cambio en el diámetro, en el espesor o en ambos, no calificado por la Tabla 4.2 o 9.10	X	X	X	X	X
29) Un cambio en el metal base o en la combinación de metales base no enumerado en PQR o calificado en la Tabla 4.8	X	X	X	X	X
30) Soldadura vertical: Para cualquier pasada de arriba hacia abajo o viceversa	X		X	X	X
31) Un cambio en el tipo de ranura (por ej., en V simple a V doble), excepto la calificación de cualquier soldadura en ranura con CJP que califica para los detalles de la ranura y que cumpla con los requisitos de 3.12, 3.13, 9.10 o 9.11	X	X	X	X	X
32) Un cambio en el tipo de ranura a ranura en escuadra y viceversa	X	X	X	X	X
33) Un cambio que exceda las tolerancias de 3.12, 3.13, 5.21.4.1, o 9.10, 9.11, 9.11.2, y 9.24.2.1, que involucra: a) Una disminución en el ángulo de la ranura a) Una disminución en la abertura de la raíz c) Un incremento en la cara de la raíz	X	X	X	X	X
34) La omisión, sin inclusión, de respaldo o ranurado del lado opuesto	X	X	X	X	X
35) Disminución de la temperatura de precalentamiento ^d de:	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 100 °F [55 °C]
36) Disminución de la temperatura entre pasadas ^d de:	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 25 °F [15 °C]	> 100 °F [55 °C]
37) Incorporación o eliminación de PWHT	X	X	X	X	X

^a Se puede disminuir la resistencia del metal de aporte sin recalificación de la WPS.

^b Para las WPS que usan fundente de aleación, cualquier incremento o disminución en el diámetro de los electrodos requiere la recalificación de la WPS.

^c Los rangos de velocidad de desplazamiento para todos los tamaños de las soldaduras en filete pueden ser determinados por los ensayos de la soldadura de pasada única más grande y de calificación de soldadura en filete de pasadas múltiples más pequeña.

^d La temperatura de precalentamiento o entre pasadas de soldaduras de producción puede ser menor que la temperatura de precalentamiento o entre pasadas de PQR siempre que se cumplan las disposiciones de 5.6, y la temperatura del metal base no debe ser inferior a la temperatura de la WPS al momento de las soldaduras subsiguientes.

^e En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (Unidades SI) de AWS de la misma clasificación de electrodos.

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el proceso, un bloque sombreado indica no aplicabilidad.

Tabla 4.6
Cambios de variables esenciales complementarias de PQR para aplicaciones de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)

Se requiere la recalificación de la WPS para SMAW, SAW, GMAW, FCAW, y GTAW (véase 4.8.1)

Variable	SMAW	SAW	GMAW	FCAW	GTAW
Metal base					
1) Un cambio en el número de grupo	X	X	X	X	X
2) El espesor mínimo calificado es T o 5/8 pulgadas [16 mm], el que sea menor, a menos que T sea menor a 1/4 pulgadas [6 mm], en ese caso el espesor mínimo calificado es de 1/8 pulgadas [3 mm]	X	X	X	X	X
Metal de aporte					
3) Un cambio en la clasificación de AWS A5.X, o a la clasificación del metal de aporte o de soldadura no cubierta por las especificaciones A5.X. Deben ser aceptables los electrodos FCAW y GMAW de acero al carbono y de baja aleación con núcleo de metal antes clasificados según A5.18, A5.20, A5.28, o A5.29, y reclasificados según A5.36 sin cambios de fabricante, de marca y que cumple con todos los requisitos de clasificaciones previas usados en la calificación CVN de PQR/WPS sin recalificación.	X	X	X	X	X
4) Un cambio en la clasificación de alambre/fundente, o un cambio ya sea en el nombre comercial del fundente o del electrodo cuando no está clasificado por una especificación AWS o escoria triturada		X			
5) Un cambio en el fabricante o el nombre de la marca del fabricante o el tipo de electrodo				X	
Posición					
6) Un cambio en la posición, de vertical hacia arriba. Un ensayo 3G vertical hacia arriba califica para todas las posiciones y vertical hacia abajo	X		X	X	X
Temperatura de precalentamiento/entre pasadas					
7) Un incremento de más de 100 °F [56 °C] en la temperatura de precalentamiento o entre pasadas máxima calificada	X	X	X	X	X
Tratamiento térmico posterior a la soldadura					
8) Un cambio en los rangos de tiempo y/o las temperaturas de PWHT. El ensayo PQR deberá someterse a un 80% del tiempo acumulado a estas temperaturas. El tiempo total de PWHT a estas temperaturas se puede aplicar en un ciclo de calor	X	X	X	X	X
Características eléctricas					
9) Un incremento en la entrada de calor o en el volumen del metal soldado depositado por unidad de longitud de soldadura, sobre el calificado, excepto que se aplique un tratamiento térmico para afinamiento del grano y austenización, después de haber soldado. El incremento se puede medir de alguna de las siguientes formas: a) $\text{Entrada de calor (J/pulg.)} = \frac{\text{Voltios} \times \text{Amperes} \times 60}{\text{Veloc. de desplazamiento (pulg./min.)}}$ b) Volumen de metal soldado—Un incremento en el tamaño del cordón de soldadura, o una disminución en la longitud del cordón de soldadura por unidad de longitud de electrodos	X	X	X	X	X
Otras variables					
10) En la posición vertical, un cambio de recto a cordón oscilado u ondulado	X	X	X	X	X
11) Un cambio de pasada múltiple por lado a pasada única por lado	X	X	X	X	X
12) Un cambio que exceda en un $\pm 20\%$ las variables de oscilación para soldadura mecanizada o automática		X	X	X	X

Tabla 4.7
Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para ESW o EGW (véase 4.8.2)

Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación	Recalificación por ensayo de WPS	Recalificación por RT o UT ^a
Metal de aporte		
1) Un cambio “significativo” en la composición del metal guía consumible o el metal de aporte	X	
Zapatas de moldeo (fijas o móviles)		
2) Un cambio de metálico a no metálico o viceversa		X
3) Un cambio de fusión a no fusión o viceversa		X
4) Una reducción en la dimensión transversal o en el área de una zapata sólida sin fusión > 25%		X
5) Un cambio en el diseño de sólido sin fusión a agua enfriada o viceversa	X	
Oscilación del metal de aporte		
6) Un cambio en la velocidad transversal de oscilación > 10 ipm (4 mm/s)		X
7) Un cambio en el tiempo de exposición transversal de oscilación > 2 segundos (excepto que sea necesario para compensar variaciones en las aberturas de las juntas)		X
8) Un cambio en la longitud transversal de oscilación que afecta en más de 1/8 pulgadas [3 mm], la proximidad del metal de aporte a las zapatas de moldeo		X
Complementos de metal de aporte		
9) Un cambio en el área transversal del núcleo de metal de la guía de consumibles > 30%	X	
10) Un cambio en el sistema fundente, por ej., con núcleo, electrodo magnético, externo, etc.	X	
11) Un cambio en la composición del fundente, que incluye el revestimiento de la guía de consumibles	X	
12) Un cambio en la carga del fundente > 30%		X
Diámetro del metal de aporte/electrodo		
13) Incremento o disminución del diámetro del electrodo > 1/32 pulgadas [1 mm]		X
14) Un cambio en la cantidad de electrodos usados	X	
Amperaje de los electrodos		
15) Un incremento o una disminución del amperaje > 20%	X	
16) Un cambio en el tipo de corriente (CA o CC) o de polaridad		X
Voltaje del arco de electrodos		
17) Un incremento o una disminución del voltaje > 10%		X
Características del proceso		
18) Un cambio a una combinación con cualquier otro proceso de soldadura	X	
19) Un cambio de pasada única a pasada múltiple y viceversa	X	
20) Un cambio de corriente constante a voltaje constante y viceversa		X
Velocidad de alimentador de alambre		
21) Un incremento o una disminución en la velocidad del alimentador de alambre > 40%	X	
Velocidad de desplazamiento		
22) Un incremento o una disminución en la velocidad de desplazamiento (si no es una función automática de la longitud del arco o la tasa de deposición) > 20% (excepto si es necesario para compensar la variación en la abertura de la junta)		X

(Continuación)

Tabla 4.7 (Continuación)
Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación de la WPS para ESW o EGW (véase 4.8.2)

Cambios de variables esenciales de PQR que requieren recalificación	Recalificación por ensayo de WPS	Recalificación por RT o UT ^a
Protección de electrodos (solo EGW)		
23) Un cambio en la composición del gas de protección de cualquier componente > 5% del caudal total	X	
24) Un incremento o una disminución en el caudal total de protección > 25%		X
Posición de soldadura		
25) Un cambio en la posición vertical del > 10%		X
Tipo de ranura		
26) Un incremento en el área transversal (para ranuras que no sean en escuadra)	X	
27) Una disminución en el área transversal (para ranuras que no sean en escuadra)		X
28) Un cambio en el espesor de la junta de PQR, T fuera de los límites de 0.5T–1.1T	X	
29) Un incremento o una disminución > 1/4 pulgadas [6 mm] en la abertura de la raíz de la ranura en escuadra		X
Tratamiento térmico posterior a la soldadura		
30) Un cambio en PWHT	X	

^a El ensayo debe ser realizado de conformidad con la Sección 6, Partes E o F, y la Sección 9, Parte F para tubulares, de ser aplicable.

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el método de recalificación; un bloque sombreado indica no aplicabilidad.

Tabla 4.8
Tabla 3.1, Tabla 4.9, y aceros no enumerados calificados por PQR (véase 4.8.3)

Metal base PQR	Combinaciones de Grupo de metales base de WPS permitidos por PQR
Cualquier acero del Grupo I por cualquier acero del Grupo I	Cualquier acero del Grupo I por cualquier acero del Grupo I
Cualquier acero del Grupo II por cualquier acero del Grupo II	Cualquier acero del Grupo I por cualquier acero del Grupo I Cualquier acero del Grupo II por cualquier acero del Grupo I Cualquier acero del Grupo II por cualquier acero del Grupo II
Cualquier acero específico de la Tabla 4.9 o del Grupo III por cualquier acero del Grupo I	El acero específico de la Tabla 4.9 o del Grupo III PQR de ensayo por cualquier acero del Grupo I
Cualquier acero específico de la Tabla 4.9 o del Grupo III por cualquier acero del Grupo II	El acero específico de la Tabla 4.9 o del Grupo III PQR de ensayo por cualquier acero del Grupo I o del Grupo II
Cualquier acero del Grupo III por el mismo o cualquier otro acero del Grupo III	
o	
Cualquier acero del Grupo IV por el mismo o cualquier otro acero del Grupo IV	Los aceros deben tener la misma especificación de material, grado/tipo y límite elástico mínimo de los aceros enumerados en PQR
o	
Cualquier acero de la Tabla 4.9 por el mismo o cualquier otro acero de la Tabla 4.9	
Cualquier combinación de aceros del Grupo III, IV, y de la Tabla 4.9	Solo la combinación específica de aceros enumerada en PQR
Cualquier acero no enumerado por cualquier acero no enumerado o	
Cualquier acero enumerado en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9	Solo la combinación específica de aceros enumerada en PQR

Notas:

1. Los Grupos del I al IV aparecen en la Tabla 3.1.

2. Cuando la especificación del acero lo permita, se puede reducir el límite elástico con el espesor aumentado del metal.

Tabla 4.9
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4

Metal base					Metal de aporte de resistencia similar			Espesor del metal base, T		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas			
Especificación	Punto/limite elástico mínimo		Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ^a	Clasificación de electrodos						
	ksi	MPa	ksi	MPa				pulgadas	mm	°F	°C		
ASTM A871, Grado 60	60	415	75 mín.	520 mín.	SMAW	A5.5	E8015-X	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10		
Grado 65	65	450	80 mín.	550 mín.			SAW					A5.23	E8016-X E8018-X
							GMAW					A5.28 <u>A5.36</u>	F8XX-EXXX-XX F8XX-ECXXX-XX
							FCAW					A5.29 <u>A5.36</u>	ER80S-XXX E80C-XXX <u>E8XTX-XAX-XXX</u>
ASTM A514 (Más de 2-1/2 pulgadas [65 mm])	90	620	100–130	690–895	SMAW	A5.5	E10015-X	Más de 3/4 hasta 1-1/2	Más de 20 hasta 38	125	50		
ASTM A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] (Más de 2-1/2 pulgadas a 4 pulgadas [65 mm a 100 mm])	90	620	100–130	690–895			SAW					A5.23	E10016-X E10018-X E10018M
ASTM A710 Grado A, Clase 1 ≤ 3/4 pulgadas [20 mm]	80–85	550–585	90 mín.	620 mín.			GMAW					A5.28 <u>A5.36</u>	F10XX-EXXX-XX F10XX-ECXXX-XX
ASTM A710 Grado A, Clase 3 2 pulgadas [50 mm] ≤	75–80	515–550	85 mín.	585 mín.			FCAW					A5.29 <u>A5.36</u>	ER100S-XXX E100C-XXX <u>E10TX-XAX-XXX</u>

(Continuación)

Tabla 4.9 (Continuación)
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4

Metal base					Metal de aporte de resistencia similar			Espesor del metal base, T		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
Especificación	Punto/limite elástico mínimo		Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ²	Clasificación de electrodos				
	ksi	MPa	ksi	MPa				pulgadas	mm	°F	°C
ASTM A514 (2-1/2 pulgadas [65 mm] y menor)	100	690	110–130	760–895	SMAW	A5.5	E11015-X E11016-X E11018-X E11018M	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10
ASTM A517	90–100	620–690	105–135	725–930	SAW	A5.23	F11XX-EXXX-XX F11XX-ECXXX-XX				
ASTM A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] (2-1/2 pulgadas [65 mm] y menor)	100	690	110–130	760–895	GMAW	A5.28 <u>A5.36</u>	ER110S-XXX E110C-XXX <u>E11TX-XAX-XXX</u>				
					FCAW	A5.29 <u>A5.36</u>	E11XTX-XC E11XTX-XM <u>E11TX-XAX-XXX</u>				
ASTM A1043/A1043M Grado 36 Grado 50	36–52	250–360	58 min.	400 min.	SMAW	A5.1 A5.5	E7015 E7016 E7018 E7028 E7015-X E7016-X E7018-X	Más de 3/4 hasta 1-1/2	Más de 20 hasta 38	125	50
	50–65	345–450	65 min.	450 min.			Más de 1-1/2 hasta 2-1/2	Más de 38 hasta 65	175	80	
						SAW	A5.17 A5.23	F7XX-EXXX F7XX-ECXXX F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX	Más de 2-1/2	Más de 65	225

(Continuación)

Tabla 4.9 (Continuación)
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4

Metal base					Metal de aporte de resistencia similar			Espesor del metal base, T		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
Especificación	Punto límite elástico mínimo		Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ^a	Clasificación de electrodos				
	ksi	MPa	ksi	MPa				pulgadas	mm	°F	°C
ASTM A1043/A1043M Grado 36 Grado 50 (Continuación)	36-52	250-360	58 min.	400 min.	GMAW	A5.18	ER70S-X	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10
	50-65	345-450	65 min.	450 min.			E70C-XC				
							E70C-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)				
							(Clasificación fija, acero al carbono)				
						E70C-6M					
						(Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)					
						(Clasificación abierta, acero al carbono)					
						E7XT15-XAX-CS1	Más de 3/4 hasta 1-1/2	Más de 20 hasta 38	125	50	
						E7XT15-XAX-CS2					
						A5.36	E7XT16-XAX-CS1	Más de 1-1/2 hasta 2-1/2	Más de 38 hasta 65	175	80
						E7XT16-XAX-CS2					
						(Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)	Más de 2-1/2	Más de 65	225	110	
						A5.28					ER70S-XXX
						E70C-XXX					
						A5.36	(Clasificación abierta, GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal)	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10
						E7XT-X					
						E7XT-XC					
						E7XT-XM					
					FCAW	A5.20	(Se deben excluir los electrodos con sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS y los electrodos con sufijos -11 para espesores mayores de 1/2 pulgada [12 mm])				

(Continuación)

Tabla 4.9 (Continuación)
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4

Metal base					Metal de aporte de resistencia similar			Espesor del metal base, T		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas					
Especificación	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ²	Clasificación de electrodos								
	ksi	MPa	ksi	MPa				pulgadas	mm	°F	°C				
ASTM A1043/A1043M Grado 36	36–52	250–360	58 mín.	400 mín.	FCAW (Continuación)	A5.36	(Clasificación fija, acero al carbono)	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10				
Grado 50	50–65	345–450	65 mín.	450 mín.			<u>E7XT-1C</u>					Más de 3/4 hasta 1-1/2	Más de 20 hasta 38	125	50
(Continuación)							<u>E7XT-1M</u>								
							<u>E7XT-5C</u>								
							<u>E7XT-5M</u>								
							<u>E7XT-9C</u>								
							<u>E7XT-9M</u>								
							<u>E7XT-12C</u>								
							<u>E7XT-12M</u>								
							<u>E70T-4</u>								
				<u>E7XT-6</u>	Más de 1-1/2 hasta 2-1/2	Más de 38 hasta 65	175	80							
				<u>E7XT-7</u>											
				<u>E7XT-8</u>											
						<i>(Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijo T1S, T3S, T10S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para espesores superiores a 1/2 pulgadas [12 mm])</i>	Más de 2-1/2	Más de 65	225	110					

(Continuación)

Tabla 4.9 (Continuación)
Metales base y metales de aporte aprobados por el código que requieren calificación según la Sección 4

Metal base					Metal de aporte de resistencia similar			Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas			
Especificación	Punto límite elástico mínimo		Rango de tracción		Proceso	Especificación de electrodos de AWS ²	Clasificación de electrodos			Espesor del metal base, T	
	ksi	MPa	ksi	MPa				pulgadas	mm	°F	°C
ASTM A1043/A1043M	36–52	250–360	58 min.	400 min.	FCAW (Continuación)	A5.36	(Clasificación abierta, acero al carbono)	Hasta 3/4	Hasta 20	50	10
	50–65	345–450	65 min.	450 min.			E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-AX-CS3				
							(Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijo T1S, T3S, T10S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para espesores mayores de 1/2 pulgada [12 mm])				
						A5.29	E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	Más de 1-1/2 hasta 2-1/2	Más de 38 hasta 65	175	80
						A5.36	Clasificación abierta, FCAW, acero de baja aleación)	Más de 2-1/2	Más de 65	225	110
							E6XTX-AX-XXX E6XTX-XAX-XXX E7XTX-AX-XXX E7XTX-XAX-XXX				

² Las clasificaciones abiertas de A5.36 A5.36M se incluyen en el Anexo U.

Notas

1. Cuando las soldaduras vayan a recibir tratamiento para el alivio de esfuerzo, el metal de soldadura depositado no debe exceder el 0.05 % de vanadio (véase 5.8).
2. Cuando lo exige el contrato o las especificaciones del trabajo, el metal de soldadura depositado debe tener una energía CVN mínima de 20 libras fuerza-pie [27 J] a 0 °F [-20 °C] según lo determinado por el ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) de acuerdo con la Sección 4, Parte D.
3. Para ASTM A514, A517 y A709, Grado HPS 100W [HPS 690W], la temperatura máxima de precalentamiento y entre pasadas no debe exceder de 400 °F [200 °C] para espesores de hasta 1-1/2 pulgadas [38 mm] inclusive, y de 450 °F [230 °C] para espesores mayores.
4. Las propiedades del metal de aporte se han trasladado al Anexo T, excepto para AWS A5.36, ver Anexo U.
5. En lugar de la clasificación de electrodos A5 (unidades de uso en EE. UU.) de AWS se pueden utilizar electrodos A5M (Unidades SI) de AWS de la misma clasificación de electrodos.

Tabla 4.10
Calificación de soldador y operario de soldadura—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa
(véase 4.15.1)^g

Ensayo de calificación			Soldadura de placa de producción calificada			Soldadura de tubos de producción calificada					Soldadura de tubo rectangular de producción calificada				
Tipo de soldadura	Posiciones del ensayo ^b		Ranura con CJP	Ranura con PJP	Filete ^f	Junta a tope ^c		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^f	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^f
						CJP	PJP	CJP	PJP ^{e,e}		CJP ^d	PJP	CJP	PJP ^e	
P L A C A	Ranura ^b	1G 2G 3G 4G 3G + 4G	F F, H F, H, V F, OH Todo	F F, H F, H, V F, OH Todo	F, H F, H F, H, V F, H, OH Todo	F F, H F, H, V F, OH Todo	F F, H F, H, V F, OH Todo		F F, H F, H, V F, OH A	F, H F, H F, H, V F, H, OH Todo	F F, H F, H, V F, OH Todo	F F, H F, H, V F, OH Todo		F F, H F, H, V F, OH Todo	F, H F, H F, H, V F, H, OH Todo
	Filete	1F 2F 3F 4F 3F + 4F			F F, H F, H, V F, H, OH Todo					F F, H F, H, V F, H, OH Todo					F F, H F, H, V F, H, OH Todo
	Tapón		Califica la soldadura de tapón y en ranura solo para las posiciones de ensayo												

CJP—Penetración completa de la junta

PJP—Penetración parcial de la junta

^a véase Figuras 4.3 y 4.4.^b La calificación de soldadura en ranura también califica las soldaduras de tapón y en ranura para las posiciones de ensayo indicadas.^c Solo califica para conductos iguales o mayores a 24 pulgadas [600 mm] de diámetro con respaldo, ranurado del lado opuesto o ambos.^d No califica para juntas soldadas de un lado sin respaldo, o soldadas de los dos lados sin ranurado del lado opuesto.^e No califica para soldaduras con ángulos de ranura inferiores a 30° (véase 9.15.4.2).^f Ver en 4.21 y 9.20 las restricciones de ángulo diedro para juntas de placa y conexiones tubulares en T-, Y- y K-.^g La calificación de operarios de soldadura para soldadura por electroescoria (ESW) o soldadura por electrogás (EGW) solo se aplica a la posición de ensayo.

Tabla 4.11
Calificación del soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y
rango de espesor y diámetro calificados (dimensiones en pulgadas) (véase 4.15.2.1)

(1) Ensayo en placa		Cantidad de probetas ^a				Dimensiones calificadas	
Soldaduras de tapón o en ranura de producción		Doblado de cara ^b (Fig. 4.8)	Doblado de raíz ^b (Fig. 4.8)	Doblado lateral ^b (Fig. 4.9)	Macroataque	Espesor nominal de placa, conducto o tubo calificado, pulgadas	
Tipo de soldadura de ensayo (Figuras aplicables)	Espesor nominal de la placa de ensayo (T), pulgadas					Min.	Máx.
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	3/8	1	1	(Nota c)	—	1/8	3/4 máx. ^d
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	3/8 < T < 1	—	—	2	—	1/8	2T máx. ^d
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	1 o más	—	—	2	—	1/8	Sin límite ^d
Tapón (Fig. 4.26)	3/8	—	—	—	2	1/8	Sin límite

Soldaduras en filete de producción (Junta en T y oblicua)		Cantidad de probetas ^a					Dimensiones calificadas		Ángulos diedros calificados ^e	
Tipo de soldadura de ensayo (Figuras aplicables)	Espesor nominal de la placa de ensayo, T, pulgadas	Rotura de soldadura en filete	Macroataque	Doblado lateral ^b	Doblado de raíz ^b	Doblado de cara ^b	Espesor nominal de placa calificado, pulgadas		Min.	Máx.
							Min.	Máx.		
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	3/8	—	—	(Nota c)	1	1	1/8	Sin límite	30°	Sin límite
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	3/8 < T < 1	—	—	2	—	—	1/8	Sin límite	30°	Sin límite
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	≥ 1	—	—	2	—	—	1/8	Sin límite	30°	Sin límite
Opción 1 en filete (Fig. 4.25)	1/2	1	1	—	—	—	1/8	Sin límite	60°	135°
Opción 2 en filete (Fig. 4.22)	3/8	—	—	—	2	—	1/8	Sin límite	60°	135°
Opción 3 en filete (Fig. 9.21) [Conducto de cualquier diámetro]	> 1/8	—	1	—	—	—	1/8	Sin límite	30°	Sin límite

(2) Ensayos de soldaduras por electroescoria y por electrogás				
Soldaduras en ranura de placa de producción		Cantidad de probetas ^a	Espesor nominal de placa calificado, pulgadas	
Tipo de soldadura de ensayo	Espesor nominal de placa de ensayo, T, pulgadas	Doblado lateral ^b (véase Fig. 4.9)	Min.	Máx.
Ranura (Fig. 4.24)	< 1-1/2	2	1/8	T
	1-1/2	2	1/8	Sin límite

^a Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.22.1).

^b Se debe hacer un examen radiográfico de la placa de ensayo en lugar de los ensayos de doblado (véase 4.16.1.1).

^c En caso de un espesor de pared o placa de 3/8 pulgadas, se puede reemplazar el ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

^d También califica para soldar cualquier tamaño de soldadura en filete o con PJP de cualquier espesor de la placa, el conducto o la tubería.

^e Para ángulos diedros < 30°, véase 9.19.1; excepto el ensayo 6GR que no se requiere.

Tabla 4.11 (Continuación)
Calificación del soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y
rango de espesor y diámetro calificados (dimensiones en milímetros) (véase 4.15.2.1)

(1) Ensayo en placa		Cantidad de probetas ^a				Dimensiones calificadas				
Soldaduras de producción tipo ranura o tapón		Dobla- do de cara ^b (Fig. 4.8)	Dobla- do de raíz ^b (Fig. 4.8)	Dobla- do lateral ^b (Fig. 4.9)	Macroa- taque	Espesor nominal calificado de placa, conducto o tubo, mm				
Tipo de soldadura de ensayo (Figuras aplicables)	Espesor nominal de la placa de ensayo, T, mm					Mín.	Máx.			
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	10	1	1	(Nota c)	—	3	20 máx. ^d			
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	10 < T < 25	—	—	2	—	3	2T máx. ^d			
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	25 o más	—	—	2	—	3	Sin límite ^d			
Tapón (Fig. 4.26)	10	—	—	—	2	3	Sin límite			
Soldaduras en filete de producción (Junta en T y oblicua)		Cantidad de probetas ^a				Dimensiones calificadas		Ángulos diedros calificados ^e		
Tipo de soldadura de ensayo (Figuras aplicables)	Espesor nominal de la placa de ensayo, T, mm	Rotura de soldadu- ra en filete	Macroa- taque	Dobla- do lateral ^b	Dobla- do de raíz ^b	Dobla- do de cara ^b	Espesor nominal de placa calificado, mm			
							Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	10	—	—	(Nota c)	1	1	3	Sin límite	30°	Sin límite
Ranura (Fig. 4.20 o 4.21)	10 < T < 25	—	—	2	—	—	3	Sin límite	30°	Sin límite
Ranura (Fig. 4.16, 4.17, o 4.19)	≥ 25	—	—	2	—	—	3	Sin límite	30°	Sin límite
Opción 1 en filete (Fig. 4.25)	12	1	1	—	—	—	3	Sin límite	60°	135°
Opción 2 en filete (Fig. 4.22)	10	—	—	—	2	—	3	Sin límite	60°	135°
Opción 3 en filete (Fig. 9.21) [Conducto de cualquier diámetro]	> 3	—	1	—	—	—	3	Sin límite	30°	Sin límite

(2) Ensayos de soldaduras por electroescoria y por electrogás				
Soldaduras en ranura de placa de producción		Cantidad de probetas ^a	Espesor nominal de placa calificado, mm	
Tipo de soldadura de ensayo	Espesor nominal de placa de ensayo, T, mm	Doblado lateral ^b (véase Fig. 4.9)	Mín.	Máx.
Ranura (Fig. 4.24)	< 38	2	3	T
	38	2	3	Sin límite

^a Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.22.1).

^b Se debe hacer un examen radiográfico de la placa de ensayo en lugar de los ensayos de doblado (véase 4.16.1.1).

^c Para un espesor de pared o placa de 10 mm, se puede reemplazar un ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de raíz y de cara requeridos.

^d También califica para soldar cualquier tamaño de soldadura en filete o con PJP de cualquier espesor de la placa, el conducto o la tubería.

^e Para ángulos diedros < 30°, véase 9.19.1, excepto el ensayo 6GIR que no se requiere.

Tabla 4.12
Cambios de variables esenciales del desempeño del personal de soldadura
que requieren recalificación (véase 4.19)

Cambios de variables esenciales de WPQR que requieren recalificación	Personal de soldadura		
	Soldadores ^b	Operarios de soldadura ^{b, c}	Soldadores de punteado
(1) A un proceso no calificado (se considera GMAW-S como un proceso separado)	X	X	X
(2) A un electrodo SMAW con un número F (ver Tabla 4.13) superior al número F del electrodo WPQR	X		X
(3) A una posición no calificada	X	X	X
(4) A un diámetro o espesor no calificado	X	X	
(5) A un avance de la soldadura vertical no calificada (hacia arriba o hacia abajo)	X		
(6) La falta de respaldo (si se usa en el ensayo WPQR)	X	X	
(7) Para múltiples electrodos (si se usó un solo electrodo en el ensayo WPQR), pero no viceversa		X ^a	

^a No para ESW ni EGW.

^b Los soldadores calificados para SAW, GMAW, FCAW o GTAW deben ser considerados como operarios de soldadura calificados en los mismos procesos y sometidos a las limitaciones variables esenciales del soldador.

^c Una soldadura en ranura califica a una soldadura en ranura para la posición WPQR y los rangos de espesor como se muestra en la Tabla 4.11.

Notas:

1. Una "X" indica la aplicabilidad para el personal de soldadura, un área sombreada indica no aplicabilidad.

2. WPQR = Registro de calificación de desempeño de la soldadura.

Tabla 4.13
Grupos de clasificación de electrodos
(véase Tabla 4.12)

Designación del grupo	Clasificación del electrodo de AWS
F4	EXX15, EXX16, EXX18, EXX48, EXX15-X, EXX16-X, EXX18-X
F3	EXX10, EXX11, EXX10-X, EXX11-X
F2	EXX12, EXX13, EXX14, EXX13-X
F1	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28, EXX20-X, EXX27-X

Nota: Las letras "XX" usadas en la designación de la clasificación en esta tabla significan los varios niveles de resistencia (60 [415], 70 [485], 80 [550], 90 [620], 100 [690], 110 [760] y 120 [830]) de electrodos.

Tabla 4.14
Requisitos del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) (véase 4.28.1)

Proceso de soldadura ^a	Ubicación del ensayo	Cantidad de probetas ^b	Temperatura de ensayo °F/°C	Tamaño de la probeta ^d mm	Energía mínima absorbida promedio ^e libra fuerza-pie [J]	Energía mínima absorbida individual ^e libra fuerza-pie [J]	Porcentaje promedio del área de cizallamiento, %	Expansión lateral mínima promedio, mils/mm
SMAW	Metal de soldadura	3	(Nota c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Nota f)	(Nota f)
GTAW								
GMAW	Línea de fusión	3	(Nota c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Nota f)	(Nota f)
SAW	+1 mm							
ESW								
EGW								
FCAW-S	Línea de fusión	3	(Nota c)	10 × 10	20 [27]	15 [20]	(Nota f)	(Nota f)
FCAW-G	+5 mm							

^a Una WPS que combina FCAW-S con otro proceso de soldadura debe ser ensayado específicamente para garantizar que se cumplan los criterios de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) en la interfaz entre los depósitos de soldadura.

^b La cantidad alternativa de probetas permitida por ubicación de ensayo es de cinco. Los valores más altos y más bajos se deben descartar para reducir parte de la dispersión asociada normalmente con el ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) de soldaduras y HAZ.

^c La temperatura del ensayo debe estar especificada en los documentos del contrato o en las especificaciones. Cuando se requieran probetas de tamaño reducido y el ancho de la probeta en la entalla sea inferior al 80% del espesor del metal base, la temperatura del ensayo debe reducirse según la Tabla 4.15.

^d Las probetas de gran tamaño se deben utilizar cuando el material de ensayo sea de 7/16 pulgadas [11 mm] o superior. Las probetas de tamaño reducido se deben utilizar cuando el espesor del material de ensayo sea de 7/16 pulgadas [11 mm] o inferior, o cuando la geometría del elemento soldado prohíba la eliminación de las muestras de gran tamaño.

^e Aplicable a soldaduras entre materiales de metal base con un límite elástico mínimo especificado (SMYS) de 50 ksi [345 MPa] o menor. Los criterios de aceptación para soldaduras entre materiales que superan una SYMS de 50 ksi [345 MPa] deben ser especificados en los documentos del contrato o las especificaciones.

^f Los valores porcentuales de cizallamiento y de expansión lateral deben ser registrados cuando se especifique en los documentos del contrato o en las especificaciones.

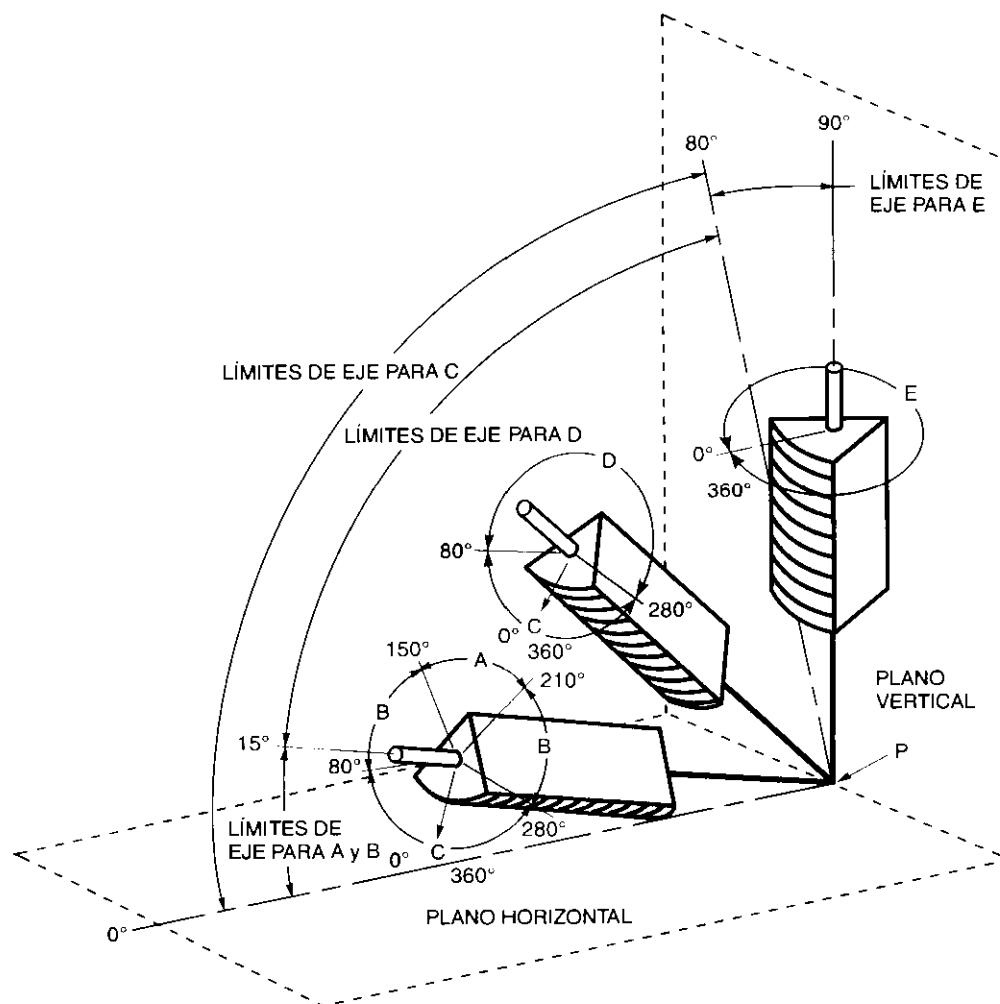
Tabla 4.15
Reducción de la temperatura del ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) (véase 4.27.5 y 4.27.7)
Para probetas de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) de tamaño reducido en que el ancho transversal de la entalla es inferior al 80% del espesor del metal base.

Tamaño de la probeta mm	Reducción de la temperatura de ensayo por debajo de la temperatura de ensayo especificada	
	°F	°C
10 × 10	0	0
10 × 9	0	0
10 × 8	0	0
10 × 7,5	5	3
10 × 7	8	5
10 × 6,7	10	6
10 × 6	15	8
10 × 5	20	11
10 × 4	30	17
10 × 3,3	35	19
10 × 3	40	22
10 × 2,5	50	28

Ejemplo: Si las especificaciones o los planos de diseño indican que los ensayos CVN se deben realizar a 32 °F [0 °C] y se utilizan probetas de tamaño reducido de 10 mm × 5 mm, la temperatura real del ensayo debería ser de 12 °F [11 °C].

Nota: La reducción en los valores mínimos de energía aceptada para las probetas de tamaño reducido se debe determinar de acuerdo con ASTM A370a-97, Tabla 9.

Tabla de posiciones de soldaduras en ranura			
Posición	Referencia del diagrama	Inclinación del eje	Rotación de la cara
Plana	A	0° a 15°	150° a 210°
Horizontal	B	0° a 15°	80° a 150° 210° a 280°
Sobrecabeza	C	0° a 80°	0° a 80° 280° a 360°
Vertical	D	15° a 80°	80° a 280°
	E	80° a 90°	0° a 360°



Notas:

1. El plano de referencia horizontal debe considerarse siempre extendido por debajo de la soldadura objeto de consideración.
2. La inclinación del eje debe medirse desde el plano de referencia horizontal hacia el plano de referencia vertical.
3. El ángulo de rotación de la cara de la soldadura debe determinarse mediante una línea perpendicular a la cara teórica de la soldadura que pase a través del eje de la soldadura. La posición de referencia (0°) de la rotación de la cara siempre señala en el sentido opuesto al aumento del ángulo del eje. Al mirar el punto P, el ángulo de rotación de la cara de la soldadura debe medirse en el sentido horario desde la posición de referencia (0°).

Figura 4.1—Posiciones de soldaduras en ranura (véase 4.3.4)

Tabla de posiciones de soldaduras en filete			
Posición	Referencia del diagrama	Inclinación del eje	Rotación de la cara
Plana	A	0° a 15°	150° a 210°
Horizontal	B	0° a 15°	125° a 150° 210° a 235°
Sobrecabeza	C	0° a 80°	0° a 125° 235° a 360°
Vertical	D	15° a 80°	125° a 235°
	E	80° a 90°	0° a 360°

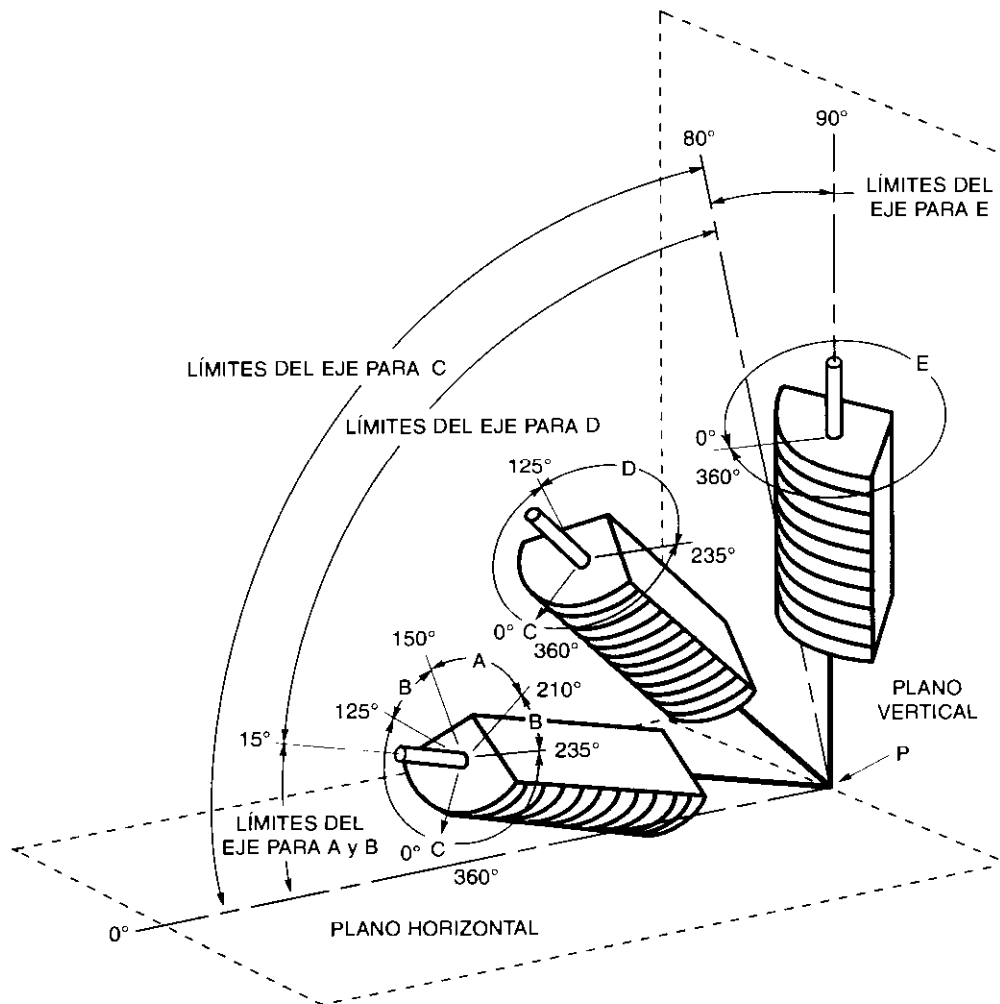
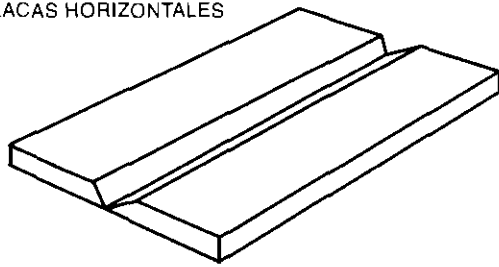
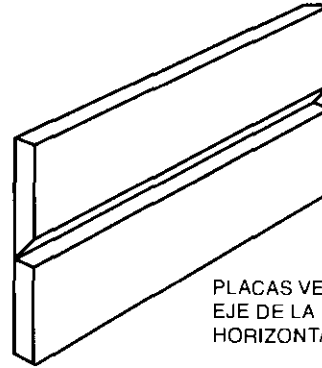
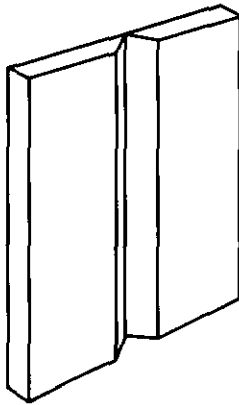
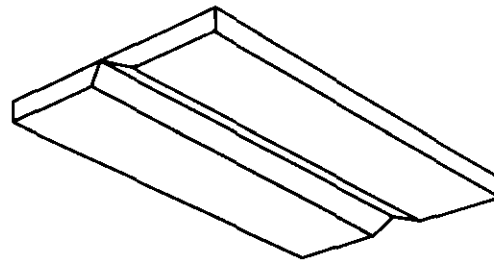


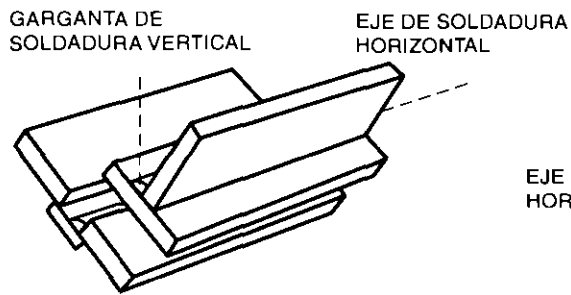
Figura 4.2—Posiciones de soldaduras en filete (véase 4.3.4)

PLACAS HORIZONTALES

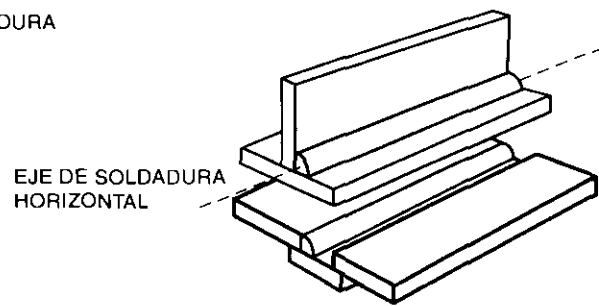
**(A) POSICIÓN 1G PLANA DE PRUEBA DE SOLDADURA**PLACAS VERTICALES;
EJE DE LA SOLDADURA
HORIZONTAL**(B) POSICIÓN 2G HORIZONTAL DE
PRUEBA DE SOLDADURA**PLACAS VERTICALES;
EJE DE LA SOLDADURA
VERTICAL**(C) POSICIÓN 3G VERTICAL DE PRUEBA DE SOLDADURA**

PLACAS HORIZONTALES

**(D) POSICIÓN 4G SOBRE CABEZA DE
PRUEBA DE SOLDADURA****Figura 4.3—Posiciones de placas de ensayo para soldaduras en ranura (véase 4.3.4)**

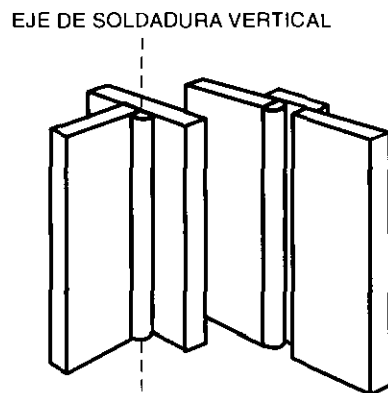


(A) POSICIÓN PLANA 1F DE PRUEBA DE SOLDADURA

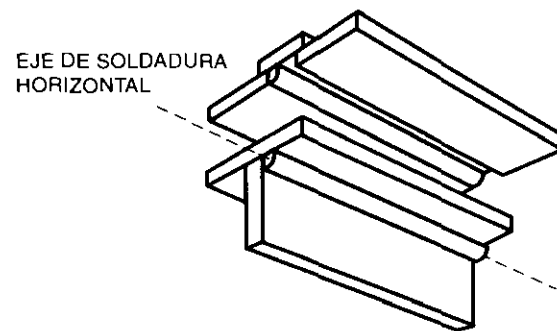


Nota: una placa debe estar horizontal.

(B) POSICIÓN PLANA 2F DE PRUEBA DE SOLDADURA



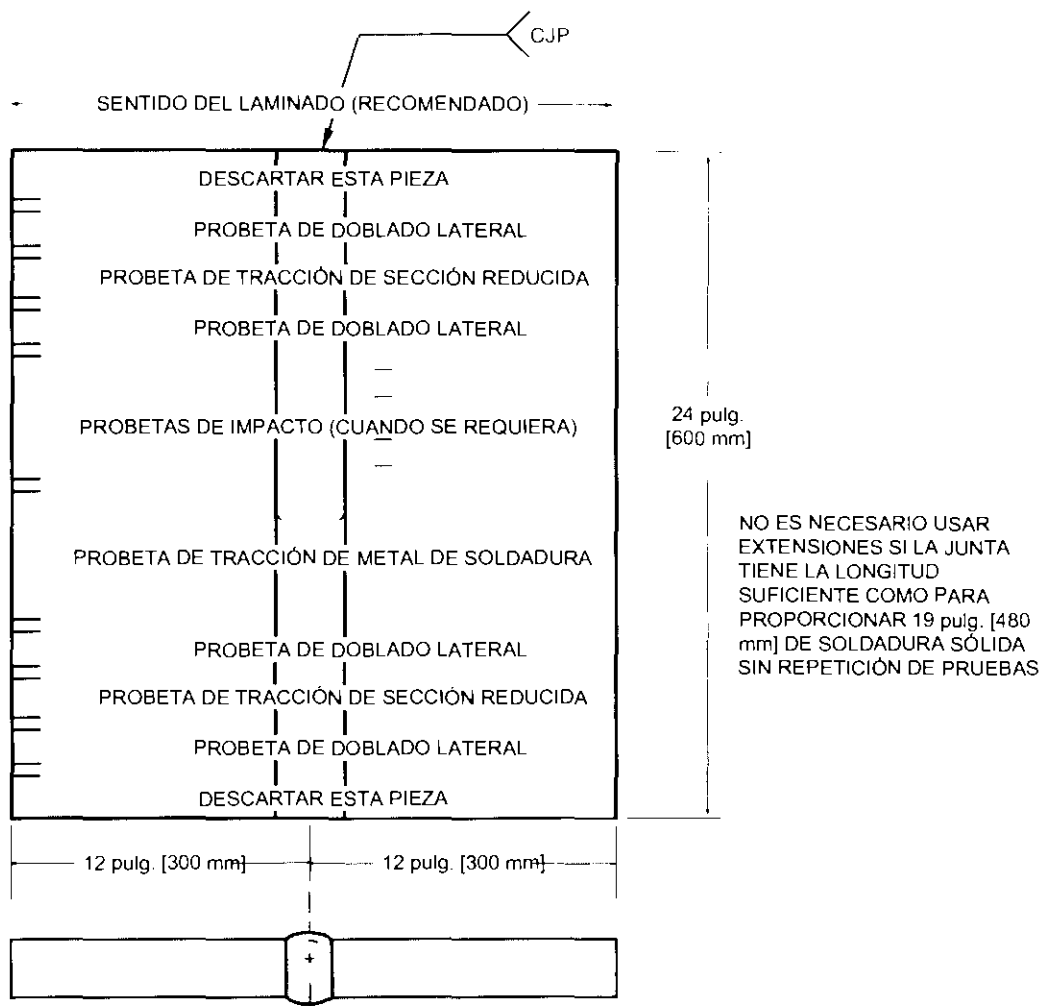
(C) POSICIÓN VERTICAL 3F DE PRUEBA DE SOLDADURA



Nota: una placa debe estar horizontal.

(D) POSICIÓN SOBRE CABEZA 4F DE PRUEBA DE SOLDADURA

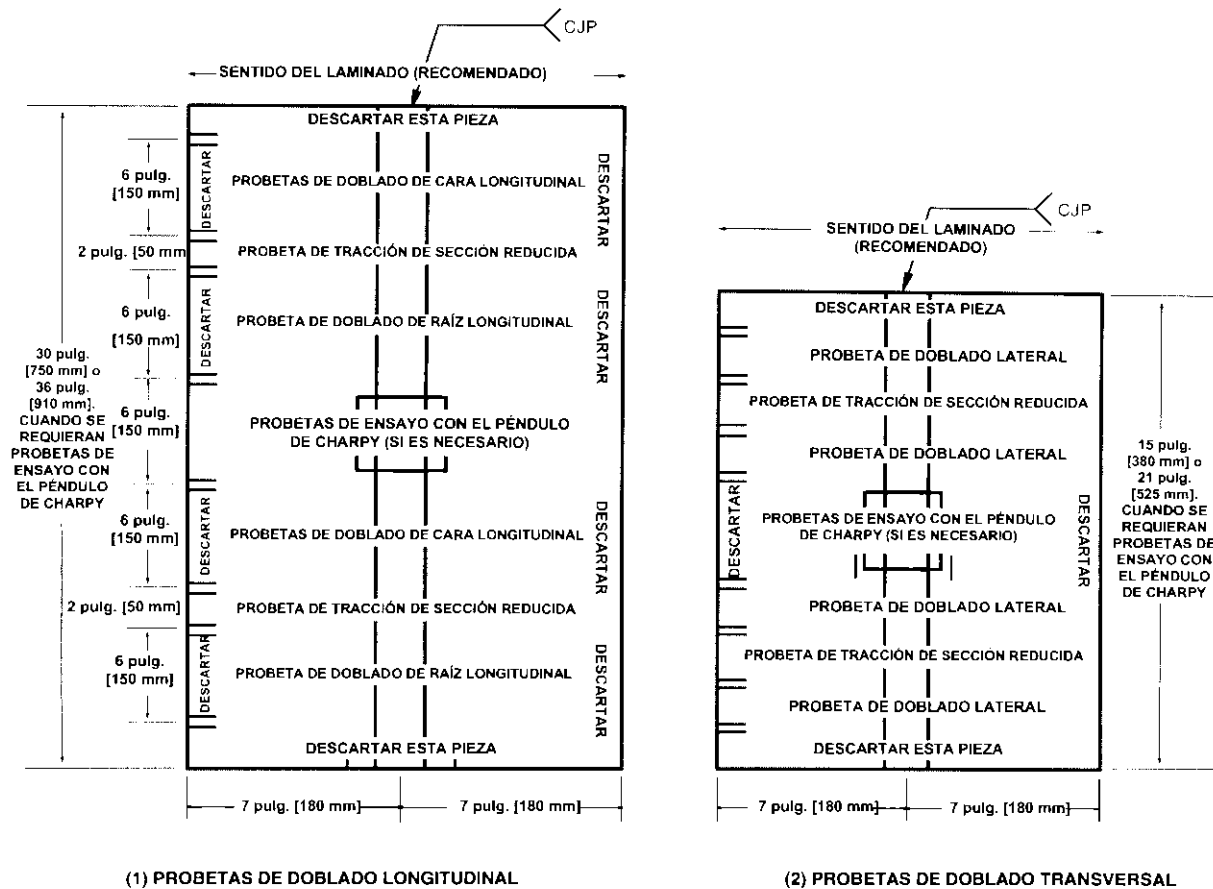
Figura 4.4—Posiciones de placas de ensayo para soldaduras en filete (véase 4.3.4)



Notas:

1. La configuración de ranura que se muestra es solo para ilustración. La forma de la ranura ensayada debe cumplir con la forma de la ranura de producción que esté siendo calificada.
2. Cuando se requieran probetas de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN), vea los requisitos en la Sección 4, Parte D.
3. Todas las dimensiones son mínimas

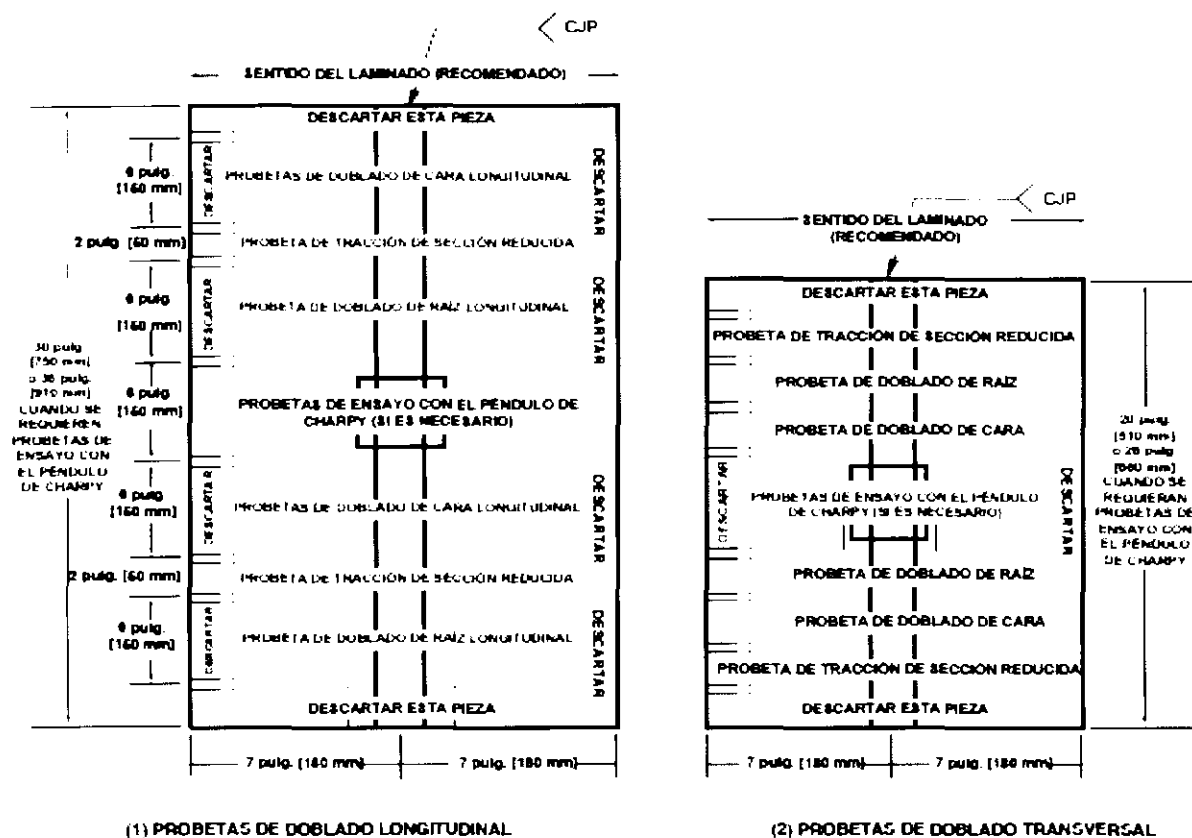
**Figura 4.5—Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas—
ESW y EGW—Calificación de WPS (véase 4.9)**



Notas:

1. La configuración de ranura que se muestra es solo para ilustración. La forma de la ranura ensayada debe cumplir con la forma de la ranura de producción que esté siendo calificada.
2. Cuando se requieran ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), se deben retirar las probetas de sus ubicaciones como se muestra en la Figura 4.28.
3. Todas las dimensiones son mínimas.

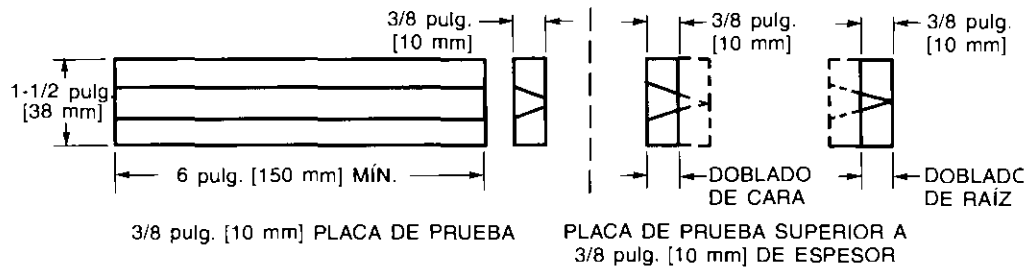
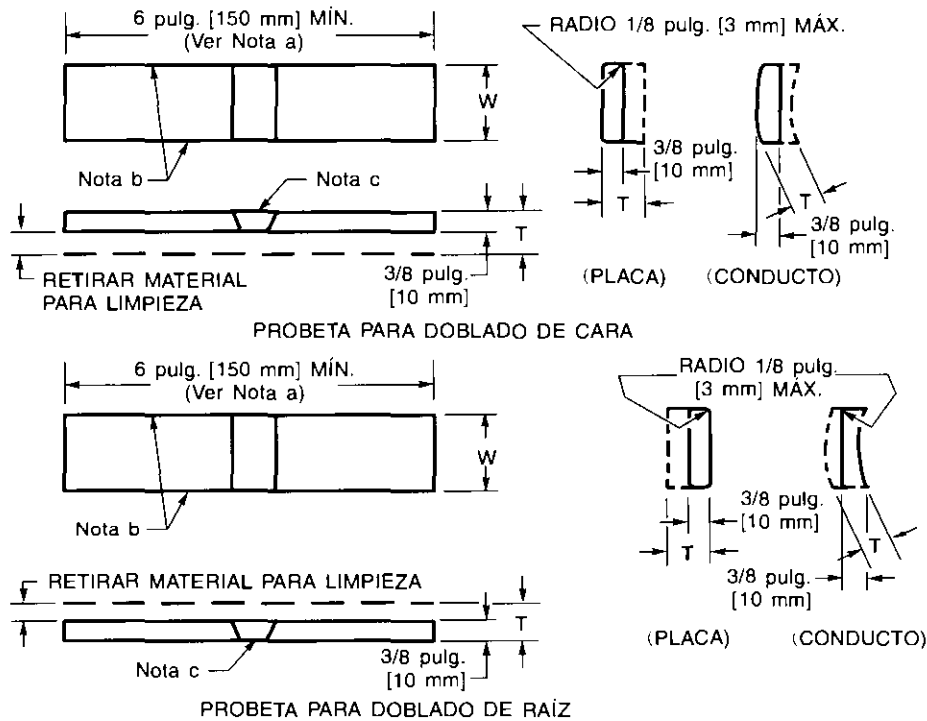
Figura 4.6—Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas
De más de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor—Calificación de WPS (véase 4.9)



Notas:

1. La configuración de ranura que se muestra es solo para ilustración. La forma de la ranura ensayada debe cumplir con la forma de la ranura de producción que esté siendo calificada.
2. Cuando se requieran ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), se deben retirar las probetas de sus ubicaciones como se muestra en la Figura 4.28.
3. Todas las dimensiones son mínimas.
4. En el caso de las placas de 3/8 pulgadas [10 mm] se puede reemplazar un ensayo de doblado lateral por cada una de las pruebas de doblado de cara y raíz requeridas. La Figura 4.6(2) muestra la longitud de placa y ubicación de probetas.

Figura 4.7—Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas 3/8 pulgadas [10 mm] y menos de espesor —Calificación de WPS (véase 4.9)

**(1) PROBETA PARA PRUEBA DE DOBLADO LONGITUDINAL****(2) PROBETA PARA PRUEBA DE DOBLADO TRANSVERSAL**

Dimensiones	
Conjunto soldado de prueba	Ancho de probeta para prueba, W pulg. [mm]
Placa	1-1/2 [40]
Conducto o tubo de prueba Ø 4 pulg. [100 mm] de diámetro	1 [25]
Conducto o tubo de prueba > 4 pulg. [100 mm] de diámetro	1-1/2 [40]

^a Puede ser necesaria una probeta más larga cuando se utilice un accesorio de doblado tipo envolvente o cuando se ensaye acero con un límite elástico de 90 ksi [620 MPa] o más.

^b Estos bordes pueden ser cortados por corte térmico y pueden ser maquinados o no.

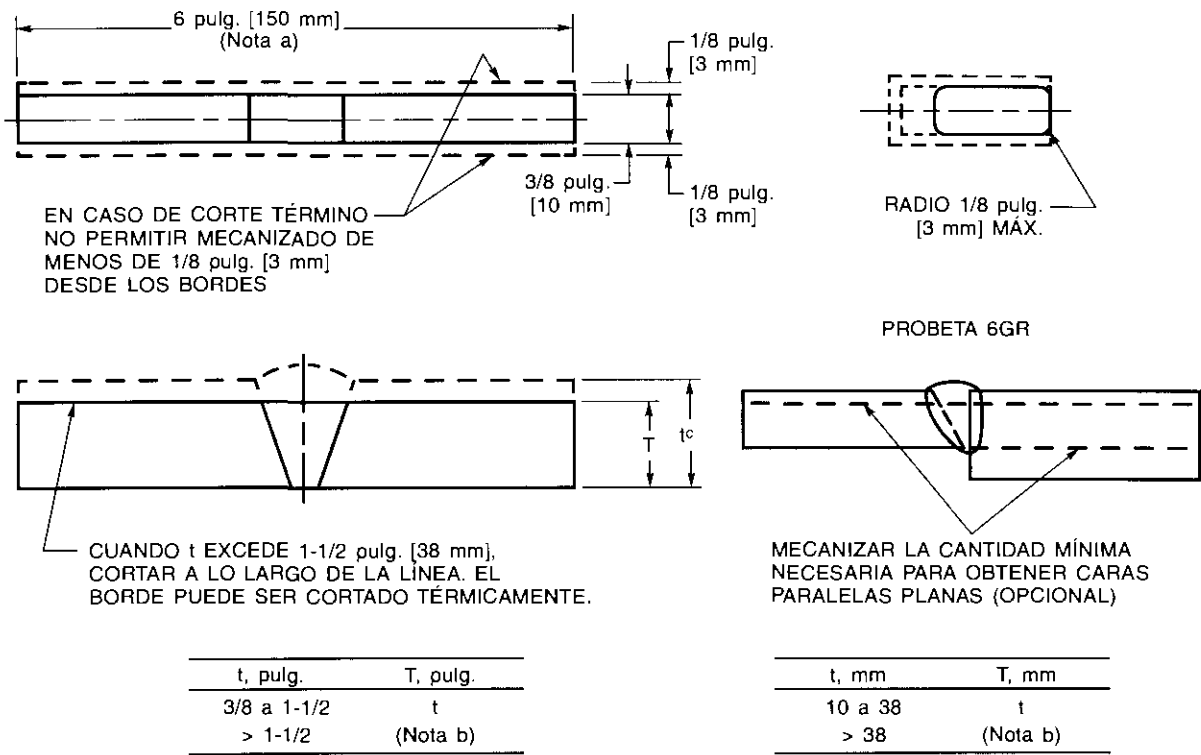
^c El refuerzo de la soldadura y el respaldo, si existen, deben eliminarse al ras con la superficie de la probeta (ver 5.233.1 y 5.233.2). Si se utiliza un respaldo rebajado, esta superficie puede ser maquinada a una profundidad que no exceda la profundidad del rebaje para retirar el respaldo; en ese caso, el espesor de la probeta terminada debe ser el especificado anteriormente. Las superficies cortadas deben estar lisas y paralelas.

Notas.

1 T = espesor de placa o conducto.

2 Cuando el espesor de la placa de ensayo sea menor de 3/8 pulgadas [10 mm], el espesor nominal debe ser utilizado para los doblados de cara y de raíz.

Figura 4.8—Probetas de doblado de cara y raíz (véase 4.9.3.1)

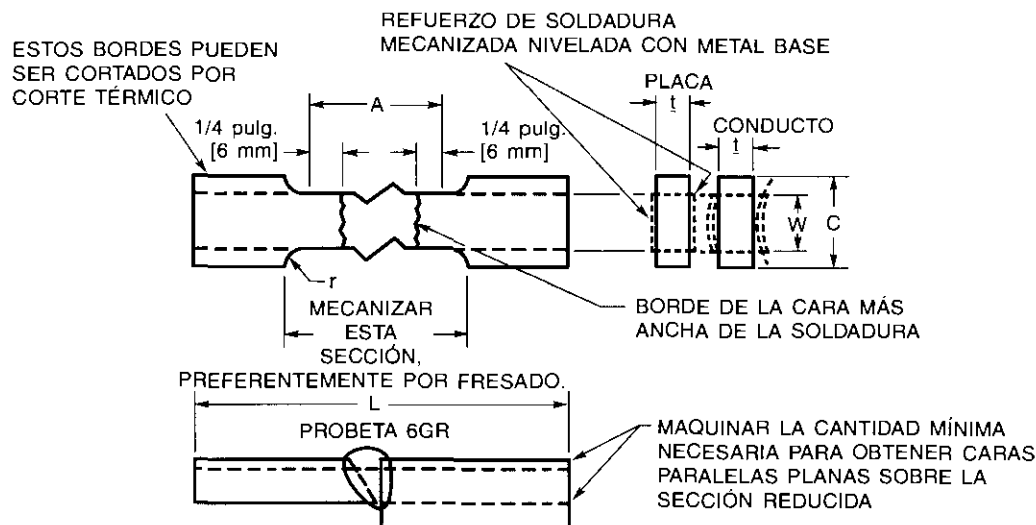


^a Puede ser necesaria una probeta más larga cuando se utilice un accesorio de doblado tipo envolvente o cuando se ensaye acero con un límite elástico de 90 ksi [620 MPa] o más.

^b Para placas mayores de 1-1/2 pulgadas [38 mm] de espesor, corte la probeta en tiras aproximadamente iguales con T entre 3/4 pulgadas [20 mm] y 1-1/2 pulgadas [38 mm] y haga un ensayo de cada tira.

^c t = espesor de placa o conducto.

Figura 4.9—Probetas de doblado lateral (véase 4.9.3.1)



Dimensiones en pulgadas [mm]				
Espesor nominal de placa de ensayo, T_p			Conducto de prueba	
$T_p \leq 1$ pulgadas [25 mm]	1 pulgada [25 mm] < $T_p < 1\frac{1}{2}$ pulgadas [38 mm]	$T_p \geq 1\frac{1}{2}$ pulgadas [38 mm]	6 pulgadas [150 mm] y 8 pulgadas [200 mm] de diámetro o conducto de mayor tamaño	
Cara de la soldadura más ancha + 1/2 pulgada [12 mm], 2-1/4 pulgada [60 mm] mín.			2 pulgadas [50 mm] y 3 pulgadas [75 mm] Diámetro	
Según los requisitos del equipo de prueba			Cara de la soldadura más ancha + 1/2 pulgada [12 mm], 2-1/4 pulgada [60 mm] mín. Según los requisitos del equipo de prueba	
W: Ancho de sección reducida ^{b, c}	3/4 pulgada [20 mm] mín.	3/4 pulgada [20 mm] mín.	3/4 pulgada [20 mm] mín.	3/4 pulgada [20 mm] mín.
C: Ancho de la empuñadura ^{c, d}	W + 1/2 pulgada [12 mm] mín.	W + 1/2 pulgada [12 mm] mín.	W + 1/2 pulgada [12 mm] mín.	W + 1/2 pulgada [12 mm] mín.
t: espesor de probeta ^{e, f}	T_p	T_p	T_p/n (Nota f)	Máximo posible con las caras planas paralelas en la longitud A
r: radio de fillete, mín.	1/2 pulgada [12 mm]	1/2 pulgada [12 mm]	1/2 pulgada [12 mm]	1 pulgada [25 mm] 1 pulgada [25 mm]

^a Es deseable, si es posible, hacer la longitud de la sección de la empuñadura lo suficientemente grande para permitir que la probeta se extienda en las empuñaduras una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las empuñaduras.

^b Los extremos de la sección reducida no deben diferir en ancho en más de 0,004 pulgadas [0,1 mm]. Además, puede haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos al centro, pero el ancho de cualquier extremo no deberá ser más de 0,015 pulgadas [0,38 mm] mayor que el ancho en el centro.

^c De ser necesario, se pueden utilizar anchos menores (W y C). En tales casos, el ancho de la sección reducida debería ser tan grande como lo permita el ancho del material que se está examinando. Si el ancho del material es menor que W, los lados pueden ser paralelos en toda la longitud de la probeta.

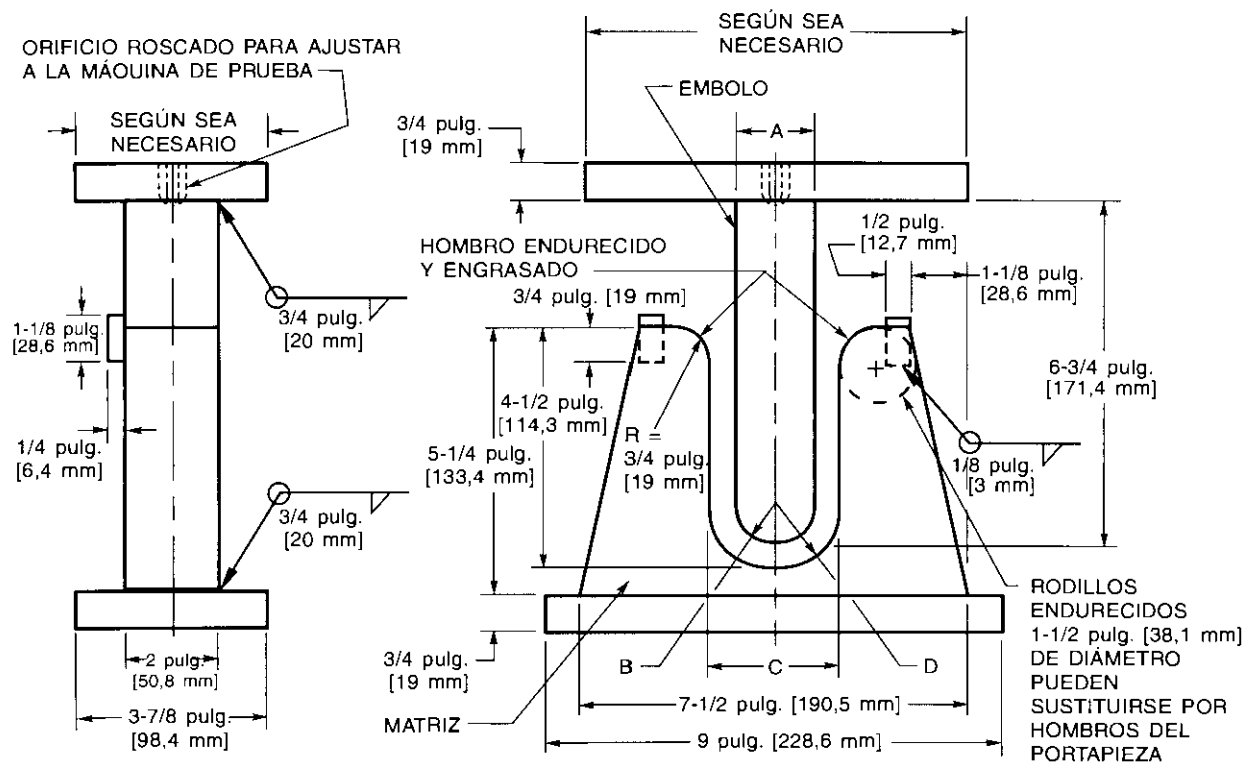
^d En el caso de probetas de tipo placa estándar, los extremos de la probeta deben ser simétricos con la línea central de la sección reducida dentro de 1/4 pulgadas [6 mm].

^e La dimensión t es el espesor de la probeta conforme a las especificaciones del material aplicables. El espesor nominal mínimo de las probetas de 1-1/2 pulgadas [38 mm] de ancho debe ser de 3/16 pulgadas [5 mm], salvo por lo permitido por la especificación de producto.

^f En el caso de placas de más de 1-1/2 pulgadas [38 mm] de ancho, se pueden cortar las probetas en tiras aproximadamente iguales. Cada tira debe ser de al menos 3/4 pulgadas [20 mm] de espesor. Los resultados de cada tira deben cumplir con los requisitos mínimos.

Nota: Dada la capacidad limitada de algunas máquinas de ensayo de tracción, es posible utilizar probetas de dimensiones alternativas para los aceros de la Tabla 4.9 cuando lo apruebe el ingeniero.

Figura 4.10 Probetas de tracción de sección reducida (véase 4.9.3.4)



	A	B	C	D
Límite elástico del metal base especificado o real	pulgadas [mm]	pulgadas [mm]	pulgadas [mm]	pulgadas [mm]
50 ksi [345 MPa] y menor	1-1/2 [38,1]	3/4 [19,0]	2-3/8 [60,3]	1-3/16 [30,2]
mayor de 50 ksi [345 MPa] hasta 90 ksi [620 MPa]	2 [50,8]	1 [25,4]	2-7/8 [73,0]	1-7/16 [36,6]
90 ksi [620 MPa] y mayor	2-1/2 [63,5]	1-1/4 [31,8]	3-3/8 [85,7]	1-11/16 [42,9]

Nota: El émbolo y las superficies internas de la matriz deben estar acabados a máquina.

Figura 4.11—Plantilla guía para ensayo de doblado guiado (véase 4.9.3.1)

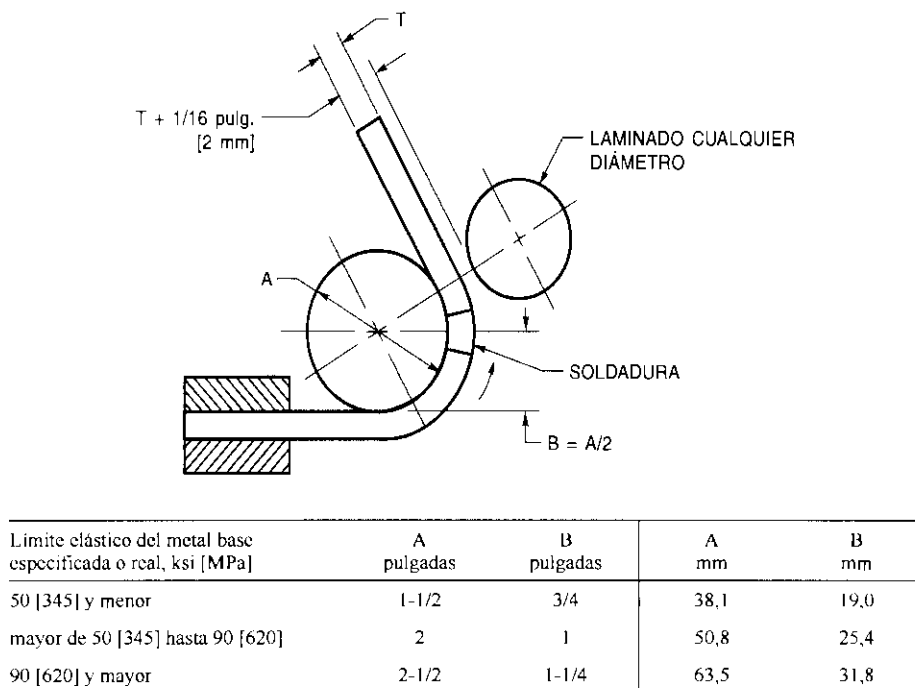
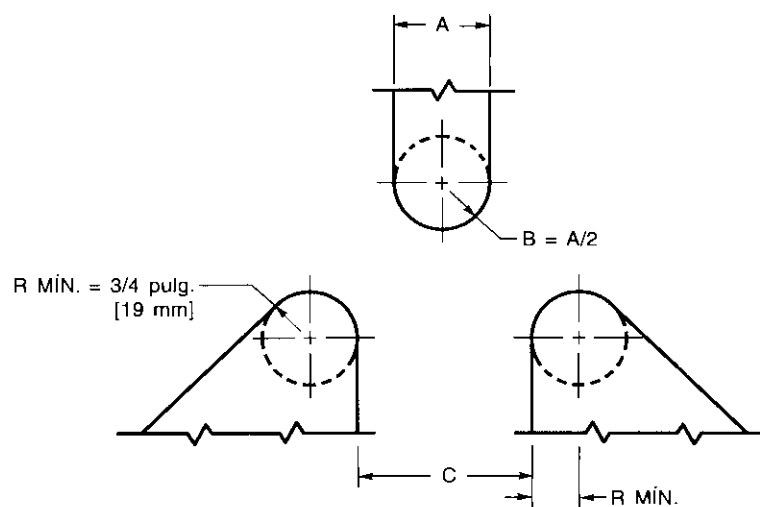


Figura 4.12—Plantilla guía para ensayo de doblado guiado envolvente alternativo (véase 4.9.3.1)



Limite elástico del metal base especificado o real, ksi [MPa]	A pulgadas	B pulgadas	C pulgadas	A mm	B mm	C mm
50 [345] y menor	1-1/2	3/4	2-3/8	38,1	19,0	60,3
mayor de 50 [345] hasta 90 [620]	2	1	2-7/8	50,8	25,4	73,0
90 [620] y mayor	2-1/2	1-1/4	3-3/8	63,5	31,8	85,7

Figura 4.13—Plantilla guía para ensayo de doblado guiado alternativo con rodillos para la expulsión de la probeta por la parte inferior (véase 4.9.3.1)

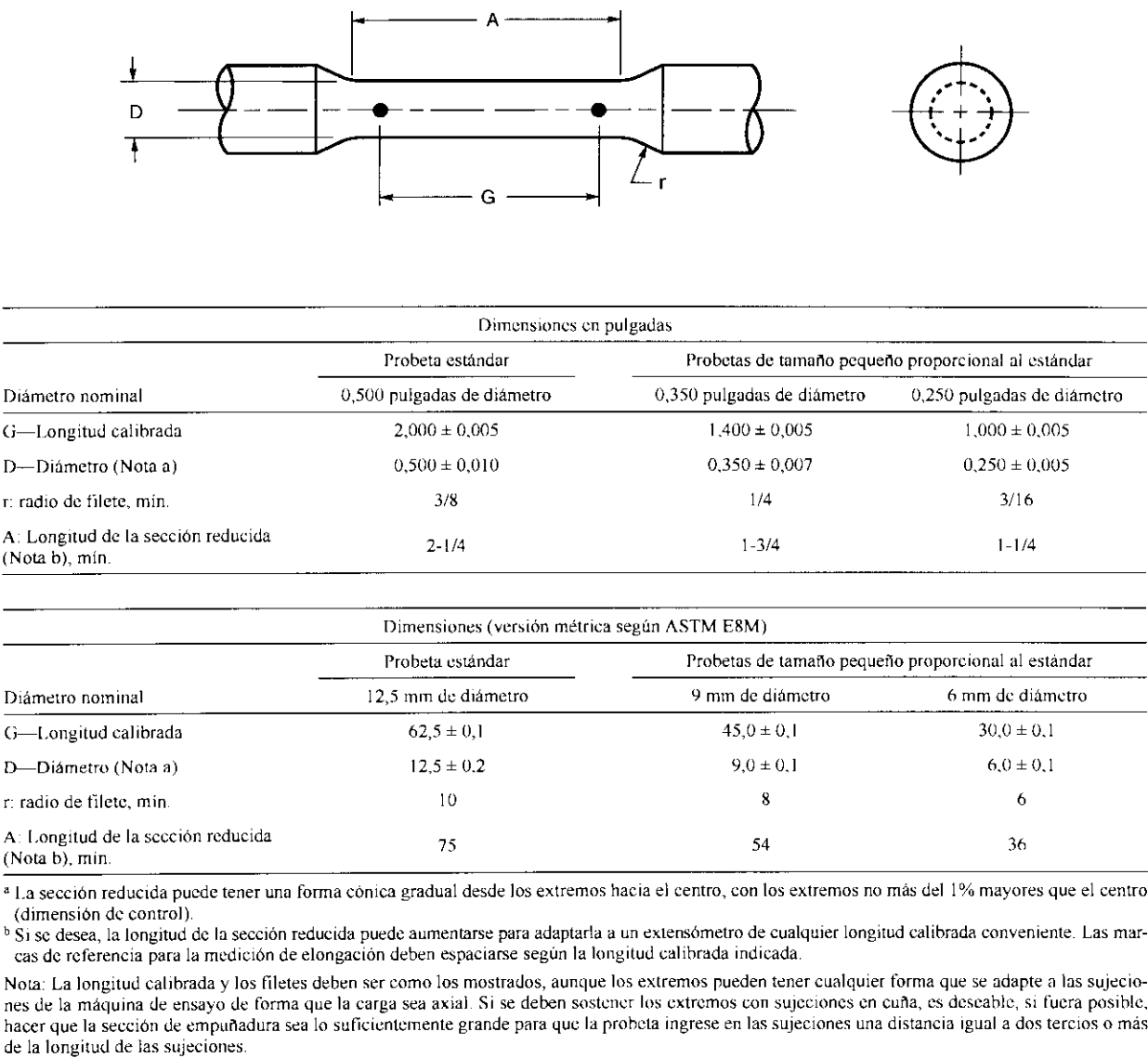
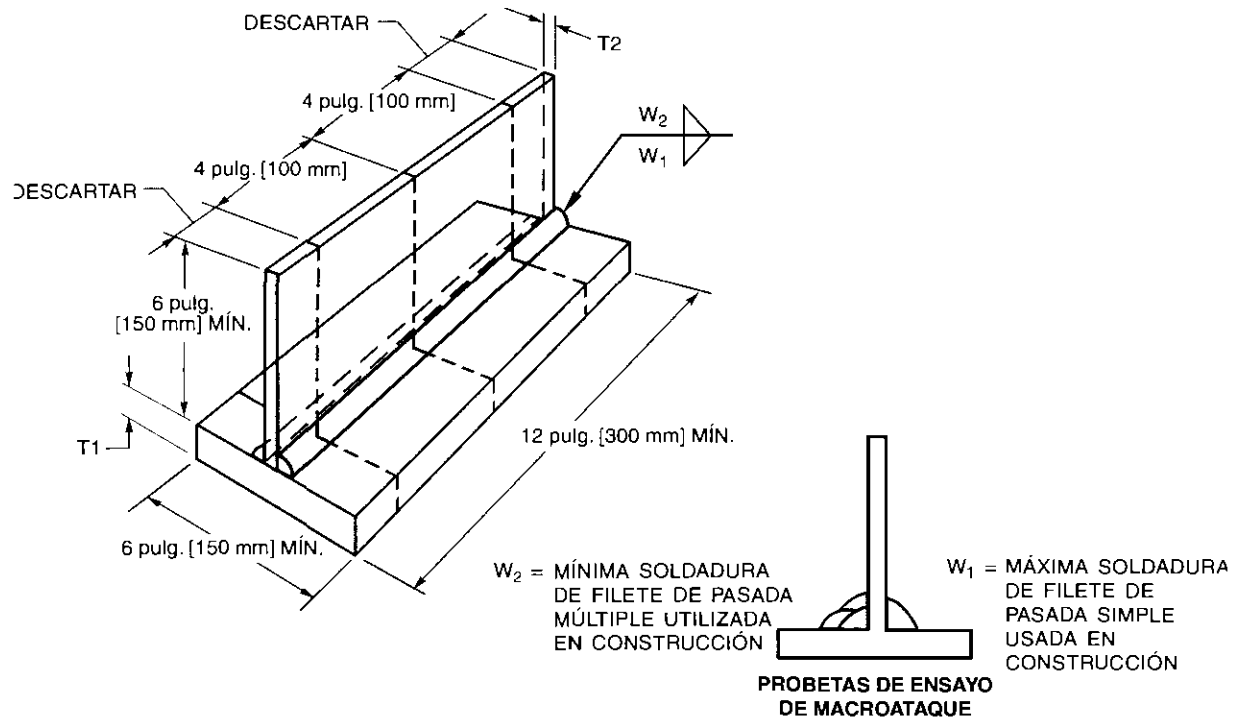


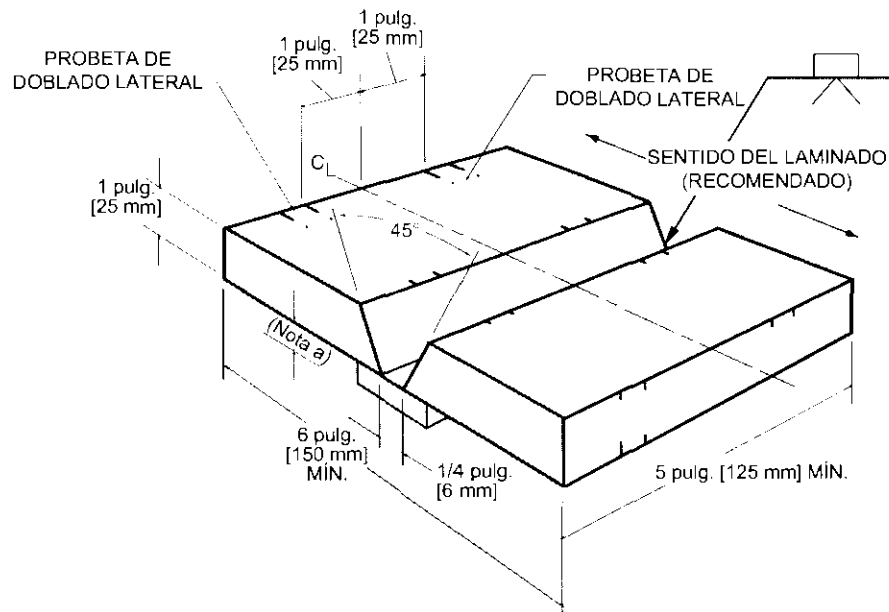
Figura 4.14—Probetas de tracción de metal de soldadura (véase 4.9.3.6)



PULGADAS			MILÍMETROS		
tamaño de la soldadura	T1 mín.	T2 mín.	tamaño de la soldadura	T1 mín.	T2 mín.
1/8	1/4	3/16	3	6	5
3/16	1/2	3/16	5	12	5
1/4	3/4	1/4	6	20	6
5/16	1	5/16	8	25	8
3/8	1	3/8	10	25	10
1/2	1	1/2	12	25	12
5/8	1	5/8	16	25	16
3/4	1	3/4	20	25	20
> 3/4	1	1	> 20	25	25

Nota: Cuando el espesor máximo de placa utilizada en producción sea menor que el valor indicado anteriormente, se puede reemplazar el espesor máximo de las piezas de producción por T1 y T2.

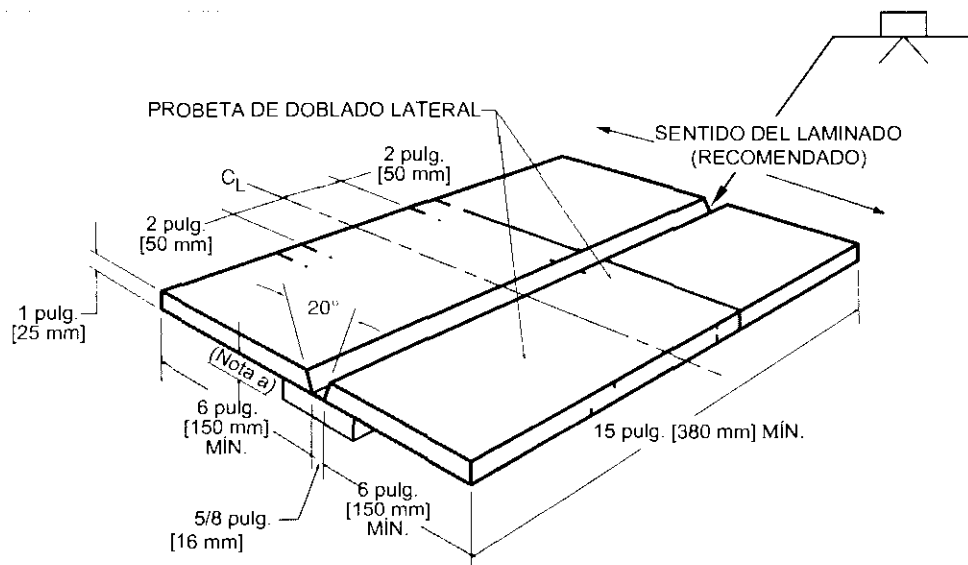
Figura 4.15—Ensayos de solidez de la soldadura en filete para calificación de la WPS (véase 4.12.2)



^a El espesor del respaldo debe ser de 1/4 pulgadas [6 mm] mín. hasta 3/8 pulgadas [10 mm] máx.; el ancho del respaldo debe ser de 3 pulgadas [75 mm] mín. cuando no se retira para RT, de lo contrario debe ser de 1 pulgadas [25 mm] mín.

Nota: Cuando se utiliza RT no debe haber soldaduras de punteado en el área de ensayo.

Figura 4.16—Placa de ensayo para espesor ilimitado—Calificación del soldador y ensayos de verificación de consumibles de la soldadura en filete (véase 4.12.3.2 y 4.20.1)



^a El espesor del respaldo debe ser 3/8 pulgadas [10 mm] mín. hasta 1/2 pulgadas [12 mm] máx.; el ancho del respaldo debe ser 3 pulgadas [75 mm] mín. cuando no se retira para RT, de lo contrario 1-1/2 pulgadas [40 mm] mín.

Notas:

1. Cuando se utiliza RT no deben haber soldaduras de punteado en el área de ensayo.
2. La configuración de junta de una WPS calificada puede ser utilizada en lugar de la configuración de ranura mostrada acá.

Figura 4.17—Placa de ensayo para espesor ilimitado—Calificación del operario de soldadura y Ensayos de verificación de consumibles de la soldadura en filete (véase 4.12.3.2 y 4.20.2.1)

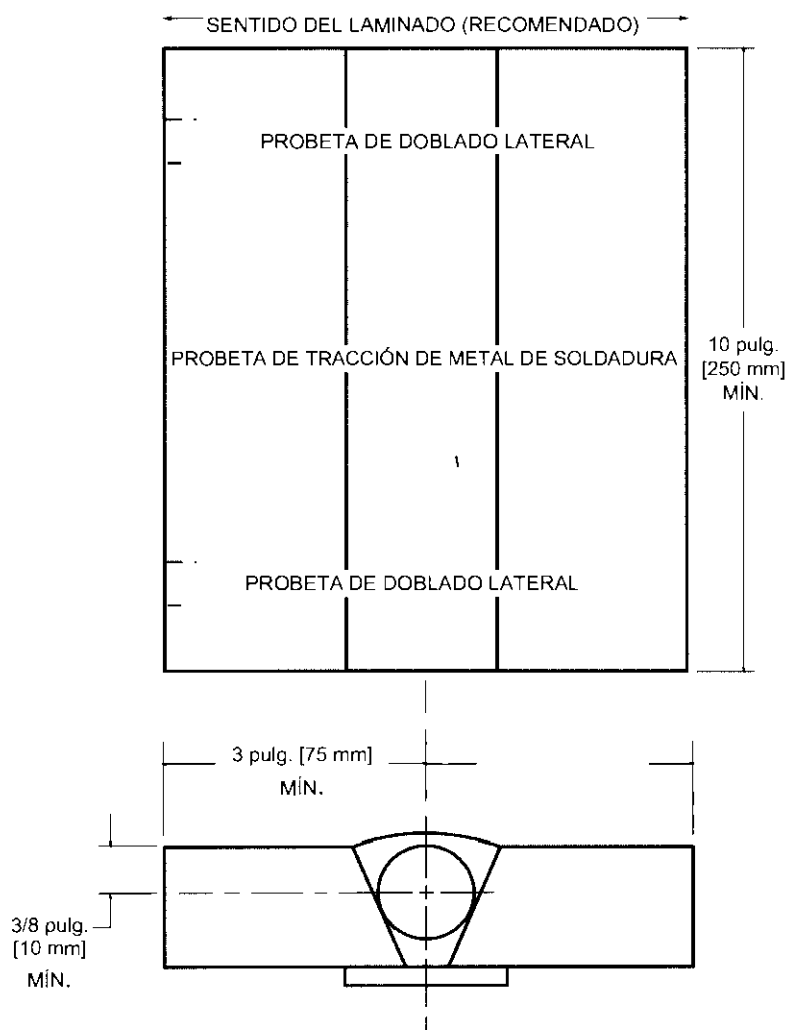
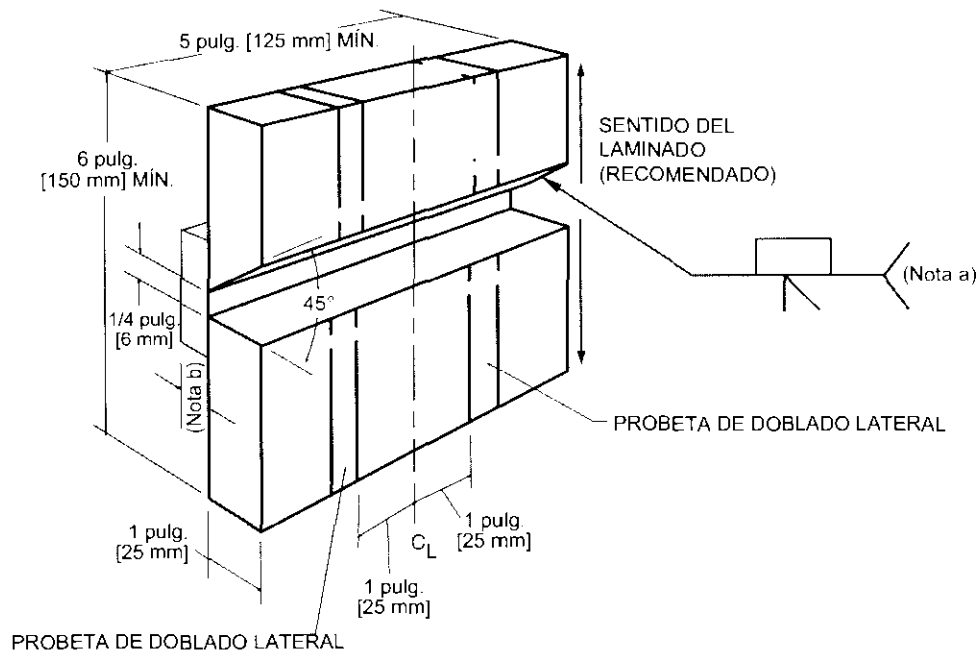


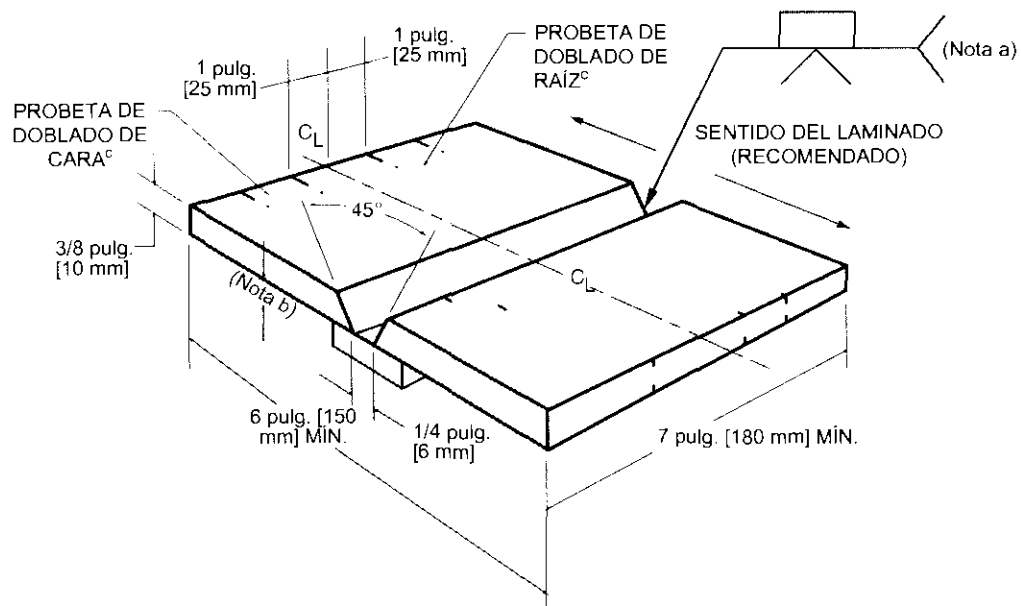
Figura 4.18—Ubicación de la probeta en placa de ensayo soldada de 1 pulgada [25 mm] de espesor—
Verificación de consumibles para calificación de WPS de soldaduras en filete (véase 4.12.3)



^a Cuando se utiliza RT no deben haber soldaduras de punteado en el área de ensayo.

^b El espesor del respaldo debe ser de 1/4 pulgada [6 mm] mín. hasta 3/8 pulgada [10 mm] máx.; el ancho del respaldo debe ser de 3 pulgadas [75 mm] mín. cuando no se retira para RT, de lo contrario 1 pulgada [25 mm] mín.

**Figura 4.19—Placa de ensayo opcional para espesor ilimitado—
Posición horizontal—Calificación del soldador (véase 4.20.1)**

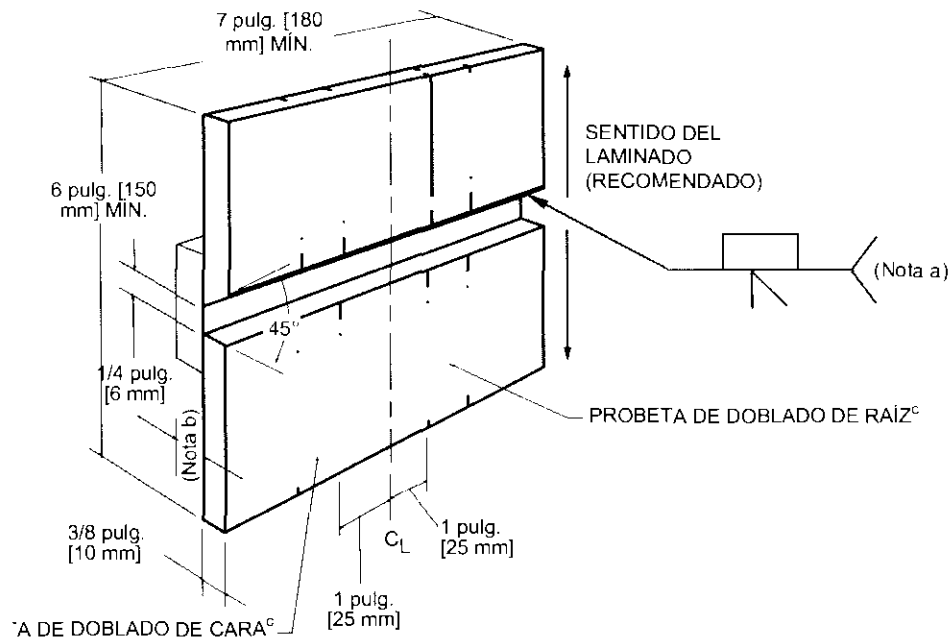


^a Cuando se utiliza RT no deben haber soldaduras de punteado en el área de ensayo.

^b El espesor del respaldo debe ser de 1/4 pulgada [6 mm] mín. hasta 3/8 pulgada [10 mm] máx.; el ancho del respaldo debe ser de 3 pulgadas [75 mm] mín. cuando no se retira para RT, de lo contrario 1 pulgada [25 mm] mín.

^c En el caso de las placas de 3/8 pulgada [10 mm] se puede reemplazar un ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

**Figura 4.20—Placa de ensayo para espesor limitado—Todas las posiciones—
Calificación del soldador (véase 4.20.1)**

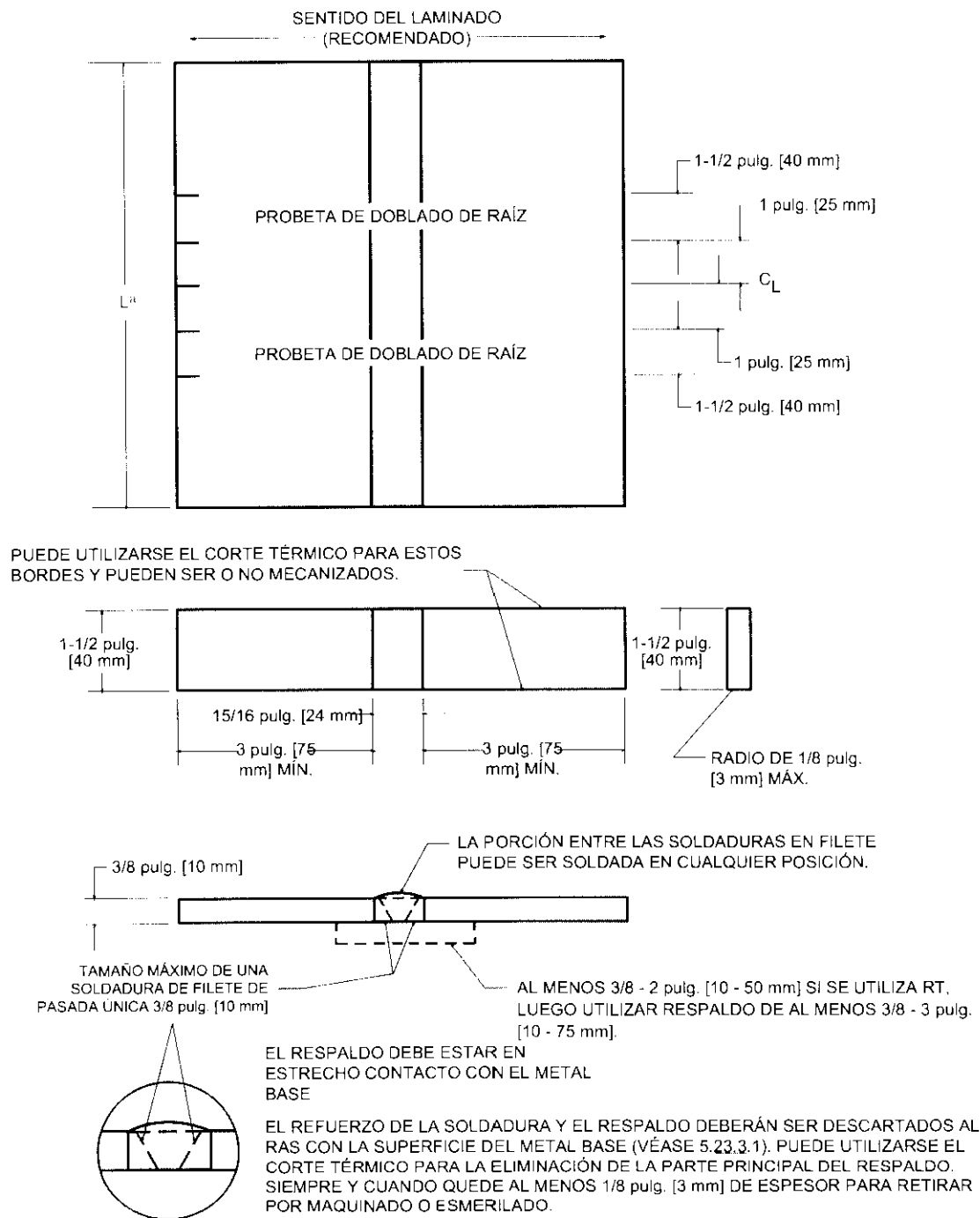


^a Cuando se utiliza RT no deben haber soldaduras de punteado en el área de ensayo.

^b El espesor del respaldo debe ser de 1/4 pulgada [6 mm] min. hasta 3/8 pulgada [10 mm] máx.; el ancho del respaldo debe ser de 3 pulgadas [75 mm] min. cuando no se retira para RT, de lo contrario 1 pulgada [25 mm] min.

^c En el caso de las placas de 3/8 pulgada [10 mm] se puede reemplazar un ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

**Figura 4.21—Placa de ensayo opcional para espesor limitado—
Posición horizontal—Calificación del soldador (véase 4.20.1)**



^a L = 7 pulgadas [175 mm] mín. (soldador), L = 15 pulgadas [380 mm] mín. (operario de soldadura).

Figura 4.22—Placa de ensayo de doblado de la raíz de soldadura en filete
—Calificación del soldador o del operario de soldadura—Opción 2 (véase 4.21.2 y Tabla 4.11 o 9.21 y Tabla 9.14)

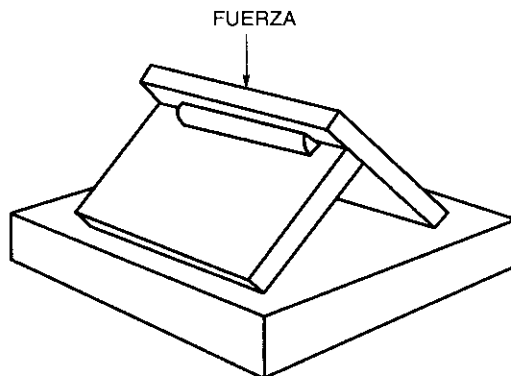
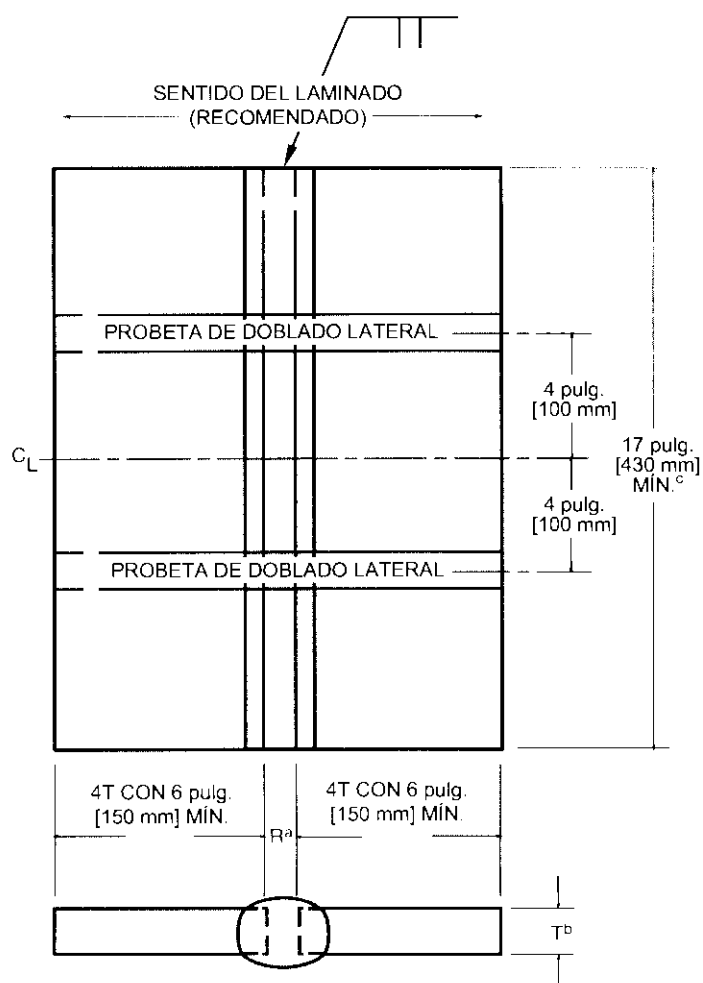


Figura 4.23—Método de rotura de probeta—Calificación del soldador punteador (ver 4.23)

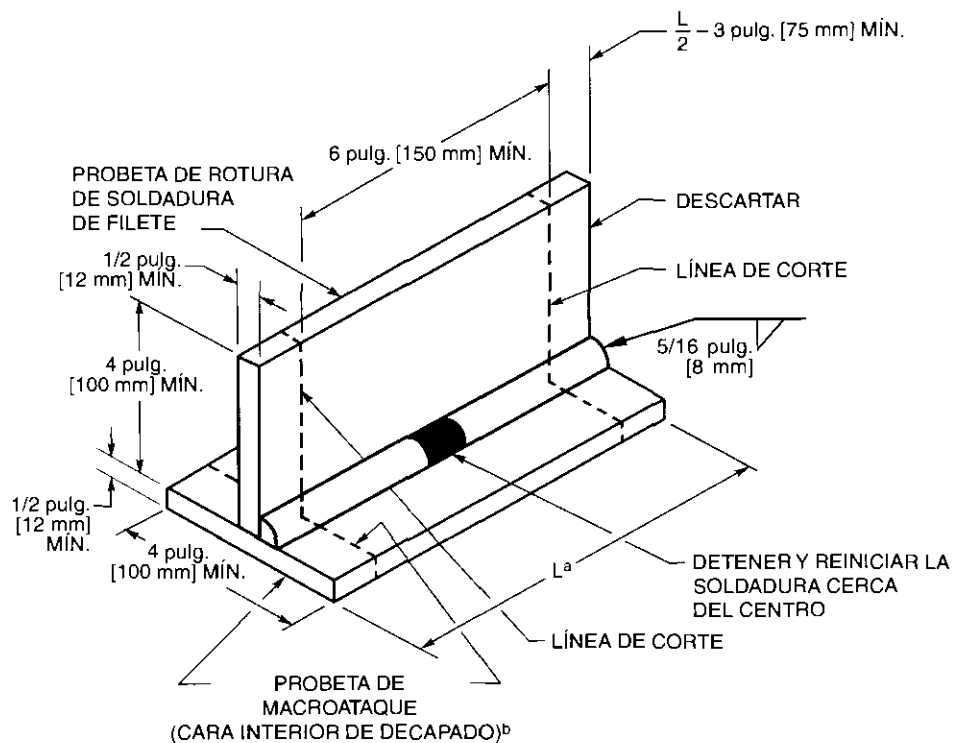


^a Abertura de la raíz "R" establecida por WPS.

^b T = máximo a ser soldado en la construcción pero no necesita exceder de 1-1/2 pulgadas [38 mm].

^c No es necesario usar extensiones si la junta tiene la longitud suficiente para proporcionar 17 pulgadas [430 mm] de soldadura sólida.

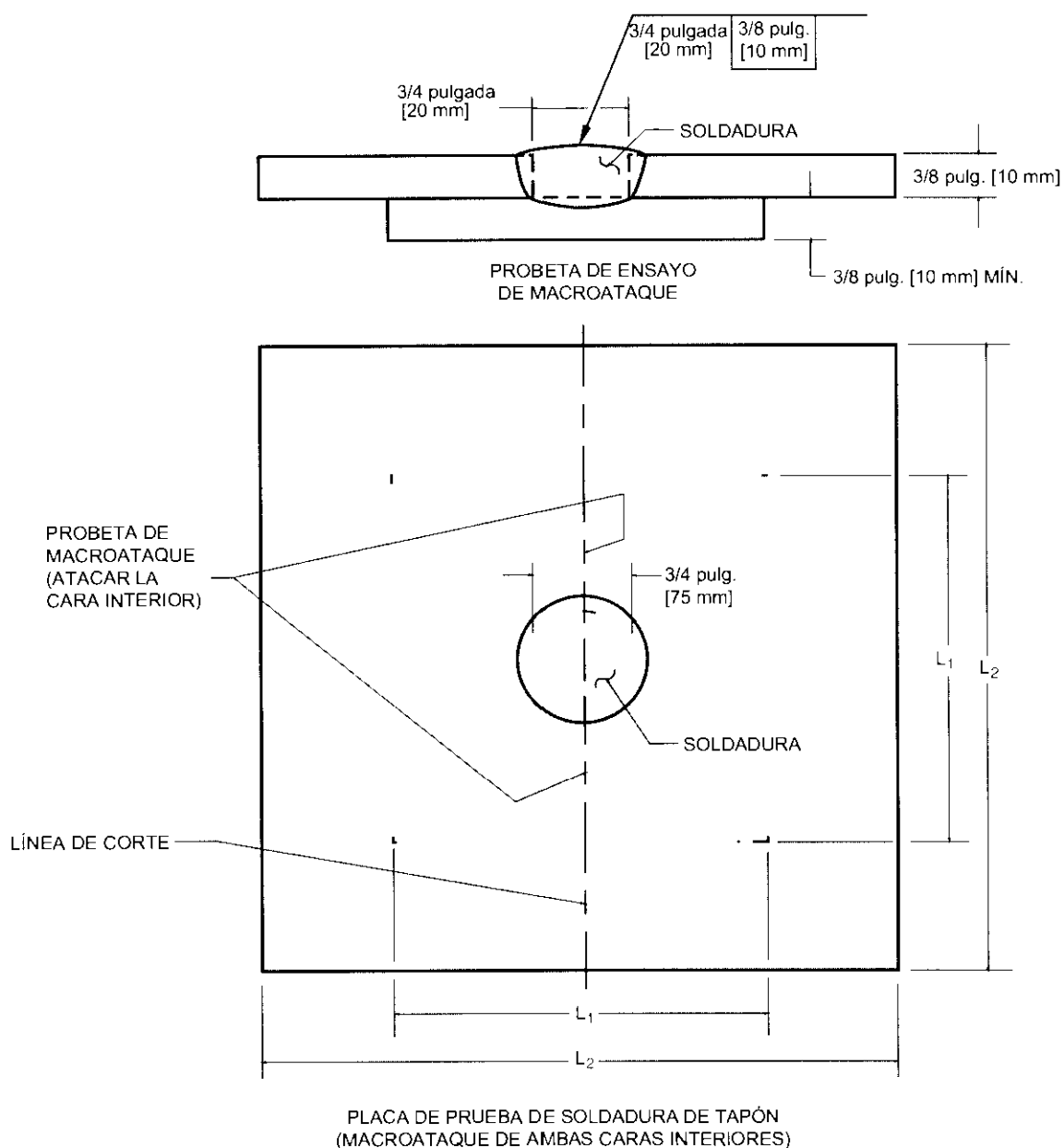
Figura 4.24—Junta a tope para calificación del operario de soldadura—ESW y EGW (véase 4.20.2.2)



^a L = 8 pulgadas [200 mm] min. soldador, 15 pulgadas [380 mm] min. (operario de soldadura).

^b Cualquiera de los extremos puede ser utilizado para la probeta de macroataque requerida. Se puede descartar el otro extremo.

**Figura 4.25—Placa de ensayo de rotura de soldadura en filete y macroataque—
Calificación del soldador o del operario de soldadura—Opción 1 (véase 4.21.2 y Tabla 4.11 o
9.21 y Tabla 9.14)**



Notas:

1. L₁ = 2 pulgadas [50 mm] mín. (soldador), 3 pulgadas [75 mm] mín. (operario de soldadura);
2. L₂ = 3 pulgadas [75 mm] mín. (soldador), 5 pulgadas [125 mm] mín. (operario de soldadura);

Figura 4.26—Placa de ensayo de macroataque de soldadura de tapón—Calificación del soldador o del operario de soldadura (véase 4.13) y calificación de WPS (véase 4.21.3)

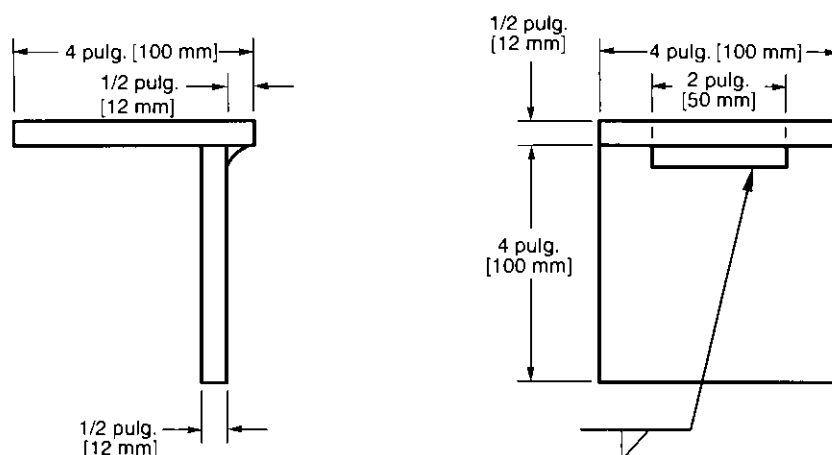


Figura 4.27—Probeta de rotura de soldadura en filete—Calificación del soldador punteador (véase 4.16.2)

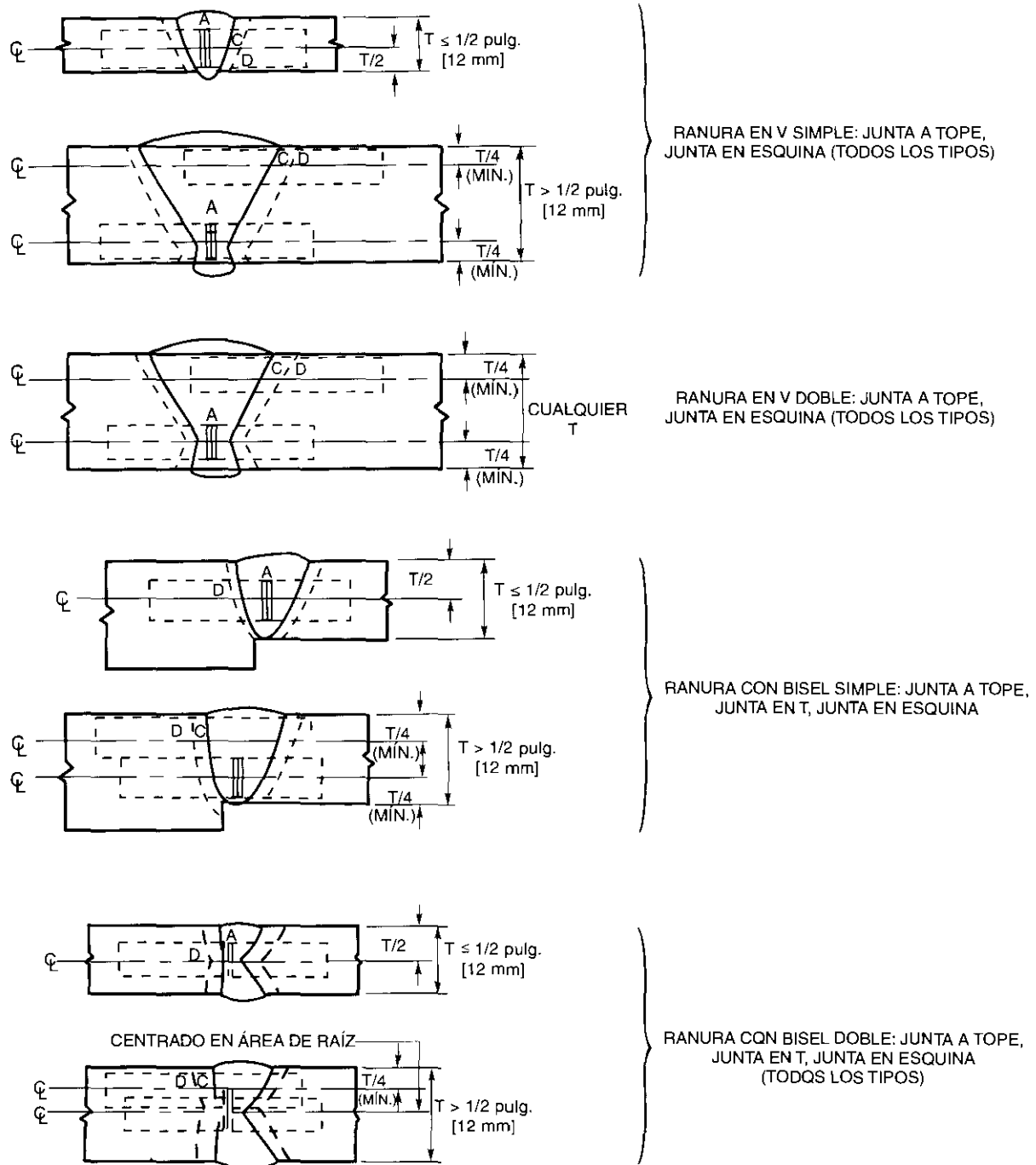


Figura 4.28—Ubicaciones de probeta de ensayos con el péndulo de Charpy (CVN) (véase 4.26.1)

5. Fabricación

5.1 Alcance

Todas las disposiciones aplicables a esta sección deben ser observadas en la construcción y montaje de conjuntos y estructuras soldadas producidas por cualquier proceso aceptable según este código (véase 3.2 y 4.14).

5.2 Metal base

5.2.1 Metal base especificado. Los documentos del contrato deben indicar la especificación y clasificación del metal base que se utilizará. Cuando la soldadura sea parte de la estructura se deberán usar los metales base aprobados y listados en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9, siempre que sea posible.

5.2.2 Metal base para lengüetas de soldadura, respaldo y espaciadores

5.2.2.1 Lengüetas de soldadura. Las lengüetas de soldadura utilizadas en soldadura deben cumplir con los siguientes requisitos:

(1) Cuando se utilizan en soldaduras con un acero aprobado listado en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9, pueden ser de cualquiera de los aceros listados en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9.

(2) Cuando se utilizan en soldaduras con un acero calificado según 4.8.3 pueden ser de:

(a) El acero calificado o

(b) Cualquier acero listado en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9

5.2.2.2 Respaldo y repisas. El acero para respaldo y repisas debe cumplir con los requisitos de 5.2.2.1 o ASTM A109 T3 y T4, excepto que el acero con un límite elástico mínimo de 100 ksi [690 MPa] debe utilizarse como respaldo solamente con aceros con un límite elástico mínimo de 100 ksi [690 MPa].

5.2.2.3 Espaciadores. Los espaciadores deben ser del mismo material que el metal base.

5.3 Requisitos para consumibles de soldadura y electrodos

5.3.1 Generalidades

5.3.1.1 Certificación para electrodos o combinaciones electrodo-fundente. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista o fabricante debe proporcionar la certificación de que el electrodo o la combinación electrodo-fundente cumple con los requisitos de la clasificación.

5.3.1.2 Idoneidad de la clasificación. La clasificación y el tamaño del electrodo, la longitud del arco, el voltaje y el amperaje deben adecuarse al espesor del material, tipo de ranura, posiciones de soldadura y otras circunstancias relacionadas con el trabajo. La corriente de soldadura debe estar dentro del rango recomendado por el fabricante del electrodo.

5.3.1.3 Gas de protección. Un gas o una mezcla de gases utilizados como protección deben cumplir con los requisitos de AWS A5.32, *Specification for Welding Shielding Gases (Especificación para gases de protección de soldaduras)*. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista o fabricante debe proporcionar la certificación del fabricante de que el gas o la mezcla de gases cumple con los requisitos de punto de rocío de AWS A5.32. Cuando se mezclen en el sitio de soldadura, se deben usar medidores adecuados para proporcionar los gases. El porcentaje de gases debe cumplir con los requisitos de la WPS.

5.3.1.4 Almacenamiento. Los consumibles de soldadura que han sido retirados del paquete original deben estar protegidos y almacenados para que las propiedades de soldadura no resulten afectadas.

5.3.1.5 Estado. Los electrodos deben estar secos y en un estado adecuado para su uso.

5.3.2 Electrodos de SMAW. Los electrodos para SMAW deben cumplir con la última edición de AWS A5.1/A5.1M, *Especificación de electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico revestido*, o con los requisitos de AWS A5.5/A5.5M, *Especificación de electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo metálico revestido*.

5.3.2.1 Condiciones de almacenamiento del electrodo de bajo hidrógeno. Todos los electrodos que tengan revestimientos de bajo hidrógeno según AWS A5.1 y AWS A5.5 deben adquirirse en contenedores herméticamente sellados o deben ser horneados por el usuario según 5.3.2.4 antes de su uso. Inmediatamente después de abrir el contenedor herméticamente sellado, los electrodos que no se usen inmediatamente se deben almacenar en hornos a una temperatura de al menos 250 °F [120 °C]. Los electrodos no deben volver a hornearse más de una vez. Los electrodos que se han humedecido no se deben usar.

5.3.2.2 Periodos atmosféricos aprobados. Después de abrir los contenedores herméticamente sellados o después de retirar los electrodos de los hornos de cocido u hornos de almacenamiento, la exposición del electrodo a la atmósfera no debe exceder los valores mostrados en la columna A, Tabla 5.1 para la clasificación específica del electrodo con indicadores complementarios opcionales, cuando sea aplicable. Los electrodos expuestos a la atmósfera durante periodos menores a los permitidos por la columna A, Tabla 5.1 pueden regresarse a un horno mantenido a 250 °F [120 °C] mín.; después de un periodo de espera mínimo de cuatro horas a 250 °F [120 °C] mín., es posible volver a distribuir los electrodos.

5.3.2.3 Periodos de exposición atmosférica alternativos establecidos por ensayos. Los valores de tiempo de exposición alternativos que se muestran en la columna B de la Tabla 5.1 pueden usarse siempre que el ensayo establezca el tiempo máximo admisible. El ensayo debe realizarse según AWS A5.5 para cada clasificación de electrodo y cada fabricante de electrodo. Dichas pruebas deben establecer que no se excedan los valores máximos de contenido de humedad de la AWS A5.5. Además, los revestimientos de los electrodos de bajo hidrógeno E70XX o E70XX-X (AWS A5.1 o A5.5) deben estar limitados a un contenido máximo de humedad que no exceda el 0,4 % por peso. Estos electrodos no deben usarse en combinaciones de humedad relativa-temperatura que excedan la humedad relativa o el contenido de humedad en el aire que predominó durante el programa del ensayo.

Para una aplicación apropiada de esta subsección, consulte el cuadro de contenido de temperatura-humedad y ejemplos en el Anexo F. El cuadro que se muestra en el Anexo F, o cualquier cuadro psicométrico estándar, debe ser utilizado para determinar los límites de temperatura-humedad relativa.

5.3.2.4 Horneado de electrodos. Los electrodos expuestos a la atmósfera durante periodos mayores a los permitidos en la Tabla 5.1 deben hornearse del siguiente modo:

(1) Todos los electrodos que tengan revestimientos de bajo hidrógeno según AWS A5.1 deben cocerse en horno durante por lo menos dos horas a una temperatura entre 500 °F y 800 °F [260 °C y 430 °C], o

(2) Todos los electrodos que tengan revestimientos de bajo hidrógeno según AWS A5.5 deben cocerse en horno durante por lo menos una hora a temperaturas entre 700 °F y 800 °F [370 °C y 430 °C].

Todos los electrodos deben colocarse en un horno adecuado a una temperatura que no exceda la mitad de la

temperatura de horneado final durante media hora como mínimo antes de incrementar la temperatura del horno a la temperatura de horneado final. El tiempo de horneado final debe comenzar después de que el horno alcance la temperatura de horneado final.

5.3.2.5 Restricciones de electrodos de bajo hidrógeno para aceros ASTM A514 o A517. Cuando se utilizan en soldaduras en aceros ASTM A514 o A517, los electrodos de bajo hidrógeno deben de cumplir con los siguientes requisitos, si corresponde:

(1) Cuando se realicen soldaduras con electrodos E90XX-X o electrodos de mayor resistencia a la tracción, el electrodo se puede utilizar sin hornear siempre y cuando el electrodo se entregue en contenedores herméticamente sellados.

(2) Cuando se realicen soldaduras con electrodos E90XX-X o de mayor resistencia a la tracción que no han sido entregados en contenedores herméticamente sellados o cuando se utiliza soldadura con electrodos E80XX-X o de menor resistencia a la tracción, ya sea que hayan sido entregados en contenedores herméticamente sellados o similares, los electrodos se deberán hornear por un mínimo de una hora a una temperatura entre 700 y 800 °F [370 y 430 °C] antes de utilizarse, excepto cuando aplique (c).

(3) Cuando se realicen soldaduras con electrodos E7018M o electrodos con el indicador opcional H4R, el electrodo se puede utilizar sin hornear.

5.3.3 Electrodos y fundentes de SAW. La SAW puede realizarse con uno o más electrodos simples, uno o más electrodos paralelos o combinaciones de electrodos simples y paralelos. El espaciamiento entre arcos debe ser tal que la cubierta de escoria sobre el metal de soldadura producido por el arco guía no se enfríe lo suficiente como para evitar el depósito adecuado de soldadura del electrodo siguiente. Se puede utilizar SAW con electrodos múltiples para cualquier pasada de soldadura en ranura o en filete.

5.3.3.1 Requisitos de la combinación electrodo-fundente. Los electrodos desnudos y fundentes usados en combinación para SAW de aceros deben cumplir con los requisitos de la última edición de AWS A5.17, *Especificación de electrodos y fundentes de acero al carbono para soldadura por arco sumergido*, o con los requisitos de la última edición de AWS A5.23, *Especificación de electrodos y fundentes de acero de baja aleación para soldadura por arco sumergido*.

5.3.3.2 Estado del fundente. El fundente utilizado para SAW debe estar seco y libre de contaminación por suciedad, cascarilla de laminación u otro material extraño. Todo el fundente debe adquirirse en paquetes que puedan ser almacenados en condiciones normales por lo menos durante seis meses sin que dicho almacenamiento afecte sus características o propiedades de soldadura. El fundente de paquetes dañados debe descartarse o secarse a una temperatura mínima de 500 °F [260 °C] durante una hora antes de su uso. El fundente debe colocarse en el sistema dispensador inmediatamente después de abrir un paquete, o si se usa de un paquete abierto, se debe descartar la pulgada superior. No se deben utilizar fundentes que se hayan humedecido.

5.3.3.3 Recuperación del fundente. El fundente de SAW que no se haya fundido durante la operación de soldadura puede volver a utilizarse después de la recuperación por aspiración, ollas de retención, barrido u otros medios. El constructor de soldaduras debe tener un sistema para recolectar el fundente no fundido, agregar nuevo fundente y soldar con la mezcla de estos dos para que la composición del fundente y la distribución del tamaño de la partícula en el charco de soldadura sean relativamente constantes.

5.3.3.4 Escoria triturada. La escoria triturada puede utilizarse siempre que tenga su propia marca, utilizando el nombre y designación comercial del triturador. Además, cada lote seco o mezcla seca (lote) de fundente, según se define en AWS A5.01, *Filler Metal Procurement Guidelines*, (Directrices de adquisición de metal de aporte) debe de ser ensayado según el Programa I de la AWS A5.01 y clasificado por el Contratista o triturador según AWS A5.17 o A5.23, según corresponda.

5.3.4 Electrodo de GMAW/FCAW. Los electrodos para GMAW o FCAW deben cumplir con los siguientes requisitos:

(1) AWS A5.18/A5.18M, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding* (Especificación para electrodos y varillas de acero al carbono para soldadura con arco protegida con gas);

(2) AWS A5.20/A5.20M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco de núcleo de fundente);

(3) AWS A5.28/A5.28M, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding* (Especificación para electrodos y varillas de acero de baja aleación para soldadura por arco protegida con gas);

(4) AWS A5.29/A5.29M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación de electrodos y varillas de acero al carbono para soldadura por arco de núcleo de fundente);

(5) AWS A5.36/A5.36M, *Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Arc Welding* (Especificación para electrodos con núcleo de fundente de acero de baja aleación y acero al carbono para soldadura por arco de núcleo de fundente y electrodos metálicos con núcleo para soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas).

5.3.5 GTAW

5.3.5.1 Electrodo de tungsteno. La corriente de soldadura debe ser compatible con el diámetro y con el tipo de clasificación del electrodo. Los electrodos de tungsteno deben cumplir con AWS A5.12, *Specification for Tungsten and Tungsten Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting* (Especificación de electrodos de tungsteno y de aleación de tungsteno para soldadura y corte por arco).

5.3.5.2 Metal de aporte. El metal de aporte debe cumplir con todos los requisitos de la última edición de AWS A5.18 o AWS A5.28 y AWS A5.30, *Specification for Consumable Inserts* (Especificación de insertos consumibles), según corresponda.

5.4 Procesos de ESW y EGW

5.4.1 Limitaciones del proceso. Los procesos de ESW y EGW deben estar restringidos al uso de los aceros de la Tabla 3.1, Grupos I, II y III excepto que no se permiten las ESW y EGW de ASTM A710.

5.4.2 Estado de los electrodos y tubos de guía. Los electrodos y tubos de guía consumibles deben estar secos, limpios y en un estado adecuado para su uso.

5.4.3 Estado del fundente. El fundente utilizado para ESW debe estar seco y libre de contaminación por suciedad, cascarrilla de laminación u otro material extraño. Todo el fundente debe adquirirse en paquetes que puedan ser almacenados en condiciones normales por lo menos durante seis meses sin que dicho almacenamiento afecte sus características o propiedades de soldadura. El fundente de paquetes dañados durante el transporte o el manejo debe ser descartado o secado a una temperatura mínima de 250 °F [120 °C] durante una hora antes de su uso. No se deben utilizar fundentes que se hayan humedecido.

5.4.4 Inicios y paradas de la soldadura. Las soldaduras deben iniciarse de manera tal que permitan suficiente acumulación de calor para una fusión completa del metal de soldadura a las caras de la ranura de la junta. Las soldaduras que se hayan detenido en cualquier punto de la junta de soldadura durante una cantidad de tiempo suficiente como para que la escoria o el charco de soldadura comience a solidificarse pueden reiniciarse y completarse, siempre que la soldadura completa sea revisada por UT en un mínimo de 6 pulgadas [150 mm] hacia cada lado del reinicio y que, excepto que lo prohíba la geometría de la junta, también sea confirmada por RT. Todas estas ubicaciones de reinicio deben ser registradas e informadas al Ingeniero.

5.4.5 Precalentamiento. Dada la gran entrada de calor característica de estos procesos, por lo general no se requiere precalentamiento. Sin embargo, no se debe realizar ninguna soldadura cuando la temperatura del metal base en el punto de soldadura esté por debajo de 32 °F [0 °C].

5.4.6 Reparaciones. Las soldaduras que tengan discontinuidades prohibidas por la Sección 6, Parte C o Sección 9, Parte F, deben repararse según lo permitido en 5.25 mediante un proceso de soldadura calificado o se debe eliminar toda la soldadura y reemplazarla.

5.4.7 Requisitos del acero resistente al ambiente. Para ESW y EGW de aplicaciones expuestas, descubiertas y sin pintar de acero ASTM A588 que requieran metal de soldadura con resistencia a la corrosión atmosférica y características de color similares a las del metal base, la combinación electrodo--fundente debe cumplir con

4.14.1.3(2), y la composición química del metal de aporte debe cumplir con la Tabla 3.4.

5.5 Variables de WPS

Las variables de soldadura deben cumplir con una WPS escrita (véase Anexo M, Formulario M-1 como ejemplo). Cada pasada tendrá una fusión completa con el metal base adyacente, de manera tal que no habrá depresiones o socavaciones excesivas en el pie de la soldadura. Se debe evitar la concavidad excesiva de las pasadas iniciales para prevenir el agrietamiento en las raíces de las juntas restringidas. Todos los soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado deben estar informados acerca del uso apropiado de la WPS, y la WPS aplicable debe estar disponible y se debe respetar durante la realización de la soldadura.

5.6 Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas

Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas deben ser suficientes para prevenir el agrietamiento. El metal base debe precalentarse, si se requiere, a una temperatura no menor que el valor mínimo listado en la WPS (véase las limitaciones de la WPS precalificada en 3.6 y las limitaciones de las variables esenciales de la WPS en la Tabla 4.5).

Este precalentamiento y todas las temperaturas mínimas entre pasadas posteriores deben mantenerse durante la operación de soldadura en una distancia por lo menos igual al espesor de la parte soldada más gruesa (pero no menor de 3 pulgadas [75 mm]) en todas las direcciones desde el punto de soldadura.

Los requisitos mínimos de temperatura entre pasadas deben considerarse iguales a los requisitos de precalentamiento, a menos que la WPS indique lo contrario.

Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas deben revisarse justo antes de iniciar el arco para cada pasada.

Para combinaciones de metales base, el precalentamiento mínimo debe estar basado en el precalentamiento mínimo más alto.

5.7 Control de la entrada de calor para aceros revenidos y templados

Cuando se sueldan aceros revenidos y templados, la entrada de calor debe estar restringida junto con las temperaturas máximas de precalentamiento y las temperaturas entre pasadas requeridas. Tales consideraciones deben incluir la entrada adicional de calor producida en la soldadura simultánea en los dos lados de un miembro común. Las limitaciones precedentes deben cumplir con las recomendaciones del productor.

5.8 Tratamiento térmico de alivio de esfuerzo

Cuando así lo requieran los documentos del contrato, los conjuntos soldados deben someterse a alivio de esfuerzo mediante tratamiento térmico. Se debe considerar el mecanizado final después del alivio de esfuerzo cuando sea necesario mantener las tolerancias dimensionales.

5.8.1 Requisitos. El tratamiento del alivio de esfuerzo debe cumplir con los siguientes requisitos:

(1) La temperatura del horno no debe superar los 600 °F [315 °C] en el momento en que se coloca el conjunto soldado.

(2) Por encima de los 600 °F [315 °C], el índice de calentamiento en °F [°C] por hora no debe superar los 400 [560] dividido por el máximo espesor del metal en la parte más gruesa, en pulgadas [centímetros], pero en ningún caso debe ser mayor de 400 °F [220°C] por hora. Durante el periodo de calentamiento, las variaciones en la temperatura a lo largo de la parte de la pieza que esté siendo calentada no debe ser mayor de 250 °F [140 °C] dentro de cualquier intervalo de 15 pies [5 m] de longitud. Las velocidades de calentamiento y de enfriamiento no deben ser menores de 100 °F [55 °C] por hora. Sin embargo, en todos los casos, la consideración de cámaras cerradas y estructuras complejas puede indicar velocidades reducidas de calentamiento y enfriamiento para evitar el daño estructural causado por gradientes térmicos excesivos.

(3) Luego de alcanzar una temperatura máxima de 1100 °F [600 °C] en aceros revenidos y templados o de haber alcanzado un rango medio de temperatura entre 1100 °F y 1200 °F [600 °C y 650 °C] en otros aceros, la temperatura del conjunto debe mantenerse dentro de los límites especificados durante un tiempo no menor del especificado en la Tabla 5.2, sobre la base del espesor de la soldadura. Cuando el alivio de esfuerzo especificado sea para la estabilidad dimensional, el tiempo de retención no debe ser menor al especificado en la Tabla 5.2, según el espesor de la parte más gruesa. Durante el periodo de retención o espera, no debe haber una diferencia mayor de 150 °F [65 °C] entre la temperatura más alta y la más baja a lo largo de la parte del conjunto que se está calentando.

(4) Por encima de 600 °F [315 °C], el enfriamiento debe realizarse en un horno cerrado o una cámara de enfriamiento a una velocidad no mayor de 500 °F [260 °C] por hora dividido por el espesor máximo del metal en la parte más gruesa en pulgadas [mm], pero en ningún caso más de 500 °F [260 °C] por hora. A partir de los 600 °F [315 °C], el conjunto puede enfriarse al aire en calma.

5.8.2 PWHT alternativo. En forma alternativa, cuando el PWHT no es factible con las limitaciones de temperatura establecidas en 5.8.1, los conjuntos soldados pueden someterse a un alivio de esfuerzo- a temperaturas más bajas por periodos más largos, como se indica en la Tabla 5.3.

5.8.3 Aceros no recomendados para PWHT. Por lo general no se recomienda el alivio del esfuerzo de soldaduras de la ASTM A514, ASTM A517, ASTM A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] y aceros ASTM A710. El alivio de esfuerzo puede ser necesario para aquellas aplicaciones donde las soldaduras deban retener la esta-

bilidad dimensional durante el mecanizado o donde pueda existir agrietamiento con corrosión por esfuerzo, sin que ninguna de estas condiciones sea única para las soldaduras que involucran aceros ASTM A514, ASTM A517, ASTM A709 Grado 100W [HPS 690W] y aceros ASTM A710. Sin embargo, los resultados del ensayo de tenacidad a la entalla han demostrado que el PWHT puede perjudicar realmente la tenacidad del metal de soldadura y de la HAZ y en ocasiones puede producirse el agrietamiento intergranular en la región de grano grueso de la HAZ de la soldadura.

5.9 Respaldo

5.9.1 Acoplamiento del respaldo de acero. El respaldo de acero debe cumplir con los siguientes requisitos:

5.9.1.1 Fusión. Las soldaduras en ranura realizadas con respaldo de acero deben tener la soldadura totalmente fundida con el respaldo.

5.9.1.2 Respaldo de longitud completa. A excepción de lo permitido a continuación, el respaldo de acero deberá ser continuo, a través de la longitud completa de la soldadura. Todas las juntas en el respaldo de acero deben ser juntas de soldadura en ranura con CJP que cumplan con todos los requisitos de la Sección 5 de este código.

Para aplicaciones cargadas estáticamente, se permite realizar el respaldo para soldaduras a los extremos de las secciones cerradas, tal como secciones estructurales huecas (HSS), a partir de una o dos piezas con discontinuidades sin empalmes donde se cumplan todas las siguientes condiciones:

- (1) El espesor nominal de la pared de la sección cerrada no excede de 5/8 pulgadas [16 mm].
- (2) El perímetro exterior de la sección cerrada no excede de 64 pulgadas [1625 mm].
- (3) El respaldo es transversal al eje longitudinal de la sección cerrada.
- (4) La interrupción en el respaldo no excede de 1/4 pulgadas [6 mm].
- (5) La soldadura con respaldo discontinuo no está más cerca que el diámetro de la HSS o la dimensión principal de la sección transversal de otros tipos de conexiones.
- (6) La interrupción en el respaldo no está localizada en las esquinas.

En el caso de columnas de sección rectangular cargadas estáticamente, se permite el respaldo discontinuo en las esquinas soldadas con CJP, en los empalmes de campo y en los detalles de conexión. Se permite el respaldo discontinuo en otras secciones cerradas, donde lo apruebe el Ingeniero.

5.9.1.3 Espesor del respaldo. El respaldo de acero debe tener espesor suficiente como para prevenir la perforación por fusión.

5.9.1.4 Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente. El respaldo de acero en estructuras no tubulares cargadas cíclicamente debe cumplir con lo siguiente:

(1) Debe eliminarse el respaldo de acero de las soldaduras que son transversales a la dirección del esfuerzo calculado y las juntas deben esmerilarse o se les debe realizar un acabado liso, excepto para las juntas designadas de acuerdo con la Tabla 2.5 (5.5)

(2) No es necesario eliminar el respaldo de acero de soldaduras paralelas a la dirección del esfuerzo o que no están sometidas a esfuerzos calculados, a menos que el Ingeniero lo especifique.

(3) Cuando las soldaduras externas se usan para acoplar el respaldo longitudinal de acero para que permanezca en su lugar, las soldaduras deben ser soldaduras en filete continuas a lo largo de ambos lados del respaldo.

5.9.1.5 Conexiones cargadas estáticamente. El respaldo de acero para soldaduras en estructuras (tubulares y no tubulares) cargadas estáticamente no requiere soldadura en toda su longitud ni eliminarse a menos que lo especifique el Ingeniero.

5.9.2 Soldaduras de respaldo. Las soldaduras de respaldo pueden usarse para respaldar soldaduras en filete o en ranura. Cuando se utiliza el proceso SMAW, deben usarse electrodos de bajo hidrógeno.

5.9.3 Respaldo que no es de acero. Las raíces de las soldaduras en ranura o en filete pueden estar respaldadas por cobre, fundente, cinta de vidrio, cerámica, polvo de hierro o materiales similares para prevenir la perforación por fusión.

5.10 Equipo de soldadura y corte

Todo equipo de soldadura y corte térmico debe tener un diseño, fabricación y mantenimiento tal como para permitir que el personal designado siga los procedimientos y logre los resultados descritos en otras partes de este código.

5.11 Ambiente de la soldadura

5.11.1 Velocidad máxima del viento. No se deben realizar procedimientos GMAW, GTAW, EGW o FCAW-G donde haya una corriente de aire o viento a menos que la soldadura esté guarecida por una protección. Dicha protección debe ser del material y la forma apropiados para reducir la velocidad del viento en las inmediaciones de la soldadura a un máximo de cinco millas por hora [ocho kilómetros por hora].

C-5.11.2 Temperatura ambiente mínima. La soldadura no debe realizarse

- (1) cuando la temperatura ambiente sea menor de 0 °F [-20 °C], o
- (2) cuando las superficies estén húmedas o expuestas a la lluvia, nieve, o
- (3) cuando haya una velocidad de viento alta, o

(4) cuando el personal de soldadura esté expuesto a condiciones climáticas rigurosas.

NOTA: Cero °F no se refiere a la temperatura ambiente, sino a la temperatura en las inmediaciones de la soldadura. La temperatura ambiente puede estar por debajo de 0 °F [-20 °C], pero una estructura calentada o la protección alrededor del área que está siendo soldada puede mantener la temperatura adyacente al conjunto soldado a 0 °F [-20 °C] o más alta.

5.12 Conformidad con el diseño

Los tamaños y las longitudes de las soldaduras no deben ser menores de los especificados por los requisitos de diseño y los planos de detalle, excepto según lo permite la Tabla 6.1 o la Tabla 9.16. La ubicación de las soldaduras no debe cambiarse sin la aprobación del Ingeniero.

5.13 Tamaños mínimos de la soldadura en filete

El tamaño mínimo de la soldadura en filete, a excepción de las soldaduras en filete que se usan para reforzar soldaduras en ranura, debe ser como se muestra en la Tabla 5.7. El tamaño mínimo de la soldadura en filete se debe aplicar en todos los casos, a menos que los planos de diseño especifiquen soldaduras de un tamaño más grande.

5.14 Preparación del metal base

5.14.1 Generalidades. El metal base debe estar suficientemente limpio a fin de permitir que las soldaduras que se realicen cumplan con los requisitos de calidad de este código.

5.14.2 Defectos de superficie provocados en la acería. Las soldaduras no deben ubicarse sobre superficies que contengan aletas, rayaduras, grietas, escorias u otros defectos en el metal base según se define en las especificaciones del metal base.

5.14.3 Cascarilla y óxido. Deben eliminarse las cascari-llas sueltas, gruesas y el óxido grueso de las superficies que se soldarán y de las superficies adyacentes a la soldadura. Las soldaduras pueden realizarse sobre superficies que contengan cascarilla de laminación y óxido en caso de que la cascarilla de laminación y el óxido puedan soportar un cepillado vigoroso y si los requisitos de calidad aplicables de este código se cumplen con la siguiente excepción: para vigas en estructuras cargadas cíclicamente, toda la cascarilla de laminación debe eliminarse de las superficies en las que se realizarán las soldaduras de ala a alma.

5.14.4 Materiales extraños

5.14.4.1 Deben limpiarse las superficies que se soldarán y las superficies adyacentes a la soldadura a fin de eliminar el exceso de los siguientes elementos:

- (1) Agua
- (2) Aceite
- (3) Grasa
- (4) Otros materiales a base de hidrocarburo

Se permite la soldadura sobre superficies que contengan cantidades residuales de materiales extraños, siempre que se cumplan los requisitos de calidad de este código.

5.14.4.2 Se permite realizar soldaduras sobre superficies con recubrimientos protectores de superficies o compuestos de anti-salpicadura, excepto aquellas prohibidas en 5.14.4.1, siempre que se cumplan los requisitos de calidad de este código.

5.14.5 Defectos de superficie provocados en la acería. Los límites de aceptación y la reparación de las discontinuidades de las superficies de corte observadas con control visual deben estar en conformidad con la Tabla 5.4, en la que la longitud de discontinuidad es la dimensión larga visible en la superficie de corte de material y la profundidad es la distancia que la discontinuidad extiende hacia el interior del material desde la superficie de corte. Todas las reparaciones soldadas deben realizarse de conformidad con este código. La eliminación de las discontinuidades puede hacerse desde cualquiera de las superficies del metal base. La longitud conjunta de la soldadura no debe exceder el 20% de la longitud de la superficie de la placa que se esté reparando, excepto que el Ingeniero lo apruebe.

5.14.5.1 Criterios de aceptación. En el caso de las discontinuidades mayores de 1 pulgada [25 mm] de longitud y profundidad descubiertas en las superficies de corte, se deben cumplir los siguientes procedimientos.

(1) Cuando se observen discontinuidades tales como W, X o Y en la Figura 5.1 antes de completar la junta, el tamaño y la forma de la discontinuidad deben ser determinadas mediante UT. El área de la discontinuidad debe determinarse como el área de pérdida total de retrorreflexión cuando se ensaya según el procedimiento de ASTM A435, *Specification for Straight Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates* (Especificación para el examen ultrasónico de placas de acero con haz recto).

(2) Para la aceptación de discontinuidades W, X o Y, el área de la discontinuidad (o el área conjunta de discontinuidades múltiples) no debe exceder del 4% del área del material de corte (longitud por ancho) con la siguiente excepción: si la longitud de la discontinuidad o el ancho conjunto de discontinuidades en cualquier sección transversal cuando se mide perpendicular a la longitud del material cortado excede del 20% del ancho del material cortado, el 4% del área del material cortado debe reducirse por el porcentaje del ancho que excede del 20%. (Por ejemplo, si una discontinuidad es del 30% del ancho del material cortado, el área de la discontinuidad no puede superar el 3,6% del área de material cortado). La discontinuidad en la superficie de corte del material cor-

tado debe eliminarse a una profundidad de 1 pulgada [25 mm] más allá de su intersección con la superficie mediante cincelado, ranurado o esmerilado, y bloquearse por soldadura con un proceso de bajo hidrógeno en capas que no excedan de 1/8 pulgada [3 mm] de espesor al menos durante las primeras cuatro capas.

(3) No es necesaria la reparación si se descubre una discontinuidad Z, que no exceda del área admitida en 5.14.5.1(2), después de que la junta haya sido completada y se determina que está a 1 pulgada [25 mm] o más de distancia de la cara de la soldadura, medida en la superficie cortada del metal base. Si la discontinuidad Z está a menos de 1 pulgada [25 mm] de la cara de la soldadura, debe eliminarse a una distancia de 1 pulgada [25 mm] de la zona de fusión de la soldadura por cincelado, ranurado o esmerilado. Debe bloquearse por soldadura con un proceso de bajo hidrógeno en capas que no excedan de 1/8 pulgada [3 mm] de espesor por lo menos durante las primeras cuatro capas.

(4) Si el área de la discontinuidad W, X, Y o Z excede los límites admisibles en 5.14.5.1(2), el material de corte o el subcomponente debe ser rechazado y reemplazado o bien reparado a criterio del Ingeniero.

5.14.5.2 Reparación. En la reparación y determinación de los límites de las discontinuidades inducidas en la aceria observadas visualmente en superficies de corte, la cantidad de metal eliminado debe ser la mínima necesaria para eliminar la discontinuidad o para determinar que no se excedan los límites de la Tabla 5.4. Sin embargo, si se requiere una reparación de soldadura se debe eliminar suficiente metal base para proporcionar acceso para soldar. Las superficies de corte pueden existir en cualquier ángulo con respecto a la dirección de laminado. Todas las reparaciones soldadas de discontinuidades deben realizarse mediante:

- (1) Preparación adecuada del área de reparación
- (2) Soldadura con un proceso aprobado de bajo hidrógeno y observando las disposiciones aplicables de este código
- (3) Esmerilado de la soldadura completa al ras (véase 5.23.3.1) respecto de la superficie adyacente para producir un buen acabado.

NOTA: Los requisitos de 5.14.5.2 pueden no ser adecuados en casos de carga de tracción aplicada a través del espesor del material.

5.14.6 Preparación de la junta. El mecanizado, el corte térmico, el ranurado (incluso el corte y ranurado por arco de plasma), el cincelado o el esmerilado pueden usarse para la preparación de la junta o la eliminación de trabajo o metales inaceptables, excepto que el ranurado con oxígeno debe permitirse únicamente en aceros en estado bruto de laminación.

5.14.7 Recorte del material. Para estructuras cargadas cíclicamente, todo material más grueso que el especificado en la siguiente lista debe ser recortado según se requiera para producir un borde de soldadura satisfactorio en cualquier lugar donde una soldadura vaya a soportar un esfuerzo calculado:

(1) Material cizallado de espesor mayor de 1/2 pulgada [12 mm]

(2) Bordes laminados de placas (diferentes de las placas universales) de espesor mayor de 3/8 pulgadas [10 mm]

(3) Pies de ángulos y perfiles laminados (diferentes a las secciones de brida ancha) de espesor mayor de 5/8 pulgadas [16 mm]

(4) Placas universales o bordes de ala de secciones de brida ancha de espesor mayor de 1 pulgada [25 mm].

(5) La preparación para juntas a tope debe cumplir con los requisitos de los planos de detalle

5.14.8 Procesos de corte térmico. Los procesos de corte y ranurado por arco eléctrico (incluso corte y ranurado por arco de plasma) y los procesos de corte con oxígeno y gas combustible son reconocidos en este código para su uso en la preparación, corte o recorte de materiales. El uso de estos procesos debe cumplir con los requisitos aplicables de la Sección 5.

5.14.8.1 Otros procesos. Otros procesos de corte térmico y de ranurado pueden usarse bajo este código, siempre que el Contratista le demuestre al Ingeniero que es capaz de usar el proceso de manera correcta.

5.14.8.2 Precisión del perfil. El acero y el metal de soldadura se pueden cortar térmicamente, siempre que se asegure una superficie regular libre de grietas y muescas, y siempre que se asegure un perfil preciso mediante el uso de una guía mecánica. En el caso de estructuras cargadas cíclicamente solo se permite el corte térmico a pulso si está aprobado por el Ingeniero.

5.14.8.3 Requisitos de rugosidad. En el corte térmico, el equipo de corte se debe ajustar y manipular a fin de evitar el corte más allá (en el interior) de las líneas prescritas. La norma de referencia para la evaluación de las superficies de corte debe respetar el indicador de rugosidad de la superficie incluido en AWS C4.1-77, *Criteria for Describing Oxygen-Cut Surfaces and Oxygen Cutting Surface Roughness Gauge (Criterios para describir las superficies de corte con oxígeno y el medidor de rugosidad superficial en el corte con oxígeno)*. La rugosidad de las superficies de corte térmico debe ser evaluada comparando visualmente la superficie del corte con la rugosidad representada en el indicador de rugosidad. La rugosidad de la superficie no debe ser mayor que aquella representada por la Muestra 3, excepto para los extremos de los miembros no sometidos a esfuerzos calculados, los recortes redondeados en vigas con un espesor de ala no mayor de 2 pulgadas [50 mm] y los materiales con espesores de 4 a 8 pulgadas [100 mm a 200 mm], en los que la rugosidad de la superficie no debe ser mayor que la representada por la Muestra 2.

5.14.8.4 Limitaciones de ranurado o entalla. La rugosidad que exceda estos valores y las entallas o ranurados de no más de 3/16 pulgadas [5 mm] de profundidad se debe eliminar por mecanizado o esmerilado cuando las superficies sean satisfactorias en los demás aspectos. Las entallas o los ranurados que excedan de 3/16 pulgadas [5 mm] de profundidad pueden ser reparados por esmerilado si el área transversal -nominal no se reduce en más del 2%. Las superficies esmeriladas o mecanizadas se deben enrasar con la superficie original con una

pendiente no mayor de uno en diez. Las superficies de corte y bordes adyacentes se deben dejar libres de escoria. En superficies de corte térmico, las entallas o los ranurados ocasionales se pueden reparar mediante soldadura, si lo aprueba el Ingeniero.

5.15 Esquinas reentrantes

Las esquinas reentrantes de material cortado se deben conformar para crear una transición gradual con un radio no menor de 1 pulgada [25 mm] excepto en las esquinas de materiales de conexión y en recortes redondeados de viga. Las superficies adyacentes deben encontrarse sin desplazamiento ni corte más allá del punto de tangencia. Las esquinas reentrantes se pueden conformar por corte térmico, seguido por esmerilado, de ser necesario, según los requisitos de superficie de 5.14.8.3.

5.16 Orificios de acceso a la soldadura, recortes redondeados de viga y material de conexión

Los orificios de acceso a la soldadura, los recortes redondeados de vigas y las superficies de corte en materiales de conexión deben estar libres de entallas. Los recortes redondeados de vigas y las superficies de corte en materiales de conexión deben estar libres de ángulos reentrantes agudos. Los orificios de acceso a la soldadura deben crear una transición suave que no corte más allá de los puntos de tangencia entre las superficies adyacentes y deben cumplir con los requisitos de superficie de 5.14.8.3.

5.16.1 Dimensiones de los orificios de acceso a la soldadura. Todos los orificios de acceso a la soldadura deben tener una longitud desde el borde de la preparación de la junta de soldadura en la superficie interna no menor de 1-1/2 veces el espesor del material en el que se realiza el orificio. La altura mínima del orificio de acceso debe ser el espesor del material con el orificio de acceso (t_w) pero no menor de 3/4 pulgadas [20 mm]; no es necesario que la altura exceda de 2 pulgadas [50 mm]. Se debe detallar el orificio de acceso para dejar espacio necesario para el respaldo de soldadura y también para proporcionar acceso adecuado a la soldadura.

5.16.1.1 Orificios de acceso a la soldadura en secciones laminadas. El borde del alma debe estar en pendiente o curvado desde la superficie de la brida hasta la superficie reentrante del orificio de acceso. Ninguna esquina del orificio de acceso a la soldadura debe tener un radio menor de 3/8 pulgadas [10 mm].

5.16.1.2 Orificios de acceso a la soldadura en secciones armadas. Para secciones armadas en las que el orificio de acceso a la soldadura se realiza después de soldar la sección, el borde del alma debe estar en pendiente o curvado desde la superficie de la brida hasta la superficie reentrante del orificio de acceso. Ninguna esquina del orificio de acceso a la soldadura debe tener un

radio menor de 3/8 pulgadas [10 mm]. En las secciones armadas donde el orificio de acceso a la soldadura haya sido realizado antes de soldar la sección, el orificio de acceso puede terminar perpendicular a la brida, siempre que la soldadura se termine a una distancia del orificio de acceso que sea como mínimo igual al tamaño de la soldadura. Las soldaduras en filete no se deben rematar a través del orificio de acceso (véase Figura 5.2).

5.16.2 Perfiles galvanizados. Los orificios de acceso a la soldadura y recortes redondeados de vigas en perfiles que serán galvanizados se deben esmerilar hasta el metal brillante. Si la parte curvada de transición de los orificios de acceso a la soldadura y los recortes redondeados de vigas están formados por orificios previamente perforados o aserrados, esa porción del orificio de acceso o del recorte de viga no requiere esmerilado.

5.16.3 Perfiles pesados. En el caso de perfiles laminados con un espesor de ala mayor de 2 pulgadas [50 mm] y secciones soldadas con espesor de placa mayor de 2 pulgadas [50 mm] en las que la superficie curvada del orificio de acceso se corta térmicamente, antes del corte térmico se debe aplicar un precalentamiento mínimo de 150 °F [65 °C] que se extienda 3 pulgadas [75 mm] desde el área donde será cortada la curva. Para las secciones pesadas, las superficies térmicamente cortadas de los recortes redondeados de vigas y de los orificios de acceso a la soldadura se deben esmerilar hasta el metal brillante e inspeccionar por medio de métodos de MT o PT antes de la deposición de soldaduras de empalme. Los orificios de acceso a la soldadura y los recortes redondeados de vigas de otros perfiles no necesitan esmerilado ni inspección por los métodos de PT o MT.

5.17 Soldaduras de punteado y soldaduras auxiliares de construcción

5.17.1 Requisitos generales

(1) Las soldaduras de punteado y las soldaduras auxiliares para la construcción deben realizarse con una WPS calificada o precalificada y por personal calificado.

(2) Las soldaduras de punteado que no se incorporen en las soldaduras finales y las soldaduras auxiliares de la construcción que no se eliminan, deben cumplir con los requisitos de la inspección visual antes de aceptar un miembro.

5.17.2 Exclusiones. Se permiten las soldaduras de punteado y las soldaduras auxiliares de construcción excepto que:

(1) En zonas de tracción de estructuras cargadas cíclicamente no debe haber soldaduras de punteado no incorporadas a la soldadura final excepto según lo permitido por 2.17.2, ni tampoco soldaduras auxiliares de construcción. Las ubicaciones a más de 1/6 de la profundidad del alma desde las bridas en tracción de las vigas se consideran fuera de la zona de tracción.

(2) En miembros fabricados de acero revenido y templado con un límite elástico especificado mayor de 70 ksi

[485 MPa], es necesario que el Ingeniero apruebe las soldaduras de punteado que no integren la soldadura final y las soldaduras auxiliares de construcción.

5.17.3 Eliminación. En ubicaciones distintas a las mencionadas en 5.17.2, las soldaduras de punteado y las soldaduras auxiliares de construcción deben ser eliminadas cuando así lo requiera el Ingeniero.

5.17.4 Requisitos adicionales para soldaduras de punteado

(1) Las soldaduras de punteado incorporadas en las soldaduras finales deben realizarse con electrodos que cumplan con los requisitos de las soldaduras finales. Estas soldaduras deben limpiarse antes de su incorporación.

(2) Las soldaduras de punteado de pasadas múltiples deben tener extremos en cascada o estar preparadas para la incorporación en la soldadura final.

(3) Las soldaduras de punteado incorporadas a soldaduras finales que estén calificadas con tenacidad a la entalla o deban realizarse con metal de aporte clasificado con tenacidad a la entalla deben hacerse con metales de aporte compatibles.

5.17.5 Requisitos adicionales para soldaduras de punteado incorporadas a las soldaduras SAW. Se debe aplicar lo siguiente además de los requisitos de 5.17.4.

(1) No se requiere el precalentamiento para soldaduras de punteado de pasada única refundidas por soldaduras SAW continuas. Esta es una excepción a los requisitos de calificación de 5.17.1.

(2) Las soldaduras de punteado en filete no deben exceder de 3/8 pulgadas [10 mm] y no deben producir cambios objetables en la apariencia de la superficie de la soldadura.

(3) Las soldaduras de punteado en las raíces de las juntas que requieren penetración de raíz específica no deben tener una penetración disminuida.

(4) Las soldaduras de punteado que no cumplan con los requisitos de (2) y (3) que deben eliminarse o se debe reducir su tamaño por cualquier medio adecuado antes de soldar.

(5) Las soldaduras de punteado en la raíz de una junta con respaldo de acero con un espesor menor de 5/16 pulgadas [8 mm] deben eliminarse o hacerse continuas en la longitud completa de la junta usando SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, GMAW o FCAW-G.

5.18 Contraflecha de miembros armados

5.18.1 Contraflecha. Los bordes de las almas- o vigas armadas -deben cortarse según la contraflecha prescrita con la tolerancia adecuada para la contracción debido a cortes y soldaduras. Sin embargo, una variación moderada de la tolerancia de la contraflecha específica puede corregirse mediante una aplicación cuidadosa de calor.

5.18.2 Corrección. Las correcciones de los errores de contraflecha en acero revenido y templado exigen la aprobación del Ingeniero.

5.19 Empalmes

5.19.1 Empalmes de submontaje. Todos los empalmes de submontaje soldados en cada componente de una -viga cubierta de placa o de un miembro armado- deben realizarse antes de que el componente sea soldado a otros componentes del miembro.

5.19.1.1 Ubicación del empalme de taller. Los empalmes de taller de almas y bridas de vigas armadas pueden estar situados en un solo plano transversal o en múltiples planos transversales.

5.19.1.2 Empalmes cargados cíclicamente. En el caso de los miembros cargados cíclicamente, deben aplicarse las disposiciones de las especificaciones generales sobre el esfuerzo de fatiga.

5.19.2 Empalmes de los miembros. Las vigas o secciones de vigas de gran longitud pueden realizarse soldando submontajes. Los empalmes entre secciones de vigas laminadas o vigas armadas se deben realizar, preferentemente, en un solo plano transversal.

5.20 Control de la distorsión y la contracción

5.20.1 Procedimientos y secuencia. Al montar y unir piezas de una estructura o de miembros -armados y al soldar piezas de refuerzo a los miembros, el procedimiento y la secuencia deben ser tales que minimicen la distorsión y la contracción.

5.20.2 Secuencia. En cuanto sea posible, todas las soldaduras deben realizarse en una secuencia que equilibre el calor aplicado de la soldadura a medida que esta progresa.

5.20.3 Responsabilidad del Contratista. En miembros o estructuras donde pudiera esperarse una contracción o distorsión excesiva, el Contratista debe preparar una secuencia de soldadura escrita para ese miembro o estructura que cumpla con los requisitos de calidad especificados. El programa de secuencia de soldadura y de control de distorsión se debe entregar al Ingeniero, para su información y comentarios, antes de comenzar a soldar un miembro o una estructura cuando la contracción o la distorsión pueda afectar la adecuación del miembro o la estructura.

5.20.4 Progresión de la soldadura. La dirección del avance general de la soldadura de un miembro debe partir de los puntos donde las piezas tengan una posición relativamente fija entre sí hacia los puntos que tienen una mayor libertad relativa de movimiento.

5.20.5 Restricción minimizada. En los montajes, las juntas que se anticipa tendrán una contracción significativa, por lo general deben soldarse antes que las juntas en

las que se prevé menor contracción. Además, deben soldarse con la menor restricción posible.

5.20.6 Limitaciones de temperatura. Al realizar soldaduras en condiciones de restricción de contracción externas severas, una vez que la soldadura ha comenzado, no debe permitirse que la junta se enfríe por debajo del precalentamiento mínimo especificado hasta que se haya finalizado la junta o se haya depositado suficiente soldadura para garantizar que esté libre de grietas.

5.21 Tolerancia de dimensiones de juntas

5.21.1 Montaje de soldadura en filete. Las partes que se unirán por soldaduras en filete deben colocarse lo más cerca posible. La abertura de la raíz no debe exceder de 3/16 pulgadas [5 mm], excepto en casos que involucren perfiles o placas de 3 pulgadas [75 mm] de espesor o mayor, si la abertura de la raíz no puede cerrarse lo suficiente como para cumplir con esta tolerancia, después de enderezar y en el montaje. En tales casos, se puede utilizar una abertura máxima de la raíz de 5/16 pulgadas [8 mm], siempre que se utilice el respaldo adecuado. El respaldo puede ser de fundente, cinta de vidrio, polvo de hierro o materiales similares o soldaduras que utilicen un proceso de bajo hidrógeno compatible con el metal de aporte depositado. Si la separación es mayor de 1/16 pulgadas [2 mm], las piernas de la soldadura en filete deben incrementarse en un valor igual a la abertura de la raíz o el Contratista debe demostrar que se ha obtenido la garganta efectiva requerida.

5.21.1.1 Superficie de contacto. La separación entre superficies de contacto de soldaduras de tapón y en ranura y de juntas a tope que caen en un respaldo no debe exceder de 1/16 pulgada [2 mm]. Cuando las irregularidades que se producen en perfiles laminados después del enderezamiento no permiten el contacto dentro de los límites mencionados, el procedimiento necesario para traer el material dentro de estos límites debe estar sujeto a la aprobación del Ingeniero. Se debe prohibir el uso de placas de relleno excepto cuando se especifique en los planos o lo apruebe el Ingeniero de manera especial y se realice según 2.11.

5.21.2 Montaje de soldaduras en ranura con PJP. Las piezas que se unirán por soldaduras en ranura con PJP paralelas a la longitud del miembro deben colocarse lo más cerca posible. La abertura de la raíz entre las piezas no debe exceder de 3/16 pulgadas [5 mm] excepto en casos que involucren perfiles laminados o placas de 3 pulgadas [75 mm] de espesor o mayor, si la abertura de la raíz no puede cerrarse lo suficiente como para cumplir con esta tolerancia, después de enderezar y en el montaje. En tales casos, se puede utilizar una abertura máxima de la raíz de 5/16 pulgadas [8 mm], siempre que se utilice el respaldo adecuado y la soldadura final cumpla con los requisitos del tamaño de la soldadura. Las tolerancias para las juntas sometidas a carga deben cumplir con las especificaciones aplicables del contrato.

5.21.3 Alineación de la junta a tope. Las piezas que se unirán en las juntas a tope deben alinearse cuidadosamente. Cuando las partes estén efectivamente restringidas contra el doblado debido a la excentricidad de la alineación, el desplazamiento de la alineación teórica no debe exceder el 10% del espesor de la parte unida más delgada o 1/8 pulgada [3 mm], lo que sea menor. Al corregir una mala alineación en tales casos, las partes no deben colocarse en una pendiente mayor de 1/2 pulgada [12 mm] en 12 pulgadas [300 mm]. La medida del desplazamiento se debe basar en la línea central de las piezas, a menos que en los planos se muestre de otra forma.

5.21.4 Dimensiones de la ranura

5.21.4.1 Variaciones transversales de miembros no tubulares. Con la exclusión de ESW y EGW y con la excepción de 5.21.4.2 para aberturas de la raíz mayores que las permitidas en la Figura 5.3, cuando las dimensiones de la sección transversal de las juntas soldadas en ranura difieran de las mostradas en los planos de detalle por más de estas tolerancias, el Ingeniero debe decidir su aprobación o corrección.

5.21.4.2 Corrección. Las aberturas de raíz más grandes que las permitidas en 5.21.4.1, pero no mayores de dos veces el espesor de la parte más delgada o 3/4 pulgadas [20 mm], lo que sea menor, pueden corregirse por soldadura a dimensiones aceptables antes de unir las piezas mediante soldadura.

5.21.4.3 Aprobación del Ingeniero. Las aberturas de la raíz mayores que las permitidas por 5.21.4.2 pueden corregirse por soldadura únicamente con la aprobación del Ingeniero.

5.21.5 Ranuras. Las ranuras producidas por ranurado deben cumplir totalmente con las dimensiones de perfil de ranura especificadas en las Figuras 3.2 y 3.3 y las disposiciones de 3.12.3 y 3.13.1. Se debe mantener un acceso adecuado a la raíz.

5.21.6 Métodos de alineación. Los miembros que se soldarán deben estar en correcto alineamiento y sostenidos en su posición por medio de tornillos, abrazaderas, cuñas, tensores, tornapuntas y otros dispositivos adecuados, o mediante soldaduras de punteado hasta que la soldadura se haya completado. Donde sea posible, se recomienda el uso de plantillas guía y accesorios. Deben tomarse las provisiones adecuadas para el alabeo y la contracción.

5.22 Tolerancias dimensionales de miembros estructurales soldados

Las dimensiones de los miembros estructurales soldados deben cumplir con las tolerancias de (1) las especificaciones generales que rigen el trabajo y (2) las tolerancias dimensionales especiales desde 5.22.1 hasta 5.22.12. (Tenga en cuenta que una columna tubular se interpreta como un miembro tubular en compresión).

5.22.1 Rectitud de columnas y cerchas. Para columnas soldadas y miembros principales de cerchas, indepen-

dientemente de la sección transversal, la variación máxima de rectitud debe ser

Longitudes de menos de 30 pies [9 m]:

$$1/8 \text{ pulg.} \times \frac{\text{No. de pies de largo total}}{10}$$

$$1 \text{ mm} \times \text{No. de metros de largo total}$$

Longitudes de 30 pies [9 m] a 45 pies [15 m] = 3/8 pulgadas [10 mm]

Longitudes mayores de 45 pies [15 m]:

$$3/8 \text{ pulg} + 1/8 \text{ pulg.} \times \frac{\text{No. de pies de largo total} - 45}{10}$$

$$10 \text{ mm} + 3 \text{ mm} \times \frac{\text{No. de metros de largo total} - 15}{3}$$

5.22.2 Rectitud de vigas y vigas principales (sin contraflecha especificada). En las vigas o vigas principales soldadas, independientemente de la sección transversal, donde no se especifique contraflecha, la variación máxima de rectitud debe ser

$$1/8 \text{ pulg.} \times \frac{\text{No. de pies de largo total}}{10}$$

$$1 \text{ mm} \times \text{No. de metros de largo total}$$

5.22.3 Contraflecha de viga y viga principal (viga principal típica). En las vigas o vigas principales soldadas, salvo aquellas cuya brida superior está empotrada en hormigón sin cartela de concreto diseñada, independientemente de la sección transversal, la variación máxima de la contraflecha requerida en el montaje de taller (para perforar orificios para empalmes de campo o preparar empalmes soldados de campo) debe ser

a mitad del vano, -0, +1-1/2 pulgada [40 mm] para vanos ≥ 100 pies

[30 m]

-0, + 3/4 pulg. [20 mm] para vanos < 100 pies

[30 m]

en apoyos, 0 para apoyos de extremo
± 1/8 pulg. [3 mm] para apoyos interiores

en puntos intermedios, -0, + $\frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$

donde

a = distancia en pies (metros) desde el punto de inspección al apoyo más cercano

S = longitud del vano en pies (metros)

b = 1-1/2 pulg. [40 mm] para vanos ≥ 100 pies [30 m]

b = 3/4 pulg. [20 mm] para vanos < 100 pies [30 m]

véase Tabla 5.5 para valores tabulados.

5.22.4 Contraflecha de viga y viga principal (sin cartela de concreto diseñada). En los miembros cuya brida superior está empotrada en hormigón sin cartela de concreto diseñada, la variación máxima de la contraflecha requerida en el montaje de taller (para perforar orificios para empalmes de campo o preparar empalmes soldados in situ) debe ser

a mitad del vano, ± 3/4 pulg. [20 mm] para vanos ≥ 100 pies [30 m]

± 3/8 pulg [10 mm] para vanos < 100 pies [30 m]

en apoyos, 0 para apoyos de extremo
± 1/8 pulgada [3 mm] para apoyos interiores

en puntos intermedios, ± $\frac{4(a)b(1-a/S)}{S}$

donde a y S son según se definió anteriormente

b = 3/4 pulg. [20 mm] para vanos ≥ 100 pies [30 m]

b = 3/8 pulg. [10 mm] para vanos < 100 pies [30 m]

véase Tabla 5.6 para valores tabulados.

Independientemente de cómo se muestre la contraflecha en los planos de detalle, la convención del signo para la variación admitida es más (+) por encima y menos (-) por debajo de la forma combada detallada. Estas disposiciones se aplican también a un miembro individual cuando no se requieren empalmes de campo ni montaje en taller. Las medidas de la contraflecha deben realizarse sin carga.

5.22.5 Flecha de la viga y viga principal. La máxima variación de la rectitud o de la flecha especificada en el punto medio debe ser

$$\pm 1/8 \text{ in} \times \frac{\text{No. of feet of total length}}{10}$$

$$\pm 1 \text{ mm} \times \text{No. of meters of total length}$$

siempre que el miembro tenga suficiente flexibilidad lateral para permitir el acoplamiento de diafragmas, estribos transversales, riostras laterales, etc. sin dañar el miembro estructural ni sus accesorios.

5.22.6 Variación de planicidad del alma

5.22.6.1 Mediciones. Las variaciones de la planicidad de las almas de viga se deben determinar midiendo el desplazamiento de la línea central real del alma a un borde recto cuya longitud sea mayor que la dimensión menor de panel y colocada en un plano paralelo al plano nominal del alma. Las mediciones deben realizarse antes del montaje (véase Comentario).

C-5.22.6.2 Estructuras no tubulares cargadas estáticamente. Las variaciones de la planicidad de las almas con una profundidad, D, y un espesor, t, en paneles unidos con rigidizadores o pestañas, o ambos, cuya mínima dimensión del panel es d no deben exceder lo siguiente:

Rigidizadores intermedios a ambos lados del alma
donde $D/t < 150$, máxima variación = $d/100$
donde $D/t \geq 150$, máxima variación = $d/80$

Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma
donde $D/t < 100$, máxima variación = $d/100$
donde $D/t \geq 100$, máxima variación = $d/67$

Sin rigidizadores intermedios
donde $D/t \geq 100$, máxima variación = $D/150$
(véase la tabulación en el Anexo D.)

5.22.6.3 Estructuras no tubulares cargadas cíclicamente. La variación de la planicidad de las almas que tienen una profundidad, D , y un espesor, t , en paneles unidos con rigidizadores o pestañas, o ambos, cuya mínima dimensión del panel es d no deben exceder lo siguiente:

Rigidizadores intermedios a ambos lados del alma
Vigas interiores—
donde $D/t < 150$ —máxima variación = $d/115$
donde $D/t \geq 150$ —máxima variación = $d/92$

Vigas exteriores—
donde $D/t < 150$ —máxima variación = $d/130$
donde $D/t \geq 150$ —máxima variación = $d/105$

Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma
Vigas interiores—
donde $D/t < 100$ —máxima variación = $d/100$
donde $D/t \geq 100$ —máxima variación = $d/67$

Vigas exteriores—
donde $D/t < 100$ —máxima variación = $d/120$
donde $D/t \geq 100$ —máxima variación = $d/80$

Sin rigidizadores intermedios—máxima variación = $D/150$

(véase la tabulación en el Anexo E.)

5.22.6.4 Distorsión excesiva. Las distorsiones que duplican las tolerancias admitidas de 5.22.6.2 o 5.22.6.3 deben ser aceptadas cuando se producen en el extremo de una viga que ha sido perforada o subpunzonada y escariada, ya sea durante un montaje o para una plantilla de un empalme atornillado de campo, siempre que, cuando las placas de empalme estén atornilladas, el alma asuma las tolerancias dimensionales apropiadas.

5.22.6.5 Consideraciones arquitectónicas. Si las consideraciones arquitectónicas requieren tolerancias más restrictivas que las descritas en 5.22.6.2 o 5.22.6.3, se debe incluir una referencia específica en los documentos de la licitación.

5.22.7 Variación entre las líneas centrales del alma y de la brida. En el caso de miembros -armados en H o I, la variación máxima entre la línea central del alma y la línea central de la brida en la superficie de contacto no debe exceder de 1/4 pulgada [6 mm].

5.22.8 Alabeo e inclinación de la brida. En el caso de vigas y vigas principales soldadas, la combinación de alabeo e inclinación de la brida se debe determinar midiendo el

desplazamiento en el pie de la brida desde una línea normal al plano del alma a través de la intersección de la línea central del alma con la superficie exterior de la placa de la brida. Este desplazamiento no debe exceder el 1% del ancho total de la brida o 1/4 pulgada [6 mm], lo que sea mayor, salvo que las juntas a tope soldadas de partes colindantes deben cumplir con los requisitos de 5.21.3.

5.22.9 Variación de profundidad. En el caso de vigas y vigas principales soldadas, la variación máxima permitida de la profundidad especificada medida en la línea central del alma debe ser

Para profundidades de hasta 36 pulg. [1 m] incl. $\pm 1/8$ pulg. [3 mm]

Para profundidades mayores a 36 pulg [1 m]

hasta 72 pulg. [2 m] incl. $\pm 3/16$ pulg. [5 mm]

Para profundidades mayores a 72 pulg. [2 m] $\pm 5/16$ pulg. [8 mm]

$-3/16$ pulg. [5 mm]

5.22.10 Resistencia en puntos de carga. Los extremos que soportan cargas de los rigidizadores portantes deben ser perpendiculares al alma y deben tener al menos el 75% del área-transversal portante del rigidizador en contacto con la superficie interna de las bridas. Cuando la superficie externa de las bridas se soporta contra una base o asiento de acero debe encajar dentro de 0,010 pulgadas [0,25 mm] para el 75% del área proyectada del alma y los rigidizadores y en no más de 1/32 pulgadas [1 mm] para el 25 % restante del área proyectada. Las vigas sin rigidizadores deben soportar carga sobre el área proyectada del alma en la superficie externa de la brida dentro de 0,010 pulgadas [0,25 mm] y el ángulo incluido entre el alma y la brida no debe ser mayor de 90° en la longitud de soporte (véase Comentario).

5.22.11 Tolerancia sobre los rigidizadores

5.22.11.1 Ajuste de los rigidizadores intermedios. Donde se especifique el ajuste firme de rigidizadores intermedios, este debe definirse para permitir un espacio de hasta 1/16 pulgadas [2 mm] entre el rigidizador y la brida.

5.22.11.2 Rectitud de los rigidizadores intermedios. La desviación de la rectitud de los rigidizadores intermedios no debe exceder de 1/2 pulgada [12 mm] para las vigas de hasta 6 pies [1,8 m] de profundidad y 3/4 pulgadas [20 mm] para vigas de más de 6 pies [1,8 m] de profundidad, teniendo en cuenta los miembros que encajan en ellas.

5.22.11.3 Rectitud y ubicación de los rigidizadores portantes. La desviación de la rectitud de los rigidizadores portantes no debe exceder de 1/4 pulgadas [6 mm] para profundidades de hasta 6 pies [1,8 m] o 1/2 pulgada [12 mm] por encima de los 6 pies [1,8 m] de profundidad. La línea central real del rigidizador debe estar comprendida dentro del espesor del rigidizador, medida desde la ubicación central teórica.

5.22.12 Otras tolerancias dimensionales. La distorsión de los miembros de sección rectangular y otras tolerancias dimensionales de los miembros no cubiertos por 5.22 deben determinarse en forma individual y de común acuerdo entre el Contratista y el Propietario con la debida atención a los requisitos de montaje.

5.23 Perfiles de soldadura

Todas las soldaduras deben cumplir con los criterios de aceptación visual de las Tablas 6.1 y 9.16, y deben estar libres de grietas, traslapes y las discontinuidades inacceptables de perfil que se muestran en la Figura 5.4, Tabla 5.8, y Tabla 5.9, excepto como se permite en 5.23.1, 5.23.2 y 5.23.3.

5.23.1 Soldaduras en filete. Las caras de las soldaduras en filete pueden ser levemente convexas, planas o ligeramente cóncavas como se muestra en la Figura 5.4 y según lo permitido en las Tablas 5.8, 5.9, 6.1 y 9.16.

5.23.2 Excepciones para soldaduras en filete intermitentes. A excepción de la socavación permitida por el código, los requisitos de perfil de la Figura 5.4 no deben aplicarse a los extremos de soldaduras en filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.

5.23.3 Soldaduras en ranura. El refuerzo de la soldadura en ranura debe cumplir con las Tablas 5.8 y 5.9 y con las disposiciones indicadas a continuación. Las soldaduras deben tener una transición gradual hacia el plano de las superficies de metal base.

5.23.3.1 Superficies al ras. Las soldaduras que requieran estar al ras se deben acabar de manera tal de no reducir el espesor del metal base más delgado o del metal de soldadura en más de 1/32 pulg. [1 mm]. El refuerzo remanente no debe exceder de 1/32 pulgada [1 mm] de altura y debe integrarse uniformemente en la superficie del metal base con áreas de transición sin socavación. Sin embargo, se debe eliminar todo refuerzo donde la soldadura forme parte de una superficie de contacto.

5.23.3.2 Métodos de acabado y valores. Cuando se requiera un acabado de superficie los valores de rugosidad de la superficie (véase ASME B46.1) no deben exceder de 250 micropulgadas [6,3 micrómetros]. Es posible utilizar descascarillado y ranurado siempre que se complementen con esmerilado o mecanizado. En el caso de estructuras cargadas cíclicamente, el acabado debe ser paralelo a la dirección del esfuerzo primario, excepto la rugosidad final de 125 micropulgadas [3,2 micrómetros] o menos que puede ser acabada en cualquier dirección.

5.23.4 Repisas. Las repisas deben cumplir con los requisitos desde 5.9.1.1 hasta 5.9.1.5. Las repisas pueden quedar en su lugar solo para miembros cargados estáticamente.

5.24 Técnica para soldaduras de tapón y en ranura

5.24.1 Soldaduras de tapón. La técnica utilizada para realizar soldaduras de tapón cuando se utilizan los procesos SMAW, GMAW, (excepto GMAW-S) y FCAW debe ser como se indica a continuación:

5.24.1.1 Posición plana. Para las soldaduras que se realicen en posición plana, cada pasada debe depositarse alrededor de la raíz de la junta y después a lo largo de una trayectoria en espiral hasta el centro del orificio, fusionando y depositando una capa de metal de soldadura en la raíz y en el fondo de la junta. Entonces, el arco debe

moverse hacia la periferia del orificio y se debe repetir el procedimiento fusionando y depositando capas sucesivas para llenar el orificio hasta la profundidad requerida. La escoria que cubra el metal de soldadura debe mantenerse fundida hasta que se haya finalizado la soldadura. Si el arco se rompe o se permite que la escoria se enfríe, la escoria debe eliminarse completamente antes de reiniciar la soldadura.

5.24.1.2 Posición vertical. Para las soldaduras que deban realizarse en posición vertical, el arco se inicia en la raíz de la junta en el lado más bajo del orificio y se lleva hacia arriba, fusionando en la cara de la placa interna y hacia el lado del orificio. El arco se detiene en lo más alto del orificio, se limpia la escoria y se repite el proceso sobre el lado opuesto del orificio. Después de limpiar la escoria de la soldadura, se deberían depositar otras capas de manera similar para llenar el orificio hasta la profundidad requerida.

5.24.1.3 Posición sobrecabeza. Para las soldaduras que deban realizarse en la posición de sobrecabeza, el procedimiento es igual que en la posición plana, excepto que se debe permitir que la escoria se enfríe y se debe eliminar completamente después de depositar cada cordón sucesivo hasta que el orificio se haya llenado hasta la profundidad requerida.

5.24.2 Soldaduras en ranura. Las soldaduras en ranura deben realizarse utilizando técnicas similares a las especificadas en 5.24.1 para soldaduras de tapón, excepto que si la longitud de la ranura excede tres veces el ancho o si la ranura se extiende hasta el borde de la pieza, se deben aplicar los requisitos de técnica de 5.24.1.3.

5.25 Reparaciones

La eliminación del metal de soldadura o de partes del metal base puede realizarse por mecanizado, esmerilado, descascarillado o ranurado. Debe hacerse de manera tal que el metal de soldadura adyacente o el metal base no se dañe ni se ranure. El ranurado con oxígeno debe permitirse únicamente para usar en aceros en estado bruto de laminación. Se deben quitar las partes inacceptables de la soldadura sin realizar una eliminación considerable del metal base. Las superficies deben limpiarse exhaustivamente antes de soldar. El metal de soldadura debe depositarse para compensar cualquier deficiencia en tamaño.

5.25.1 Opciones del Contratista. El Contratista tiene la opción de reparar una soldadura inacceptable o de eliminarla y reemplazar la soldadura completa, excepto según lo modificado en 5.25.3. La soldadura reparada o reemplazada debe volverse a ensayar con el método usado originalmente y se deben aplicar la misma técnica y los mismos criterios de aceptación de calidad. Si el Contratista elige reparar la soldadura, debe corregirla de la siguiente manera:

5.25.1.1 Traslape, convexidad excesiva o refuerzo excesivo. Se debe eliminar el metal de soldadura en exceso.

5.25.1.2 Concavidad excesiva de la soldadura o el cráter, soldaduras de tamaño insuficiente, socavación. Se deben preparar las superficies (véase 5.29) y se debe depositar metal de soldadura adicional.

5.25.1.3 Fusión incompleta, porosidad de soldadura excesiva o inclusiones de escoria. Las partes inaceptables se deben eliminar (véase 5.25) y volver a soldar.

5.25.1.4 Grietas en la soldadura o en el metal base. La extensión de la grieta debe determinarse mediante un ataque con ácido, MT, PT u otros medios igualmente positivos. La grieta y el metal sano de hasta 2 pulgadas [50 mm] más allá de cada extremo de la grieta deben ser eliminados y soldados nuevamente.

5.25.2 Limitaciones de la temperatura de reparación de calor localizado. Los miembros distorsionados por la soldadura se deben enderezar por medios mecánicos o mediante la aplicación de una cantidad limitada de calor localizado. La temperatura de áreas calentadas medidas por métodos aprobados no debe exceder de 1100 °F [600 °C] para aceros revenidos y templados ni de 1200 °F [650 °C] para otros aceros. La parte que se vaya a calentar para enderezar debe estar sustancialmente libre de esfuerzo y de fuerzas externas, excepto los esfuerzos que resulten del método de enderezamiento mecánico usado junto con la aplicación de calor.

5.25.3 Aprobación del Ingeniero. Se debe obtener la aprobación previa del Ingeniero para reparaciones del metal base (distintas a las requeridas por 5.14), reparaciones de grietas importantes o demoradas, reparaciones de ESW y EGW con defectos internos o para obtener un diseño revisado que compense las deficiencias. El Ingeniero debe ser notificado antes de cortar miembros soldados.

5.25.4 Inaccesibilidad de soldaduras inaceptables. Si después de haber realizado una soldadura inaceptable se efectúa algún trabajo por el cual dicha soldadura es inaccesible o se generan nuevas condiciones por las cuales la corrección de la soldadura inaceptable se vuelve peligrosa o ineficaz, deben restaurarse las condiciones originales eliminando las soldaduras o los miembros agregados, o ambos, antes de realizar las correcciones. De no hacerlo así, la deficiencia debe compensarse mediante trabajo adicional realizado según un diseño revisado aprobado.

5.25.5 Restauración soldada del metal base con orificios mal localizados. Excepto donde sea necesaria la restauración por medio de soldadura por razones estructurales u otras, los orificios mal ubicados punzonados o perforados pueden dejarse abiertos o pueden llenarse con pernos. Cuando el metal base con orificios mal ubicados se restaura mediante soldadura, se aplican los siguientes requisitos:

(1) El metal base no sometido a esfuerzo de tracción cíclico puede restaurarse mediante soldadura, siempre que el Contratista prepare y siga una WPS de reparación. La solidez de la soldadura de reparación debe ser verificada por técnicas NDT apropiadas, cuando dichas pruebas estén especificadas en los documentos del contrato para soldaduras en ranura sometidas a compresión o esfuerzo de tracción.

(2) El metal base sometido a esfuerzo de tracción cíclico puede ser restaurado con soldadura siempre que:

(a) El Ingeniero apruebe la reparación por medio de soldadura y la WPS de reparación.

(b) Se siga la WPS de reparación en el trabajo y la solidez del metal base restaurado se verifique con los métodos NDT especificados en los documentos del contrato para la evaluación de las soldaduras en ranura a tracción o según lo que apruebe el Ingeniero.

(3) Además de los requisitos de (1) y (2), cuando los orificios en los metales base revenidos y templados se restauren por soldadura:

(a) Se deben utilizar el metal de aporte, la entrada de calor y el PWHT (cuando se requiera PWHT) adecuados.

(b) Deben realizarse soldaduras de muestra usando la WPS de reparación.

(c) El RT de las soldaduras de muestra debe verificar que la solidez de la soldadura cumpla con los requisitos de 6.12.2.1.

(d) Un ensayo de tracción de sección reducida (metal de soldadura); dos pruebas de doblado lateral (metal de soldadura); y tres ensayos CVN de la HAZ (área de grano grueso) retirada de las soldaduras de muestra deben usarse para demostrar que las propiedades mecánicas del área reparada cumplen con los requisitos especificados del metal base (véase Sección 4, Parte D para requisitos de ensayos CVN).

(4) Las superficies de soldadura deben acabarse según se especifica en 5.23.3.1.

5.26 Martillado

El martillado puede usarse en capas de soldaduras intermedias para el control de esfuerzos de contracción en soldaduras gruesas para prevenir el agrietamiento o la distorsión, o ambas. No se debe realizar el martillado en la raíz ni en la capa de la superficie del metal base o de soldadura en los bordes de la soldadura excepto según se establece en 9.2.7.6(3) para estructuras tubulares. Se debe tener cuidado para prevenir el traslape o el agrietamiento del metal base o de soldadura.

5.26.1 Herramientas. Se permite el uso de martillos manuales para escoria, cinceles y herramientas vibradoras de bajo peso para la eliminación de escoria y salpicaduras, pero esto no se debe considerar como martillado.

5.27 Sellado

El sellado se debe definir como la deformación plástica de las superficies del metal base y de soldadura por medios mecánicos para sellar o minimizar las discontinuidades. El sellado se debe prohibir en metales base con una carga de fluencia mínima especificada mayor de 50 ksi [345 MPa].

Para metales base con una carga de fluencia mínima especificada de 50 ksi [345 MPa] o menor se podrá usar el sellado siempre que:

- (1) todas las inspecciones hayan sido completadas y aceptadas
- (2) el sellado sea necesario para prevenir fallas en recubrimientos
- (3) la técnica y las limitaciones del sellado sean aprobadas por el Ingeniero

5.28 Golpe de arco

Los golpes de arco fuera del área de soldaduras permanentes deben evitarse sobre cualquier metal base. Las grietas o imperfecciones causadas por los golpes de arco deben ser pulidas hasta un contorno liso y verificadas para asegurar su solidez.

5.29 Limpieza de la soldadura

5.29.1 Limpieza durante el proceso. Antes de soldar sobre metal previamente depositado se debe eliminar toda la escoria y se debe limpiar la soldadura y el metal base adyacente por cepillado o por otro medio apropiado. Este requisito se debe aplicar no solo a las capas sucesivas, sino también a los cordones sucesivos y al área del cráter cuando la soldadura se reanude después de cualquier interrupción. No debe, sin embargo, restringir la realización de soldaduras de tapón y en ranura de conformidad con 5.24.

5.29.2 Limpieza de soldaduras completadas. Se debe eliminar la escoria de todas las soldaduras terminadas y la soldadura y el metal base adyacente se deben limpiar mediante cepillado u otro medio apropiado. Se aceptan las salpicaduras fuertemente adheridas que quedan después de la operación de limpieza, a menos que se re-

quiera su eliminación a los fines de NDT o pintura. Las juntas soldadas no se deben pintar hasta después de haber completado el proceso de soldadura y la soldadura haya sido aceptada.

5.30 Lengüetas de soldadura (véase 5.2.2)

5.30.1 Uso de lengüetas de soldadura. Las soldaduras se deben terminar en el extremo de una junta de manera tal que se garanticen soldaduras sólidas. Siempre que sea necesario, esto debe realizarse por medio del uso de lengüetas de soldadura alineadas de forma tal que proporcionen una extensión de la preparación de la junta.

5.30.2 Eliminación de lengüetas de soldadura para estructuras no tubulares cargadas estáticamente. En las estructuras no tubulares cargadas estáticamente no es necesario eliminar las lengüetas excepto que lo requiera el Ingeniero.

5.30.3 Eliminación de lengüetas de soldadura para estructuras no tubulares cargadas cíclicamente. En las estructuras no tubulares cargadas cíclicamente se deben eliminar las lengüetas de soldadura al completarse y enfriarse la soldadura, y los extremos de la soldadura deben alisarse y quedar al ras de los bordes de partes contiguas.

5.30.4 Extremos de juntas a tope soldadas. Los extremos de juntas a tope soldadas que deban estar al ras se terminarán de forma tal que no reduzcan el ancho más allá del ancho detallado o el ancho real proporcionado, el que sea mayor, en más de 1/8 pulgada [3 mm] o de manera tal que no deje refuerzos en cada uno de los extremos que exceda de 1/8 pulgada [3 mm]. Los extremos de una junta a tope soldada deben tener una pendiente que no exceda de 1 en 10.

Tabla 5.1
Exposición atmosférica admisible de electrodos de bajo hidrógeno (véase 5.3.2.2 y 5.3.2.3)

Electrodo	Columna A (horas)	Columna B (horas)
A5.1		
E70XX	4 máx.	
E70XXR	9 máx.	Más de 4 a 10 máx.
E70XXHZ/R	9 máx.	
E7018M	9 máx.	
A5.5		
E70XX-X	4 máx.	Más de 4 a 10 máx.
E80XX-X	2 máx.	Más de 2 a 10 máx.
E90XX-X	1 máx.	Más de 1 a 5 máx.
E100XX-X	1/2 máx.	Más de 1/2 a 4 máx.
E110XX-X	1/2 máx.	Más de 1/2 a 4 máx.

Notas:

1. Columna A: los electrodos expuestos a la atmósfera durante periodos más largos que los arriba señalados deben hornearse nuevamente antes de usarse.
2. Columna B: los electrodos expuestos a la atmósfera durante periodos más largos que los establecidos por ensayos deben hornearse nuevamente antes de usarse.
3. Los electrodos deben entregarse y mantenerse en contenedores u otros recipientes pequeños y abiertos. Los contenedores calefaccionados no son obligatorios.
4. El indicador complementario opcional, R, designa a los electrodos de bajo hidrógeno en los que se ha comprobado el contenido de humedad del revestimiento después de su exposición a un ambiente húmedo durante 9 horas y han cumplido el nivel máximo permitido en AWS A5.1/A5.1M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico revestido).

Tabla 5.2
Tiempo mínimo de retención (véase 5.8.1)

1/4" [6 mm] o menos	Más de 1/4 pulg. [6 mm] hasta 2 pulg. [50 mm]	Más de 2 pulg. [50 mm]
15 mín.	15 mín. para cada 1/4 pulg. [6 mm] o fracción de la misma	2 horas más 15 minutos para cada pulg. [25 mm] adicional o fracción de la misma de más de 2 pulg. [50 mm]

Tabla 5.3
Tratamiento térmico alternativo de alivio de tensiones (véase 5.8.2)

Disminución de la temperatura por debajo de la temperatura mínima especificada,		Tiempo mínimo de retención a temperatura disminuida, horas por pulgada [25 mm] de espesor
Δ°F	Δ°C	
50	30	2
100	60	4
150	90	10
200	120	20

Tabla 5.4
Límites de aceptación y reparación de discontinuidades laminares provocadas en la fábrica en las superficies de corte (véase 5.14.5)

Descripción de la discontinuidad	Reparación requerida
Cualquier discontinuidad de 1 pulg. [25 mm] de longitud o menos	Ninguna, no necesita ser explorada
Cualquier discontinuidad por encima de 1 pulg. [25 mm] de longitud y 1/8 pulg. [3 mm] de profundidad máxima	Ninguna, pero se debe explorar la profundidad ^a
Cualquier discontinuidad por encima de 1 pulg. [25 mm] de longitud y con una profundidad por encima de 1/8 pulg. [3 mm] pero no mayor de 1/4 pulg. [6 mm]	Eliminar, no necesita soldadura.
Cualquier discontinuidad por encima de 1 pulg. [25 mm] de longitud y con una profundidad por encima de 1/4 pulg. [6 mm] pero no mayor de 1 pulg. [25 mm]	Eliminar completamente y soldar
Cualquier discontinuidad por encima de 1 pulg. [25 mm] de longitud y con una profundidad por encima de 1 pulg. [25 mm]	véase 5.14.5.1

^a Para determinar la profundidad, se debe explorar por esmerilado una verificación aleatoria del 10% de las discontinuidades en la superficie del corte en cuestión. Si la profundidad de cualquiera de las discontinuidades exploradas excede de 1/8 pulg. [3 mm], todas las discontinuidades de más de 1 pulg. [25 mm] de longitud que queden en esa superficie de corte deben ser exploradas por esmerilado para determinar su profundidad. Si ninguna de las discontinuidades examinadas en el 10% de la verificación aleatoria tiene una profundidad que exceda de 1/8 pulg. [3 mm], no es necesario realizar la exploración del resto de las discontinuidades en esa superficie de corte.

Tabla 5.5
Tolerancia de contraflecha para vigas comunes (véase 5.22.3)

Tolerancia de contraflecha (en pulgadas)					
Luz \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 100 ft	9/16	1	1-1/4	1-7/16	1-1/2
< 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4
Tolerancia de contraflecha (en milímetros)					
Luz \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 30 m	14	25	34	38	40
< 30 m	7	13	17	19	20

Tabla 5.6
Tolerancia de contraflecha para vigas comunes sin cartela de concreto diseñada (véase 5.22.4)

Tolerancia de contraflecha (en pulgadas)					
Luz \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4
< 100 ft	1/8	1/4	5/16	3/8	3/8
Tolerancia de contraflecha (en pulgadas)					
Luz \ a/S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
≥ 30 m	7	13	17	19	20
< 30 m	4	6	8	10	10

Tabla 5.7
Tamaños mínimos de la soldadura en filete (véase 5.13)

Espesor del metal base (T) ^a		Tamaño mínimo de la soldadura en filete ^b	
pulgadas	mm	pulgadas	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 ^c	3 ^c
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

^a En el caso de los procesos que no son de bajo hidrógeno y no tienen precalentamiento calculado de conformidad con 4.8.4, T es igual al espesor de la parte más gruesa unida; se deben utilizar soldaduras de pasada única.

Tanto en los procesos de bajo hidrógeno como en los que no lo son y están establecidos para evitar el agrietamiento de conformidad con 4.8.4, T es igual al espesor de la parte unida más delgada; no se aplica el requisito de pasada única.

^b Excepto que no es necesario que el tamaño de la soldadura supere el espesor de la parte más delgada unida.

^c El tamaño mínimo para las estructuras cargadas ciclicamente debe ser de 3/16 pulg. [5 mm].

Tabla 5.8
Perfiles de soldadura^a (véase 5.23)

Tipo de soldadura	Tipo de junta					A tope con repisa
	A tope	Esquina - Interior	Esquina - Exterior	Junta en T	Traslape	
Ranura (CJP o PJP)	Figura 5.4A	Figura 5.4B ^b	Figura 5.4C	Figura 5.4D ^b	N/A	Figura 5.4G
	Programa A	Programa B	Programa A	Programa B	N/A	véase Nota c
Filete	N/A	Figura 5.4E	Figura 5.4F	Figura 5.4E	Figura 5.4E	N/A
	N/A	Programa C	Programa C o D ^d	Programa C	Programa C	N/A

^a Los programas de la A a la D se proporcionan en la Tabla 5.9.

^b En el caso de soldaduras en filete de refuerzo requeridas por diseño, se aplican las restricciones de perfil para cada ranura y filete en forma separada.

^c Las soldaduras realizadas usando repisas y soldaduras hechas en posición horizontal entre barras verticales de espesor desigual están exentas de las limitaciones R y C. véase Figuras 5.4G y 5.4H para detalles típicos.

^d véase en la Figura 5.4F una descripción de dónde corresponde aplicar los Programas C y D.

Tabla 5.9
Programas de perfil de soldadura (véase 5.23)

Programa A	(t = espesor de la placa más gruesa unida para CJP; t = <u>tamaño de la soldadura</u> para PJP)			
	t	R mín.	R máx.	
	≤ 1 pulg. [25 mm]	0	1/8 pulg. [3 mm]	
	> 1 pulg. [25 mm], ≤ 2 pulg. [50 mm]	0	3/16 pulg. [5 mm]	
	> 2 pulg. [50 mm]	0	1/4 pulg. [6 mm] ^a	
Programa B	(t = espesor de la placa más gruesa unida para CJP; t = <u>tamaño de la soldadura</u> para PJP; C = convexidad o concavidad admisible)			
	t	R mín.	R máx.	C máx. ^b
	< 1 pulg. [25 mm]	0	sin límites	1/8 pulg. [3 mm]
	≥ 1 pulg. [25 mm]	0	sin límites	3/16 pulg. [5 mm]
Programa C	(W = ancho de la cara de la soldadura o cordón de superficie individual; C = convexidad admisible)			
	W	C máx. ^b		
	≤ 5/16 pulg. [8 mm]	1/16 pulg. [2 mm]		
	> 5/16 pulg. [8 mm], < 1 pulg. [25 mm]	1/8 pulg. [3 mm]		
	≥ 1 pulg. [25 mm]	3/16 pulg. [5 mm]		
Programa D	(t = espesor de la más delgada de las dimensiones del borde expuesto; <u>C = convexidad admisible</u> ; véase Figura 5.4F)			
	t	C máx. ^b		
	cualquier valor de t	t/2		

^a Para estructuras cargadas cíclicamente, R máx. para materiales > 2 pulg. [50 mm] de espesor es de 3/16 pulg. [5 mm].

^b No hay restricción en la concavidad, siempre que se logre el tamaño mínimo de la soldadura (tomando en cuenta tanto la pierna como la garganta).

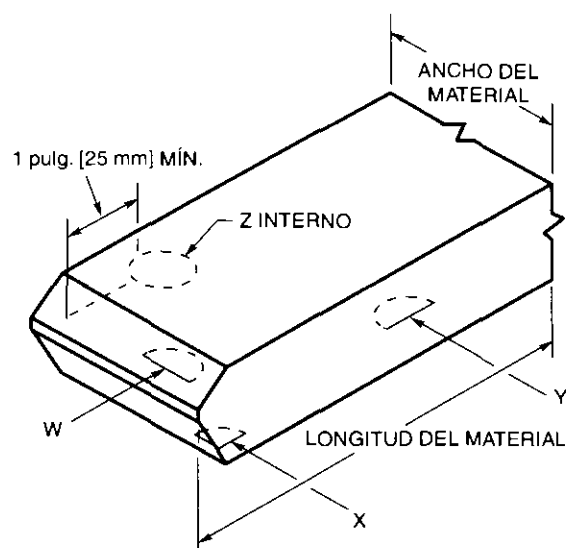
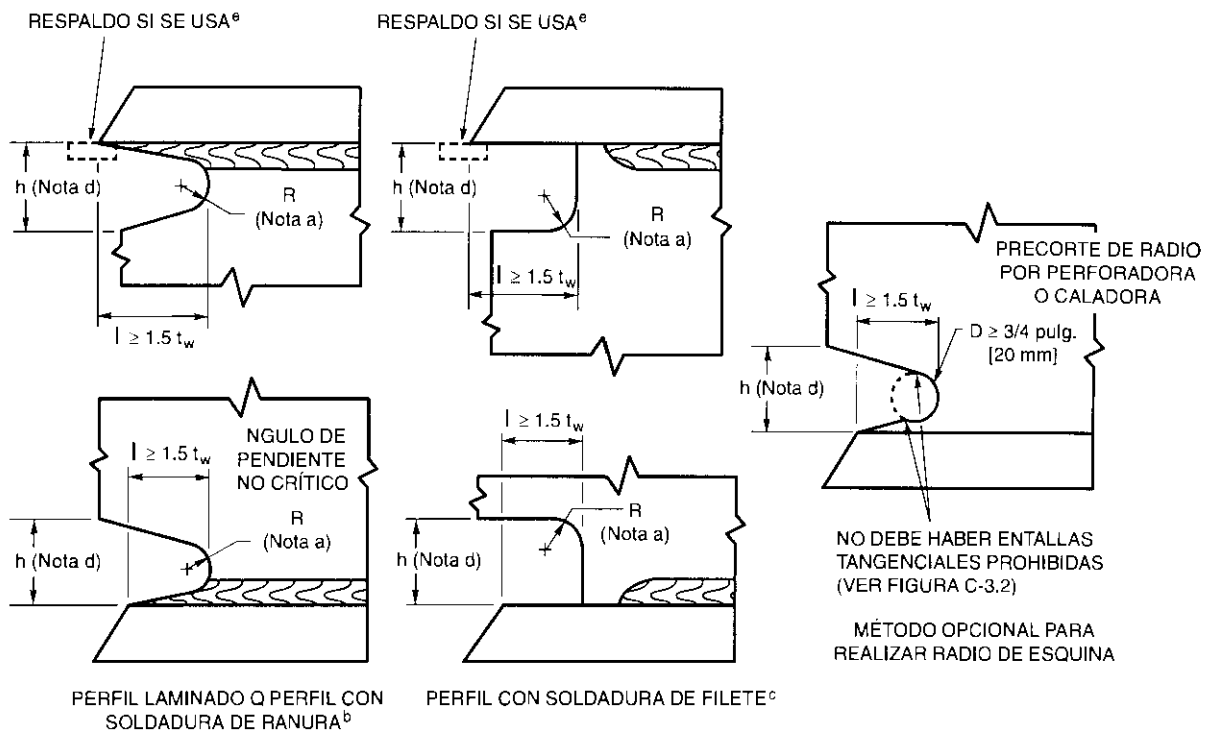


Figura 5.1—Discontinuidades de borde en material de corte (véase 5.14.5.1)



^a El radio debe proporcionar una transición suave sin entallas; $R \geq 3/8$ pulg. [10 mm] (típico $1/2$ pulg. [12 mm]).

^b Orificio de acceso realizado después de soldar el alma a la brida.

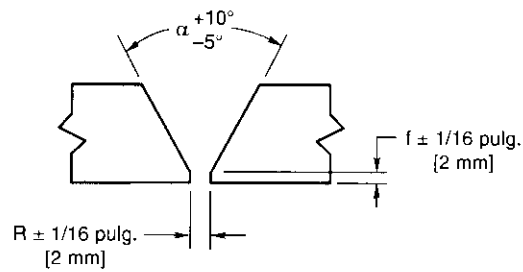
^c Orificio de acceso realizado antes de soldar el alma a la brida. La soldadura de alma a la brida no debe retornarse a través del orificio.

^d $h_{\min} = 3/4$ pulg. [20 mm] o t_w (espesor del alma), el que sea mayor, $h_{\min}$ no debe exceder 2 pulg. [50 mm].

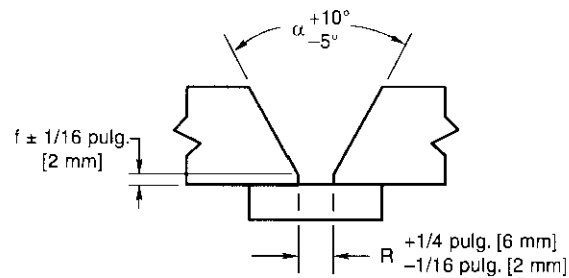
^e Estos son los detalles típicos para juntas soldadas desde un lado contra el respaldo de acero. Se deben considerar diseños de junta alternativos.

Nota: En el caso de perfiles laminados con espesores de brida mayores de 2 pulg. [50 mm] y formas incorporadas con espesor de material de alma superior a $1-1/2$ pulg. [40 mm], precaliente a 150°F [65°C] previo al corte térmico, esmerile e inspeccione los bordes cortados térmicamente del orificio de acceso utilizando métodos MT o PT antes de realizar soldaduras en ranura de empalme de alma y brida.

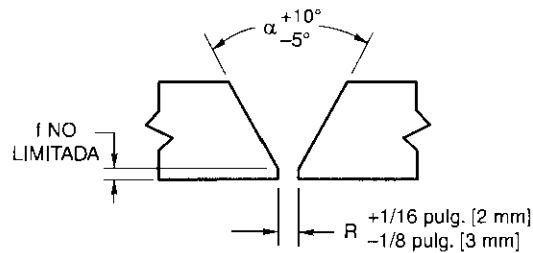
Figura 5.2—Geometría de orificio de acceso de soldadura (véase 5.16.1.2)



**(A) SOLDADURA DE RANURA SIN RESPALDO -
RAÍZ SIN RANURADO DEL LADO OPUESTO**



**(B) SOLDADURA DE RANURA CON RESPALDO -
RAÍZ SIN RANURADO DEL LADO OPUESTO**

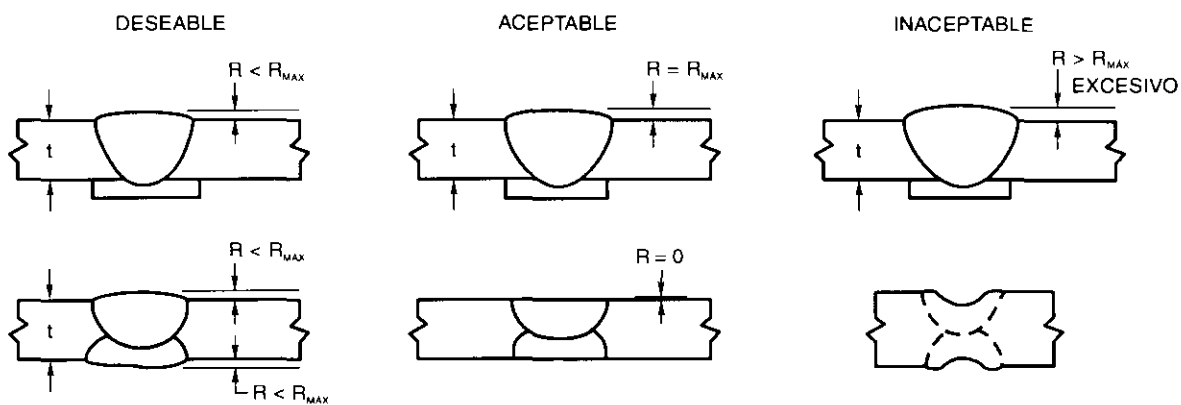


**(C) SOLDADURA DE RANURA SIN RESPALDO -
RAÍZ RANURADA DEL LADO OPUESTO**

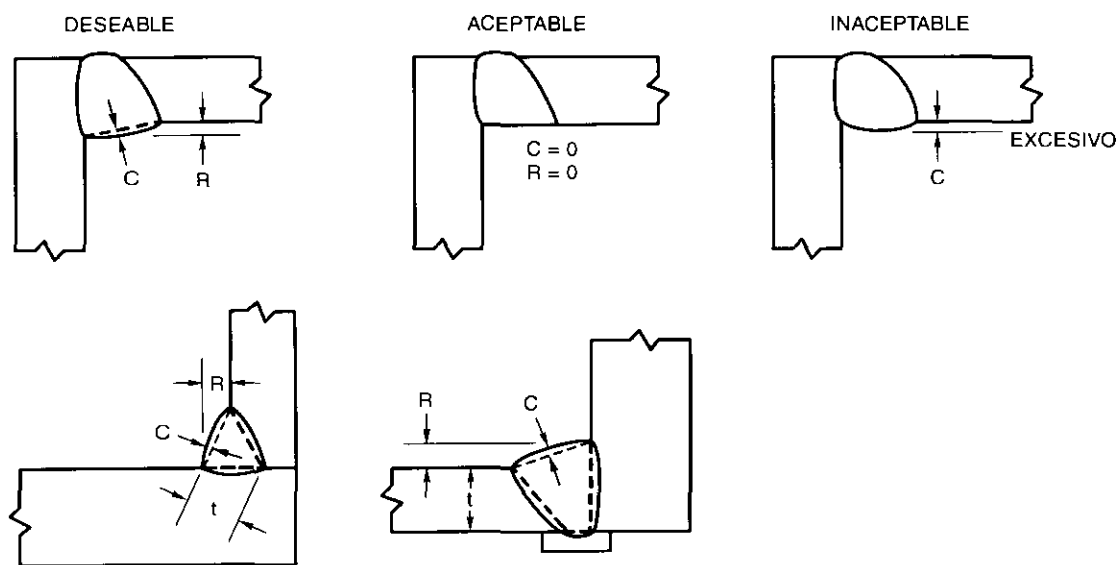
	Raíz no Ranurada del lado opuesto		Raíz Ranurada del lado opuesto	
	pulg.	mm	pulg.	mm
(1) Cara de la raíz de la junta	±1/16	2	Ilimitado	
(2) Abertura de la raíz de juntas sin respaldo	±1/16	2	+1/16 -1/8	2 3
Abertura de la raíz de juntas con respaldo	+1/4 -1/16	6 2	No aplicable	
(3) Ángulo de ranura de la junta	+10° -5°		+10° -5°	

Nota: Consulte en 9.24.2.1 las tolerancias de soldaduras en ranura tubulares CJP realizadas de un lado sin respaldo.

**Figura 5.3—Tolerancias de mano de obra en
el montaje de juntas soldadas en ranura
(véase 5.21.4.1)**

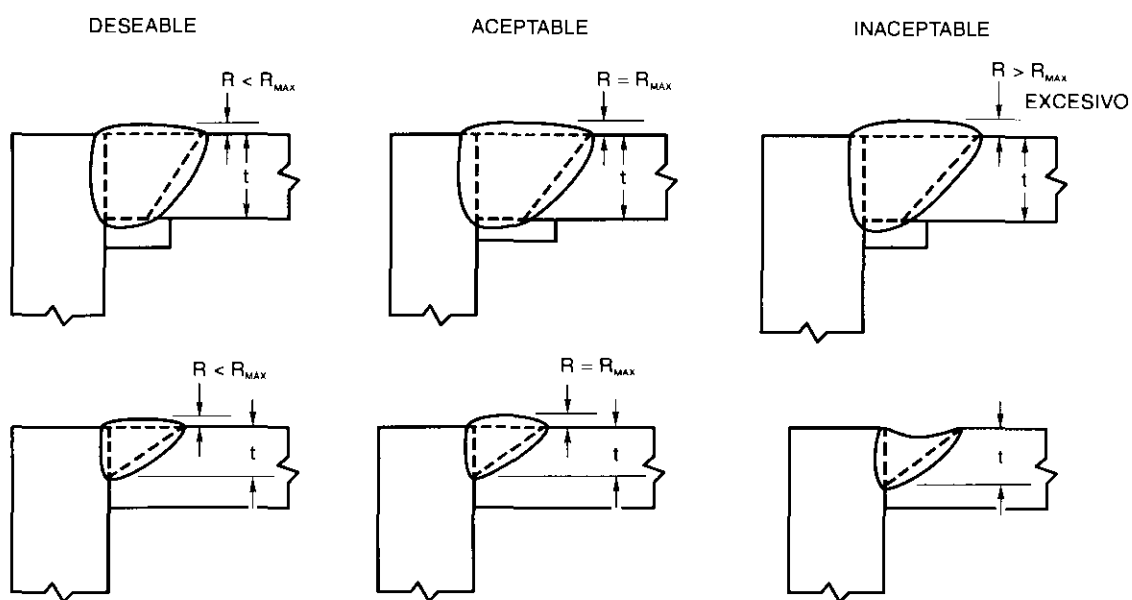


(A) PERFILES DE SOLDADURA PARA JUNTAS A TOPE

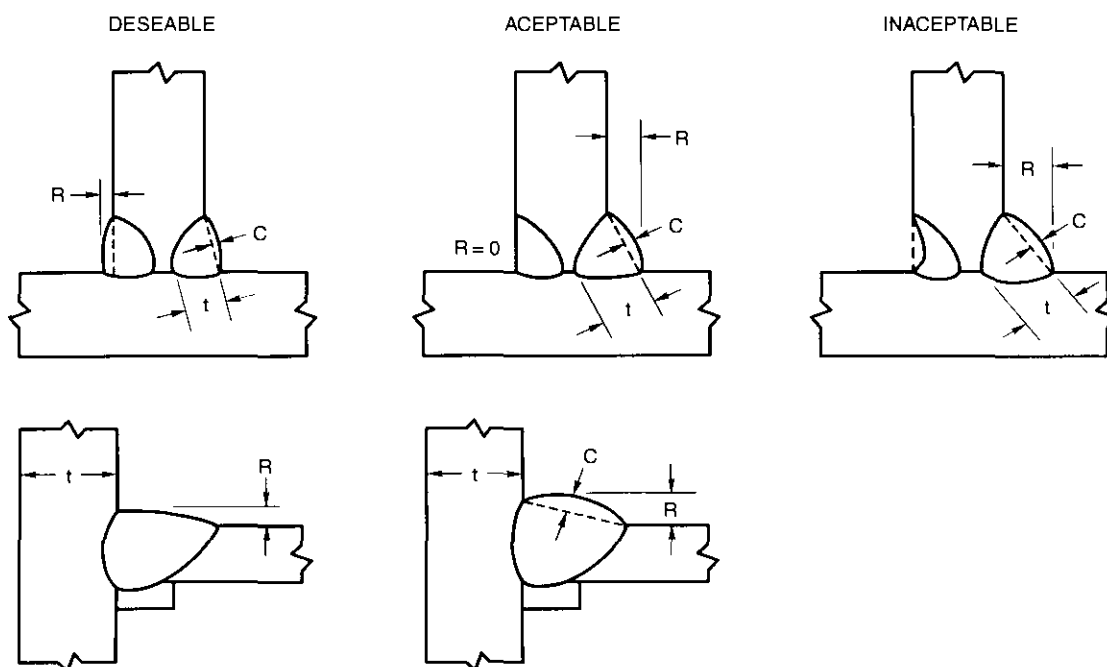


(B) PERFILES DE SOLDADURA DE RANURA DENTRO DE JUNTAS EN ESQUINA

Figura 5.4—Requisitos para perfiles de soldadura (véase Tablas 5.8 y 5.9)

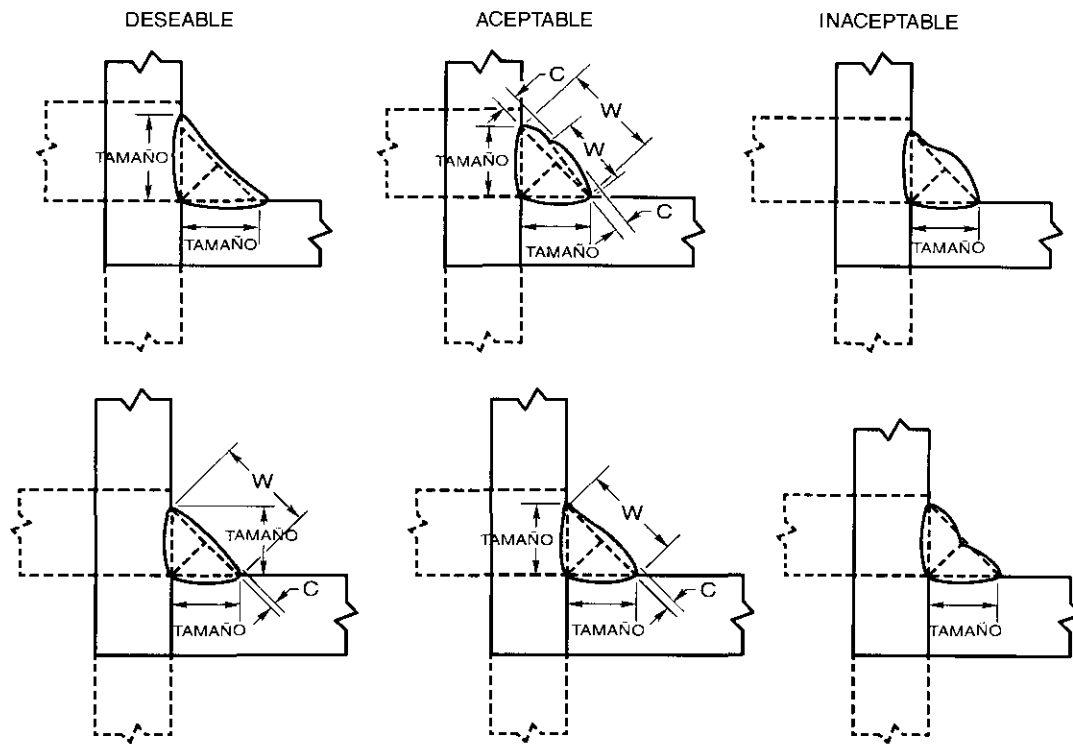


(C) PERFILES DE SOLDADURA DE RANURA FUERA DE JUNTAS EN ESQUINA

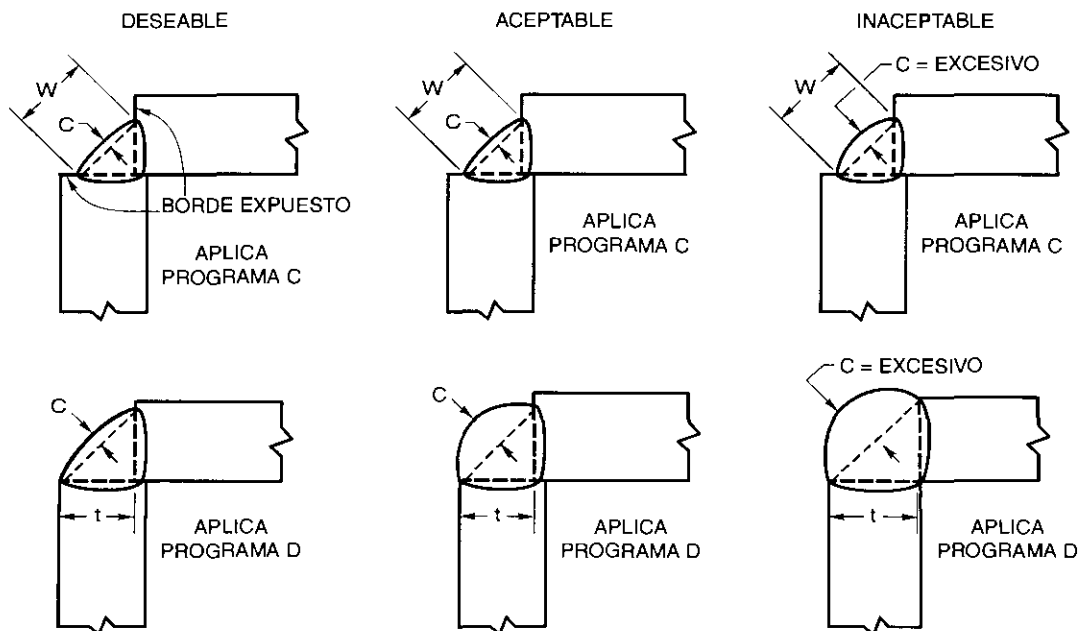


(D) PERFILES DE SOLDADURA DE RANURA EN JUNTAS EN T

**Figura 5.4 (Continuación)—Requisitos para perfiles de soldadura
(véase Tablas 5.8 y 5.9)**

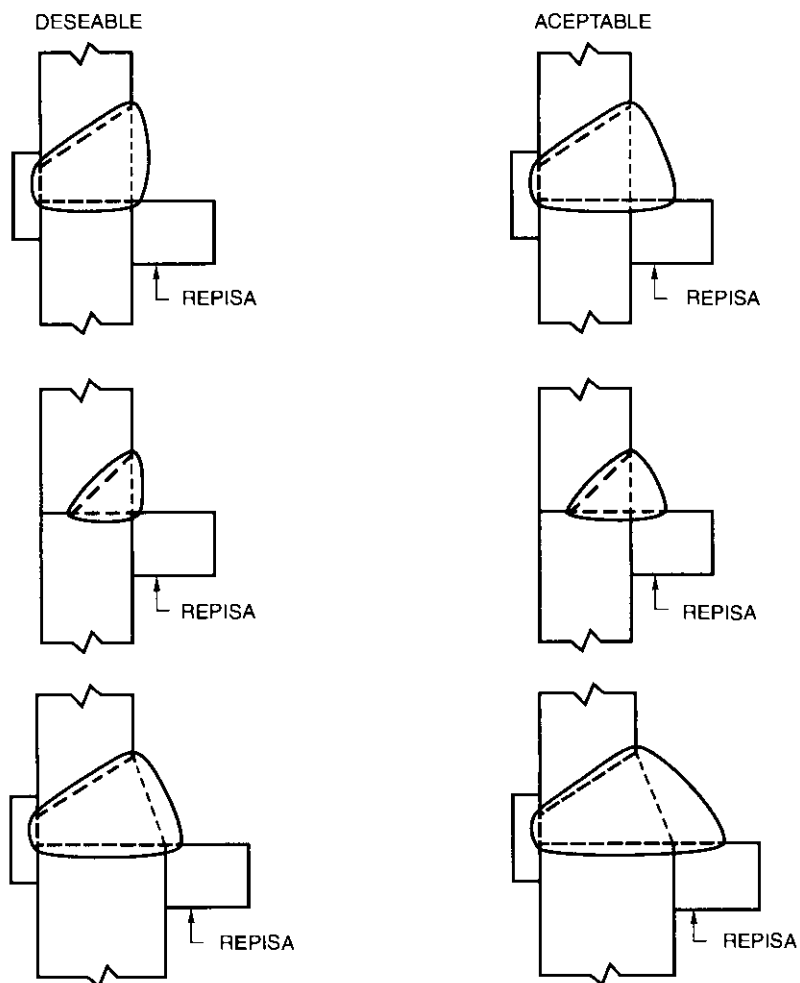


(E) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE PARA JUNTAS EN ESQUINA INTERNAS, JUNTAS TRASLAPADAS Y JUNTAS EN T

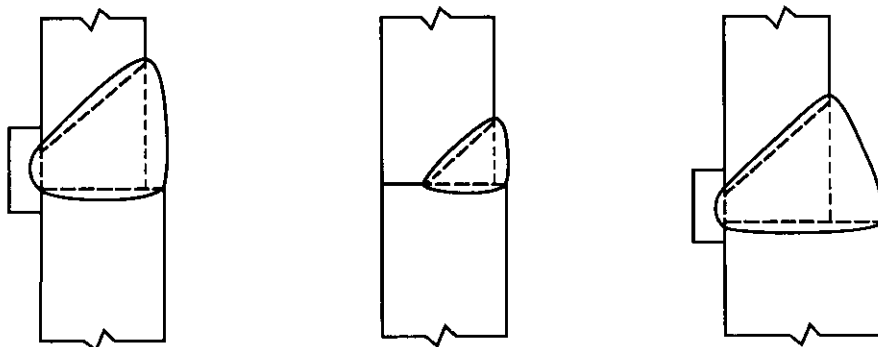


(F) PERFILES DE SOLDADURA DE FILETE PARA JUNTAS EN ESQUINA EXTERNAS

Figura 5.4 (Continuación)—Requisitos para perfiles de soldadura
(véase Tablas 5.8 y 5.9)



(G) DETALLES DE REPISA TÍPICA

(H) PERFILES TÍPICOS PARA SOLDADURAS B_{un} ENTRE ESPESORES DESIGUALES**Figura 5.4 (Continuación)—Requisitos para perfiles de soldadura
(véase Tablas 5.8 y 5.9)**

6. Inspección

Parte A *Requisitos generales*

6.1 Alcance

La Sección 6 contiene todos los requisitos para las calificaciones y responsabilidades del Inspector, los criterios de aceptación para discontinuidades y los procedimientos para NDT.

6.1.1 Información suministrada a los licitadores. Cuando se requieran otras técnicas de NDT además de la inspección visual, dicho requisito deberá estar estipulado en la información provista a los licitadores. Esta información deberá designar las categorías de las soldaduras a examinar, el alcance de la evaluación de cada categoría y el método o los métodos de ensayo.

6.1.2 Inspecciones y condiciones del contrato. Para los fines de este código, la inspección y el ensayo de construcción /montaje y la inspección y el ensayo de verificación deben ser funciones separadas.

6.1.2.1 Inspección del Contratista. Este tipo de inspección y ensayo deben llevarse a cabo conforme sea necesario previo al montaje, durante el montaje y después de la soldadura para garantizar que los materiales y la mano de obra cumplan con los requisitos de los documentos del contrato. La inspección y los ensayos de la construcción /montaje serán responsabilidad del Contratista excepto que se estipule lo contrario en los documentos del contrato.

6.1.2.2 Inspección de verificación. Se debe realizar este tipo de inspección y ensayo e informar sus resultados al Propietario y al Contratista oportunamente para evitar demoras en el trabajo. La inspección y los ensayos de verificación son prerrogativas del Propietario quien puede realizar esta función o, cuando así se disponga en el contrato, no exigir la verificación independiente o estipular que tanto la inspección como la verificación sean realizadas por el Contratista.

6.1.3 Definición de categorías de Inspector

6.1.3.1 Inspector del Contratista. Este Inspector es la persona debidamente designada que actúa por orden y en nombre del Contratista en todos los temas de inspec-

ción y de calidad dentro del alcance de los documentos del contrato.

6.1.3.2 Inspector de verificación. Este Inspector es la persona debidamente designada que actúa por orden y en nombre del Propietario o del Ingeniero en todos los temas de inspección y de calidad dentro del alcance de los documentos del contrato.

6.1.3.3 Inspectores. Cuando el término Inspector se utiliza sin más calificación respecto de las categorías específicas de Inspector descritas anteriormente, se aplica de igual forma a la inspección y verificación dentro de los límites de responsabilidad descritos en 6.1.2.

6.1.4 Requisitos de calificación de Inspector

6.1.4.1 Bases para la calificación. Los Inspectores responsables de la aceptación o el rechazo de los materiales y de la mano de obra deben estar calificados. Las bases de la calificación deben estar documentadas. Si el Ingeniero elige especificar las bases de la calificación del Inspector debe detallarlo en los documentos del contrato.

Las bases de calificación aceptables serán las siguientes:

(1) Certificación actual o previa como Inspector certificado de soldadura (CWI) de la AWS, según las disposiciones de la AWS QC1, *Standard for AWS Certification of Welding Inspectors (Norma para la certificación de Inspectores de soldaduras de la AWS)*, o

(2) Calificación actual o previa por parte de la Canadian Welding Bureau (Oficina Canadiense de Soldadura, CWB) según los requisitos de la Norma W178.2, *Certification of Welding Inspectors (Certificación de Inspectores de soldadura)* de la Asociación Canadiense de Normas (CSA), o

(3) Una persona que por capacitación o experiencia, o ambas, en cuanto a inspección, construcción y ensayos de metales, sea competente para realizar la inspección del trabajo.

6.1.4.2 Términos de efectividad. La calificación de un Inspector estará vigente indefinidamente, siempre que el Inspector continúe activo en la inspección de la construcción de acero soldado, salvo que exista una razón específica para cuestionar la capacidad del Inspector.

6.1.4.3 Inspector asistente. El Inspector puede recibir ayuda de Inspectores Asistentes quienes pueden realizar funciones específicas de inspección bajo la

supervisión del Inspector. Los Inspectores Asistentes deben estar calificados por capacitación y experiencia para realizar las funciones específicas para las que hayan sido asignados. El trabajo de los Inspectores Asistentes debe ser monitoreado regularmente por el Inspector, en general, diariamente.

6.1.4.4 Examen de la vista. Los Inspectores y los Inspectores Asistentes deben haber aprobado un examen de la vista con o sin lentes correctivos para comprobar la agudeza visual de Jaeger J-2 a una distancia de 12 pulg. a 17 pulg. [300 mm a 430 mm]. El examen de la vista de todo el personal de inspección debe ser solicitado cada tres años o menos si fuera necesario demostrar la aptitud.

6.1.4.5 Autoridad de verificación. El Ingeniero tendrá autoridad para verificar la calificación de los Inspectores.

6.1.5 Responsabilidad del Inspector. El Inspector debe verificar que toda construcción y montaje por soldadura se realice de acuerdo con los requisitos de los documentos del contrato.

6.1.6 Elementos que se deben suministrar al Inspector. El Inspector debe recibir los planos completos detallados que muestren el tamaño, la longitud, el tipo y la ubicación de todas las soldaduras que se deban realizar. El Inspector debe recibir también la parte de los documentos del contrato que describa los requisitos de materiales y calidad para los productos que deban ser fabricados o montados o ambos.

6.1.7 Notificación al Inspector. Se debe notificar al Inspector con anticipación respecto del inicio de operaciones sometidas a inspección y verificación.

6.2 Inspección de materiales y equipos

El Inspector del Contratista debe garantizar que solo se utilicen materiales y equipos que cumplan con este código.

6.3 Inspección de las WPS

6.3.1 WPS precalificadas. El Inspector del Contratista debe garantizar que todas las WPS precalificadas a ser utilizadas para el trabajo cumplan con los requisitos de las Secciones 3, 5, 9 (si son tubulares), y los documentos del contrato.

6.3.2 WPS calificadas por ensayo. El Inspector del Contratista debe garantizar que todas las WPS calificadas por ensayo cumplan con los requisitos de las Secciones 4, 5, 9 (si son tubulares), y con los documentos del contrato.

6.3.3 WPS en producción. El Inspector del Contratista debe garantizar que todas las operaciones de soldadura se realicen según las WPS que cumplan con los requisitos de este código y con los documentos del contrato.

6.4 Inspección de las calificaciones del soldador, operario de soldadura y soldador de punteado

6.4.1 Determinación de la calificación. El Inspector solo debe permitir que la soldadura sea realizada por soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado calificados según los requisitos de la Sección 4, o Sección 9 para tubulares o debe garantizar que cada soldador, operario de soldadura o soldador de punteado haya demostrado previamente dicha calificación bajo otra supervisión aceptada y aprobada por el Ingeniero según 4.2.2.1.

6.4.2 Repetición de ensayos sobre la base de la calidad del trabajo. Cuando la calidad del trabajo de un soldador, operario de soldadura o soldador de punteado pareciera estar por debajo de los requisitos de este código, el Inspector puede requerir que el soldador, operario de soldadura o el soldador de punteado demuestre su capacidad para producir soldaduras sólidas del tipo que no ha cumplido los requisitos por medio de un ensayo simple, tal como la prueba de rotura de soldadura en filete, o por medio de una recalificación completa de acuerdo con la Sección 4, o Sección 9 para tubulares.

6.4.3 Repetición de ensayos por vencimiento de la calificación. El Inspector exigirá la recalificación de cualquier soldador, operario de soldadura o soldador de punteado que no haya utilizado el proceso (para el que está calificado) durante un período superior a seis meses (véase 4.2.3.1).

6.5 Inspección de trabajos y registros

6.5.1 Tamaño, longitud y ubicación de soldaduras. El Inspector debe garantizar que el tamaño, la longitud y la ubicación de todas las soldaduras cumplan con los requisitos de este código y con los planos de detalle y que no se hayan agregado soldaduras no especificadas sin la aprobación del Ingeniero.

6.5.2 Alcance de las inspecciones. El Inspector debe observar, a intervalos adecuados, la preparación de la junta, la práctica de montaje, las técnicas de soldadura y el desempeño de cada soldador, operario de soldadura y soldador de punteado para garantizar que se cumpla con los requisitos aplicables de este código.

6.5.3 Alcance de la inspección. El Inspector debe examinar el trabajo para garantizar que cumpla con los requisitos de este código. Es posible utilizar otros criterios de aceptación, diferentes de los descritos en este código, cuando estén aprobados por el Ingeniero. El tamaño y el contorno de las soldaduras se deben medir con calibres adecuados. La inspección visual de las grietas y otras discontinuidades en las soldaduras y en el metal base debe estar asistida por una luz fuerte, lupas y otros dispositivos que puedan ser útiles.

6.5.4 Identificación de las inspecciones realizadas por el Inspector. Los Inspectores deben identificar con una marca distintiva u otros métodos de registro todas las

partes o juntas que hayan inspeccionado y aceptado. Se podrá utilizar cualquier método de registro acordado mutuamente. Se debe prohibir el estampado de miembros cargados cíclicamente sin la aprobación del Ingeniero.

6.5.5 Mantenimiento de registros. El Inspector debe guardar un registro de las calificaciones de todos los soldadores, operarios de soldadura y soldadores de punteado; todas las calificaciones de la WPS y otros ensayos realizados y cualquier otra información que pueda requerirse.

Parte B

Responsabilidades del Contratista

6.6 Obligaciones del Contratista

6.6.1 Responsabilidades del Contratista. El Contratista será responsable de la inspección visual y de la corrección necesaria de todas las deficiencias de los materiales y la mano de obra según los requisitos de este código.

6.6.2 Solicitudes del Inspector. El Contratista debe cumplir con todas las peticiones del Inspector o los Inspectores y corregir las deficiencias de los materiales y la mano de obra conforme a lo previsto en los documentos del contrato.

6.6.3 Criterio de ingeniería. En el caso de que la soldadura defectuosa o su eliminación para una segunda soldadura dañe el metal base de manera que a juicio del Ingeniero su retención no cumpla con la intención de los documentos del contrato, el Contratista deberá eliminar y reemplazar el metal base dañado o compensar la deficiencia en la forma aprobada por el Ingeniero.

6.6.4 NDT especificado aparte del visual. Cuando se especifica un NDT aparte de la inspección visual en la información provista a los licitadores, será responsabilidad del Contratista garantizar que todas las soldaduras cumplan con los requisitos de calidad de la Sección 6, Parte C, o Sección 9, Parte F para tubulares, la que sea aplicable.

6.6.5 NDT no especificado aparte del visual. Si no se especifica un NDT aparte de la inspección visual en el acuerdo de contrato original, pero posteriormente el Propietario lo solicita, el Contratista deberá realizar los ensayos solicitados o deberá permitir la realización de cualquier ensayo de acuerdo con 6.14. El Propietario será responsable de los costos asociados, incluyendo el manejo, la preparación de la superficie, el NDT y la reparación de las discontinuidades excepto las descritas en 6.9, lo que corresponda, a tasas acordadas mutuamente entre el Propietario y el Contratista. Sin embargo, si dicha prueba revelara un intento de defraudar o una violación flagrante de este código,

el trabajo de reparación será realizado a cargo del Contratista.

Parte C

Criterios de aceptación

6.7 Alcance

Los criterios de aceptación para inspección visual y NDT de conexiones no tubulares cargadas estática y cíclicamente se describen en la Parte C. El alcance del examen y los criterios de aceptación deben estar especificados en los documentos del contrato y la información provista al licitador.

6.8 Aprobación del Ingeniero de criterios de aceptación alternativos

La premisa fundamental del código es proporcionar las condiciones generales aplicables a la mayoría de las situaciones. Los criterios de aceptación para soldaduras de producción diferentes de los descritos en el código pueden ser utilizados para una aplicación específica, siempre que estén documentados adecuadamente por quien los propone y aprobados por el Ingeniero. Estos criterios alternativos de aceptación pueden estar basados en la evaluación de aptitud para el servicio según la experiencia pasada, evidencia experimental o el análisis de ingeniería considerando el tipo de material, los efectos de la carga de servicio y factores medioambientales.

6.9 Inspección visual

Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente y serán aceptables si cumplen con los criterios de la Tabla 6.1, o la Tabla 9.16 (si son tubulares).

6.10 Ensayo de penetración (PT) y ensayo de partícula magnética (MT)

Las soldaduras sometidas a PT y MT, además de la inspección visual, deben ser evaluadas sobre la base de los criterios de aceptación para la inspección visual. Los ensayos se deben realizar según 6.14.4 o 6.14.5, según corresponda.

6.11 Ensayos no destructivos (NDT)

Excepto por lo dispuesto en 9.29 para tubulares, todos los métodos NDT, incluyendo los requisitos y calificaciones de equipos, la calificación del personal y los métodos operativos, deben cumplir con la Sección 6, Inspección. Los criterios de aceptación serán los descritos en esta sección. Las soldaduras sometidas a NDT deben haber sido consideradas aceptables por la inspección visual de acuerdo a 6.9.

Para soldaduras sometidas a NDT de acuerdo con 6.10, 6.11, 9.26.2 y 9.27.1, los ensayos pueden comenzar inmediatamente después de que las soldaduras finalizadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517, y A709 Grado HPS 100W [690W] deberán estar basados en NDT realizado en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de las soldaduras.

6.12 Prueba radiográfica (RT)

Las soldaduras examinadas por RT que no cumplan con los requisitos de la Parte C o con los criterios alternativos de aceptación de 6.8, deberán ser reparadas según 5.25. Las discontinuidades que no sean grietas deben ser evaluadas según sean alargadas o redondeadas. Independientemente del tipo de discontinuidad, una discontinuidad alargada será definida como aquella cuya longitud excede tres veces su ancho. Una discontinuidad redondeada será definida como aquella en la que su longitud es tres veces su ancho o menos, que puede ser redonda o irregular y que puede tener extremos agudos.

6.12.1 Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente. Las soldaduras que están sometidas a RT además de la inspección visual no deben tener grietas y serán inaceptables si la RT muestra discontinuidades que excedan las siguientes limitaciones. Las limitaciones dadas por la Figura 6.1 para el tamaño de la soldadura (E) 1-1/8 pulg. [30 mm] se deben aplicar a todos los tamaños de la soldadura superiores a 1-1/8 pulg. [30 mm].

(1) Las discontinuidades alargadas que excedan el tamaño máximo de la Figura 6.1.

(2) Las discontinuidades con una separación menor que el espacio mínimo permitido de la Figura 6.1.

(3) Las discontinuidades redondeadas superiores a un tamaño máximo de $E/3$, no deben exceder de 1/4 pulg. [6 mm]. Sin embargo, cuando E es superior a 2 pulg. [50 mm], la indicación redondeada máxima puede ser de 3/8 pulg. [10 mm]. La separación mínima de las discontinuidades redondeadas que sean mayores o iguales a 3/32 pulg. [2,5 mm] hasta una discontinuidad alargada o redondeada aceptable o hasta un borde o extremo de una soldadura intersectante deberá ser tres veces mayor que la dimensión de mayor longitud de las discontinuidades más grandes que estén siendo consideradas.

(4) En la intersección de una soldadura con otra soldadura o con un borde libre (es decir, un borde más allá del cual no existe extensión de material) las discontinui-

dades aceptables deben cumplir con las limitaciones de la Figura 6.1, Casos I-IV.

(5) Las discontinuidades aisladas tales como un grupo de indicaciones redondeadas, cuando la suma de sus dimensiones mayores supere el tamaño máximo de discontinuidad permitido en la Figura 6.1. La separación mínima hasta otra discontinuidad agrupada, alargada o redondeada o hasta un borde o extremo de una soldadura intersectante deberá ser tres veces mayor que la dimensión de mayor longitud de las discontinuidades que estén siendo consideradas.

(6) La suma de las discontinuidades individuales, cada una con una dimensión mayor de menos de 3/32 pulg. [2,5 mm] no debe exceder de $2E/3$ o 3/8 pulg. [10 mm], la que sea menor, en cualquier tramo lineal de 1 pulg. [25 mm] de soldadura. Este requisito es independiente de (1), (2) y (3), citados anteriormente.

(7) Discontinuidades en línea, en las que la suma de las dimensiones más grandes sea mayor que E en cualquier tramo de 6E de longitud. Cuando la longitud de la soldadura examinada sea inferior a 6E, la suma admisible de las dimensiones más grandes debe ser proporcionalmente inferior.

6.12.2 Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente. Las soldaduras que se someten a RT además de la inspección visual no deben tener grietas y serán inaceptables si la RT muestra alguno de los tipos de discontinuidad descritos en 6.12.2.1, 6.12.2.2, o 6.12.2.3. Las limitaciones dadas por las Figuras 6.2 y 6.3 para el tamaño de la soldadura (E) 1-1/2 pulg. [38 mm] se deben aplicar a todos los Tamaños de la soldadura superiores a 1-1/2 pulg. [38 mm].

6.12.2.1 Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente a tracción

(1) Discontinuidades que exceden el tamaño máximo de la Figura 6.2.

(2) Discontinuidades con una separación menor que el espacio mínimo permitido de la Figura 6.2.

(3) En la intersección de una soldadura con otra soldadura o con un borde libre (es decir, un borde más allá del cual no existe extensión de material) las discontinuidades aceptables deben cumplir con las limitaciones de la Figura 6.2, Casos I-IV.

(4) Las discontinuidades aisladas tales como un grupo de indicaciones redondeadas, cuando la suma de sus dimensiones mayores supere el tamaño máximo de discontinuidad permitido en la Figura 6.2. La separación mínima hasta otra discontinuidad agrupada, alargada o redondeada o hasta un borde o extremo de una soldadura intersectante deberá ser tres veces mayor que la dimensión de mayor longitud de las discontinuidades que estén siendo consideradas.

(5) La suma de las discontinuidades individuales, cada una con una dimensión mayor de menos de 3/32 pulg. [2,5 mm] no debe exceder de $2E/3$ o 3/8 pulg. [10 mm], la que sea menor, en cualquier tramo lineal de

1 pulg. [25 mm] de soldadura. Este requisito es independiente de (1), (2) y (3), citados anteriormente.

(6) Discontinuidades en línea, en las que la suma de las dimensiones más grandes sea mayor que E en cualquier tramo de 6E de longitud. Cuando la longitud de la soldadura examinada sea inferior a 6E, la suma admisible de las dimensiones más grandes debe ser proporcionalmente inferior.

6.12.2.2 Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente a compresión

(1) Discontinuidades que exceden el tamaño máximo de la Figura 6.3.

(2) Discontinuidades con una separación menor que el espacio mínimo permitido de la Figura 6.3.

(3) En la intersección de una soldadura con otra soldadura o con un borde libre (es decir, un borde más allá del cual no existe extensión de material) las discontinuidades aceptables deben cumplir con las limitaciones de la Figura 6.3, Casos I-IV.

(4) Las discontinuidades aisladas tales como un grupo de indicaciones redondeadas, cuando la suma de sus dimensiones mayores supere el tamaño máximo de discontinuidad permitido en la Figura 6.3. La separación mínima hasta otra discontinuidad agrupada, alargada o redondeada o hasta un borde o extremo de una soldadura intersectante deberá ser tres veces mayor que la dimensión de mayor longitud de las discontinuidades que estén siendo consideradas.

(5) La suma de las discontinuidades individuales, cada una con una dimensión mayor de menos de 3/32 pulg. [2.5 mm] no debe exceder de 2E/3 o 3/8 pulg. [10 mm], la que sea menor, en cualquier tramo lineal de 1 pulg. [25 mm] de soldadura. Este requisito es independiente de (1), (2) y (3), citados anteriormente.

(6) Discontinuidades en línea, en las que la suma de las dimensiones más grandes sea mayor que E en cualquier tramo de 6E de longitud. Cuando la longitud de la soldadura examinada sea inferior a 6E, la suma admisible de las dimensiones más grandes debe ser proporcionalmente inferior.

6.12.2.3 Discontinuidades inferiores a 1/16 pulg. [2 mm]. Además de los requisitos de 6.12.2.1 y 6.12.2.2, las discontinuidades con una dimensión mayor de menos de 1/16 pulg. [2 mm] no serán aceptables si la suma de sus dimensiones más grandes supera las 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de una pulgada de soldadura.

6.13 Prueba ultrasónica (UT)

6.13.1 Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas estáticamente. Los criterios de aceptación para soldaduras sometidas a UT además de la inspección visual deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.2. En el caso de soldaduras de alma a ala con CJP, la aceptación de discontinuidades detectadas mediante movimientos de escaneo diferentes del patrón de escaneo "E" (véase 6.30.2.2) puede estar basada en el es-

pesor de la soldadura igual al espesor real del alma más 1 pulg. [25 mm]. Las discontinuidades detectadas por el patrón de escaneo "E" deben ser evaluadas según los criterios de la Tabla 6.2 para el espesor real del alma. Cuando las soldaduras de alma a ala con CJP están sometidas a un esfuerzo de tracción calculado normal a la soldadura deben estar designadas de ese modo en el plano de diseño y deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.2. Las soldaduras probadas en forma ultrasónica se evalúan sobre la base de la discontinuidad que refleja el ultrasonido en proporción a su efecto sobre la integridad de la soldadura. Las indicaciones de discontinuidades que permanezcan en la pantalla mientras la unidad de búsqueda se acerca y se aleja de la discontinuidad (movimiento de escaneo "b") puede ser una indicación de discontinuidades planares con una dimensión significativa a través de la garganta.

Dado que la principal superficie reflectante de las discontinuidades más críticas está orientada a un mínimo de 20° (para una unidad de búsqueda de 70°) hasta 45° (para una unidad de búsqueda de 45°) de la perpendicular al haz de sonido, la evaluación de amplitud (clasificación dB) no permite una disposición confiable. Cuando las indicaciones que exhiben estas características planares se encuentran presentes en la sensibilidad de escaneo, se requiere una evaluación más detallada de la discontinuidad por otros medios (por ejemplo, técnicas alternativas de UT, RT, esmerilado o ranurado para la inspección visual, etc.).

6.13.2 Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente. Los criterios de aceptación para soldaduras sometidas a UT además de la inspección visual deben cumplir con los siguientes requisitos:

(1) Las soldaduras sometidas a esfuerzos de tracción en cualquier condición de carga deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.3.

(2) Las soldaduras sometidas a esfuerzos de compresión deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.2.

6.13.2.1 Indicaciones. Las soldaduras probadas en forma ultrasónica se evalúan sobre la base de la discontinuidad que refleja el ultrasonido en proporción a su efecto sobre la integridad de la soldadura. Las indicaciones de discontinuidades que permanezcan en la pantalla mientras la unidad de búsqueda se acerca y se aleja de la discontinuidad (movimiento de escaneo "b") pueden señalar discontinuidades planares con una dimensión significativa a través de la garganta. Conforme la orientación de dichas discontinuidades, relativas al haz de sonido, se desvía de la perpendicular, es posible que dé como resultado clasificaciones dB que no permitan la evaluación directa y confiable de la integridad de la junta soldada. Cuando las indicaciones que exhiben estas características planares se encuentran presentes en la sensibilidad de escaneo, es probable que se requiera una evaluación más detallada de la discontinuidad por otros medios (por ejemplo, técnicas alternativas de UT, RT, esmerilado o ranurado para la inspección visual, etc.).

6.13.2.2 Escaneo. Las soldaduras de alma a ala con CJP deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.2 y la aceptación de las discontinuidades detectadas por los

movimientos de escaneo distintos del patrón de escaneo “E” (véase 6.30.2.2) puede estar basada en un espesor de la soldadura igual al espesor real del alma más 1 pulg. [25 mm]. Las discontinuidades detectadas por el patrón de escaneo “E” deben ser evaluadas según los criterios de 6.13.2 para el espesor real del alma. Cuando dichas soldaduras de alma a ala están sometidas a un esfuerzo de tracción calculado normal a la soldadura deben estar designadas de ese modo en los planos de diseño y deben cumplir con los requisitos de la Tabla 6.3.

Parte D

Procedimientos NDT

6.14 Procedimientos

Los procedimientos de NDT conforme se describen en este código han sido utilizados durante muchos años y proporcionan una garantía razonable de la integridad de la soldadura. Sin embargo, pareciera que algunos usuarios del código consideran en forma incorrecta que cada método es capaz de detectar todas las discontinuidades inaceptables. Los usuarios del código deben familiarizarse con todas las limitaciones de los métodos NDT que deban utilizar, particularmente la incapacidad de detectar y caracterizar las discontinuidades planares con orientaciones específicas. (Las limitaciones y el uso complementario de cada método se explican en la última edición de AWS B1.10, *Guide for Nondestructive Examination of Welds* (Guía para el ensayo no destructivo de soldaduras).)

6.14.1 RT. Cuando se utiliza RT, el procedimiento y la técnica deben cumplir con la Parte E de esta sección o la Sección 9, Parte F para tubulares.

6.14.2 Sistemas de procesamiento de imágenes por radiación. Cuando se realiza la evaluación utilizando sistemas de procesamiento de imágenes por radiación, los procedimientos y las técnicas deben cumplir con la Parte G de esta sección.

6.14.3 UT. Cuando se utiliza UT, el procedimiento y la técnica deben cumplir con la Parte F de esta sección.

6.14.4 MT. Cuando se utiliza MT, el procedimiento y la técnica deben cumplir con ASTM E709 y el criterio de aceptación debe cumplir con la Sección 6, Parte C de este código.

6.14.5 PT. Para detectar discontinuidades abiertas a la superficie es posible utilizar PT. Se deben utilizar los métodos estándar establecidos en ASTM E165 para la inspección PT y las normas de aceptación deberán cumplir con la Sección 6, Parte C de este código.

6.14.6 Calificación del personal

6.14.6.1 Requisitos de ASNT. El personal que realice NDT aparte del visual debe estar calificado según la edición actual de la Práctica recomendada n.º SNT-TC-1A de la American Society for Nondestructive Testing

(Sociedad Estadounidense de Ensayos No Destructivos). Las personas que realicen NDT deben estar calificadas para:

- (1) NDT Nivel II o
- (2) NDT Nivel I trabajando bajo el NDT Nivel II

6.14.6.2 Certificación. La certificación de individuo de Nivel I y Nivel II la debe llevar a cabo una persona de Nivel III que haya sido certificada por:

- (1) American Society for Nondestructive Testing, o
- (2) tenga la educación, capacitación y experiencia necesarias y haya aprobado con éxito la evaluación escrita que se describe en SNT-TC-1A.

6.14.6.3 Excepción de los requisitos de QC1. El personal que realice NDT de acuerdo con las disposiciones de 6.14.6 no requiere estar calificado y certificado de acuerdo con las disposiciones de AWS QC1.

6.15 Alcance de los ensayos

La información provista a los licitantes deberá identificar claramente el alcance de los NDT (tipos, categorías o ubicación) de las soldaduras a evaluar.

6.15.1 Ensayos completos. Las juntas de soldadura que requieran ensayos por especificación del contrato deben ser probadas en toda su longitud, excepto que se especifique un ensayo parcial o de puntos.

6.15.2 Ensayos parciales. Cuando se especifique la evaluación parcial, se deberá especificar claramente en los documentos del contrato la ubicación y las longitudes o las categorías de las soldaduras a evaluar.

6.15.3 Ensayos de puntos. Cuando se especifique un ensayo de puntos se debe incluir la cantidad de puntos en cada categoría de junta soldada designada para ser evaluada en una longitud establecida de soldadura o un segmento de soldadura indicado en la información suministrada a los licitantes. Cada ensayo de puntos debe cubrir como mínimo 4 pulg. [100 mm] de la longitud de la soldadura. Cuando el ensayo de puntos revela indicaciones de discontinuidades inaceptables que requieran reparación, se deberá explorar la extensión de dichas discontinuidades. Se deben tomar dos puntos adicionales en el mismo segmento de la junta de soldadura en ubicaciones alejadas del punto original. El Contratista y el Inspector de Verificación deben acordar la ubicación de los puntos adicionales.

Cuando cualquiera de los dos puntos adicionales muestre defectos que requieran reparación, se deberá evaluar todo el segmento de la soldadura representado por el punto original. Si la soldadura involucra más de un segmento, se deben evaluar dos puntos adicionales en cada segmento en ubicaciones acordadas por el Contratista y el Inspector de Verificación, sujeto a la interpretación anterior.

6.15.4 Información relevante. Antes del ensayo, el personal de NDT debe recibir o tener acceso a la información relevante concerniente a la geometría de las juntas de soldadura, el espesor del material y los procesos utilizados para realizar la soldadura. El personal de NDT debe ser informado respecto de cualquier reparación posterior a la soldadura.

Parte E

Prueba radiográfica (RT)

6.16 RT de soldaduras en ranura en juntas a tope

6.16.1 Procedimientos y normas. Los procedimientos y las normas establecidas en la Parte E deberán regir la RT de soldaduras cuando dicha inspección se requiera conforme a los documentos del contrato de acuerdo a lo dispuesto en 6.14.1. Los requisitos descritos en el presente documento son específicos para la evaluación de soldaduras en ranura en juntas a tope en placas, perfiles y barras por medio de rayos X o rayos gamma. La metodología debe cumplir con ASTM E94, *Standard Recommended Practice for Radiographic Testing (Práctica estándar recomendada para ensayos radiográficos)*, ASTM E142, *Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing (Método estándar para controlar la calidad del ensayo radiográfico)*, ASTM E747, *Controlling Quality of Radiographic Testing Using Wire Penetrimeters (Control de calidad de los ensayos radiográficos por medio de penetrámetros de alambre)* y ASTM E1032, *Radiographic Examination of Weldments (Examen radiográfico de soldaduras)*.

6.16.2 Variaciones. Las variaciones en los procedimientos de ensayo, equipos y normas de aceptación pueden ser utilizadas previo acuerdo entre el Contratista y el Propietario. Dichas variaciones incluyen, pero no están limitadas a lo siguiente: RT de soldaduras en filete y en ranura, en juntas en T y en esquina; cambios de distancia entre la fuente y la película; aplicaciones inusuales de la película; aplicaciones inusuales de indicadores de calidad de imagen (IQI) de tipo orificio o tipo alambre (incluyendo IQI del lado de la película); y RT de espesores mayores a 6 pulg. [150 mm], tipos de película, densidades y variaciones en la exposición, revelado y técnicas de visualización.

6.17 Procedimientos de RT

6.17.1 Procedimiento. Las radiografías deben realizarse utilizando una fuente única, ya sea de radiación X o gamma. La sensibilidad radiográfica será juzgada sobre la base del IQI de la imagen tipo orificio o alambre. La técnica radiográfica y el equipo deben proporcionar suficiente sensibilidad para delinear claramente los IQI de tipo orificio requeridos y los orificios o alambres esenciales según lo descrito en 6.17.7 y 9.28.1; Tablas 6.4, 6.5, 9.17, y 9.18; y Figuras 6.4 y 6.5. Las letras y los números de identificación deben verse claramente en la radiografía.

6.17.2 Requisitos de seguridad. El RT debe realizarse conforme a todos los requisitos de seguridad aplicables.

6.17.3 Eliminación del refuerzo. Cuando los documentos del contrato requieran retirar el refuerzo de la soldadura, las soldaduras deben ser preparadas para el RT mediante el esmerilado conforme se describe en 5.23.3.1. Otras superficies de soldadura no requieren ser esmeriladas o alisadas para los fines de RT salvo que las irregularidades de la superficie o de la unión entre la soldadura y el metal base puedan causar discontinuidades de soldadura objetables que puedan aparecer oscurecidas en la radiografía.

6.17.3.1 Lengüetas. Las lengüetas de soldadura deben ser eliminadas previo al RT, salvo que el Ingeniero apruebe lo contrario.

6.17.3.2 Respaldo de acero. Cuando así se requiera por 5.9.1 u otras disposiciones de los documentos del contrato, se retirará el respaldo de acero y la superficie será acabada al ras por esmerilado previo al RT. El esmerilado debe hacerse según se describe en 5.23.3.1.

6.17.3.3 Refuerzo. Cuando no se retiran el refuerzo de la soldadura o el respaldo, o ninguno, o cuando no se utiliza la ubicación alternativa del IQI de alambre, las cuñas de acero que se extienden como mínimo 1/8 pulg. [3 mm] más allá de tres lados del IQI tipo orificio o IQI de tipo alambre requerido se deben ubicar debajo del IQI tipo orificio o del IQI de tipo alambre para que el espesor total del acero entre el IQI tipo orificio y la película sea aproximadamente igual al espesor promedio de la soldadura medida a través de su refuerzo y respaldo.

6.17.4 Película radiográfica. La película radiográfica debe cumplir con la descripción de ASTM E94. Las pantallas de láminas de plomo deben ser utilizadas conforme se describe en ASTM E94. Se deben prohibir las pantallas fluorescentes.

6.17.5 Técnica. Las radiografías deben realizarse con una única fuente de radiación centrada lo más cerca posible con relación a la longitud y el ancho de la sección de soldadura que esté siendo examinada.

6.17.5.1 Falta de nitidez geométrica. La fuente de rayos gamma, independientemente del tamaño, debe poder cumplir con las limitaciones de la falta de nitidez geométrica del *Boiler and Pressure Vessel Code (Código para calderas y recipientes a presión)* de ASME, Sección V, Artículo 2.

6.17.5.2 Distancia de la fuente a objeto. La distancia de la fuente a objeto no debe ser inferior a la longitud total de la película expuesta en un solo plano. Esta disposición no se debe aplicar a las exposiciones panorámicas realizadas de acuerdo con las disposiciones de 6.16.2.

6.17.5.3 Limitaciones de distancia de la fuente a objeto. La distancia de la fuente a objeto no debe ser inferior a siete veces el espesor de la soldadura más el refuerzo y el respaldo, si los hubiera, ni tampoco tal que la radiación de la inspección deba penetrar cualquier sección de la soldadura representada en la radiografía en un ángulo superior a $26-1/2^\circ$ desde una línea normal a la superficie soldada.

6.17.6 Fuentes. Es posible utilizar unidades de rayos X, de máximo 600 kVp e iridio 192 como fuente para todas las RT siempre que tengan la capacidad de penetración adecuada. El cobalto 60 solo debe ser utilizado como fuente radiográfica cuando el acero a ser radiografiado exceda de 2-1/2 pulg. [65 mm] de espesor. Es posible utilizar otras fuentes radiográficas con la aprobación del Ingeniero.

6.17.7 Selección y colocación de IQI. Los IQI se deben seleccionar y ubicar en el área de interés de la soldadura que esté siendo radiografiada según se muestra en la Tabla 6.6. El respaldo de acero no debe ser considerado parte de la soldadura ni del refuerzo de la soldadura en la selección del IQI.

6.17.8 Técnica. Se deben radiografiar las juntas soldadas e indexar la película mediante métodos que proporcionen una inspección completa y continua de la junta dentro de los límites especificados para ser examinadas. Los límites de las juntas se deben mostrar claramente en las radiografías. Una película corta, pantallas cortas, socavación excesiva por la radiación dispersa o cualquier otro proceso que oscurezca partes de la longitud total de la soldadura harán que la radiografía sea considerada inaceptable.

6.17.8.1 Longitud de la película. La película debe tener una longitud suficiente y debe estar colocada para proporcionar como mínimo 1/2 pulg. [12 mm] de película más allá del borde proyectado de la soldadura.

6.17.8.2 Traslape de la película. Las soldaduras de más de 14 pulg. [350 mm] de largo pueden ser radiografiadas traslapando los casetes de la película y realizando una sola exposición o utilizando casetes individuales de película y realizando exposiciones separadas. Se deben aplicar las disposiciones de 6.17.5.

6.17.8.3 Retrodispersión. Para verificar la radiación de retrodispersión se debe anexar un símbolo "B" de plomo de 1/2 pulg. [12 mm] de alto, 1/16 pulg. [2 mm] de espesor en la parte posterior de cada casete de película. Si la imagen "B" aparece en la radiografía, esta debe ser considerada inaceptable.

6.17.9 Ancho de la película. El ancho de la película debe ser suficiente como para representar todas las secciones de la junta de soldadura, incluyendo las HAZ, y debe proporcionar suficiente espacio adicional para el IQI de tipo orificio o IQI de tipo alambre requerido y la identificación de la película sin invadir el área de interés de la radiografía.

6.17.10 Calidad de las radiografías. Todas las radiografías deben estar libres de imperfecciones mecánicas, químicas u otras, que puedan ocultar discontinuidades o confundirse con la imagen de cualquier discontinuidad en el área de interés de la radiografía. Dichas imperfecciones incluyen, pero no están limitadas a las siguientes:

- (1) empañamiento
- (2) defectos de procesamiento tales como rayas, marcas de agua o manchas químicas
- (3) rayaduras, marcas de dedos, arrugas, suciedad, marcas de estática, manchones o desgarros
- (4) pérdida del detalle a causa del mal contacto pantalla a película
- (5) indicaciones falsas causadas por pantallas defectuosas o fallas internas

6.17.11 Limitaciones de densidad. La densidad de la película transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del IQI y el área de interés debe ser como mínimo de 1,8 para la vista simple de una película para radiografías realizadas con una fuente de rayos X y de un mínimo de 2,0 para radiografías realizadas con una fuente de rayos gamma. En las vistas compuestas de exposiciones de dos películas, la densidad mínima debe ser de 2,6. Cada radiografía de un grupo compuesto debe tener una densidad mínima de 1,3. La densidad máxima debe ser de 4,0 ya sea para la visualización simple o la compuesta.

6.17.11.1 Densidad H y D. La densidad medida debe ser densidad H y D (densidad radiográfica), que es una medida del oscurecimiento de la película expresado como:

$$D = \text{registro } I_0/I$$

donde:

- D = densidad H y D (radiográfica)
- I_0 = intensidad de la luz sobre la película, e
- I = luz transmitida a través de la película.

6.17.11.2 Transiciones. Cuando se radiografien las transiciones del espesor de la soldadura y la relación del espesor de la sección más gruesa al espesor de la sección más delgada sea de 3 o mayor, las radiografías deben ser expuestas para producir densidades de una película de 3,0 a 4,0 en la sección más delgada. Cuando se realiza esto no se deben aplicar los requisitos de densidad mínima de 6.17.11 excepto que se especifique lo contrario en los documentos del contrato.

6.17.12 Marcas de identificación. Se debe colocar una marca de identificación y dos marcas de identificación de ubicación sobre el acero en cada ubicación de la radiografía. Se debe producir una marca de identificación de la radiografía correspondiente y dos marcas de identificación de ubicación (todas deben mostrarse en la radiografía) colocando números y/o letras de plomo, sobre cada una de las marcas idénticas de identificación y ubicación realizadas sobre el acero para proporcionar un medio para hacer coincidir la radiografía revelada con la soldadura. La información adicional de identificación puede ser preimpresa a no menos de 3/4 pulg. [20 mm] desde el borde de la soldadura o debe ser producida en la radiografía colocando números de plomo sobre el acero.

La información que se debe mostrar sobre la radiografía debe incluir la identificación del contrato del Propietario, las iniciales de la empresa de RT, las iniciales del fabricante, el número de pedido del fabricante, la marca de identificación radiográfica, la fecha y el número de reparación de la soldadura, si corresponde.

6.17.13 Bloques de borde. Los bloques de borde se deben utilizar cuando se radiografian juntas a tope con más de 1/2 pulg. [12 mm] de espesor. Los bloques de borde deben tener una longitud suficiente como para extenderse más allá de cada lado de la línea central de la soldadura a una distancia mínima igual al espesor de la soldadura pero no menor a 2 pulg. [50 mm] y deben tener un espesor igual o mayor que el espesor de la soldadura. El ancho mínimo de los bloques de borde debe ser igual a la mitad del espesor de la soldadura pero no inferior a 1 pulg. [25 mm]. Los bloques de borde deben estar centrados en la soldadura contra la placa que será radiografiada, permitiendo un espacio no mayor de 1/16 pulg. [2 mm] para la longitud mínima especificada de los bloques de borde. Los bloques de borde deben ser de acero radiográficamente limpio y la superficie debe tener un acabado de 125 μ pulg. [3 μ m] ANSI o más liso (véase Figura 6.10).

6.18 Evaluación, informe y disposición de las radiografías

6.18.1 Equipo proporcionado por el Contratista. El Contratista debe proporcionar un iluminador de intensidad variable adecuado (visor) con capacidad de revisión de puntos o de puntos ocultos. El visor debe incorporar el medio para ajustar el tamaño del punto a examinar. El visor debe tener capacidad suficiente para iluminar correctamente las radiografías con una densidad H y D de 4.0. La revisión de la película se debe ser realizar en un área de luz tenue.

6.18.2 Informes. Antes de que el Propietario acepte una soldadura que el Contratista baya sometido a RT se deben presentar al Inspector de Verificación todas las radiografías de dicha soldadura, incluyendo aquellas que muestren calidad inaceptable antes de la reparación, y un informe interpretándolas.

6.18.3 Retención de registro. Una vez completado el trabajo se debe enviar al Propietario un juego completo de radiografías de las soldaduras sometidas a RT por parte del Contratista, incluyendo aquellas que muestren calidad inaceptable antes de la reparación. La obligación del Contratista de conservar las radiografías cesará:

- (1) a la entrega de este juego completo al Propietario,
- (2) pasado un año completo después de la finalización del trabajo del Contratista, siempre que se haya notificado previamente al Propietario por escrito.

Parte F Prueba ultrasónica (UT) de soldaduras en ranura

6.19 Generalidades

6.19.1 Procedimientos y normas. Los procedimientos y las normas establecidas en la Parte F deben regir el UT de las soldaduras en ranura y HAZ entre espesores de 5/16 pulg. y 8 pulg. [8 mm y 200 mm] inclusive, cuando dicha prueba sea requerida por 6.14 de este código. Para espesores inferiores a 5/16 pulg. [8 mm] o mayores de 8 pulg. [200 mm], la prueba debe realizarse conforme al Anexo Q. Estos procedimientos y normas se deben prohibir para pruebas de conexión de tubo a tubo, en T-, Y- o K.

6.19.2 Variaciones. El Anexo Q es un ejemplo de una técnica alternativa para la realización de la evaluación de UT de soldaduras en ranura. Las variaciones en el procedimiento de prueba, equipo y normas de aceptación no incluidas en la Parte F de la Sección 6 pueden ser utilizadas con la aprobación del Ingeniero. Dichas variaciones incluyen otros espesores, geometrías de soldadura, tamaños de transductores, frecuencias, medio de acoplamiento, superficies pintadas, técnicas de prueba, etc. Dichas variaciones aprobadas deben figurar en los registros del contrato.

6.19.3 Porosidad vermicular. Para detectar la posible porosidad vermicular de la tubería se recomienda un RT para complementar el UT de soldaduras ESW o EGW.

6.19.4 Metal base. Estos procedimientos no tienen como fin ser empleados para las pruebas de adquisición del metal base. Sin embargo, las discontinuidades relacionadas con la soldadura (grietas, desgarramiento laminar, delaminaciones, etc.) en el metal base adyacente que no serían aceptables conforme a las disposiciones de este código deben ser informadas al Ingeniero para su disposición.

6.20 Requisitos de calificación

Para cumplir con los requisitos de 6.14.6, la calificación del operario de UT debe incluir un examen específico y práctico que debe estar basado en los requisitos de este código. Este examen exigirá que el operario de UT demuestre su capacidad para aplicar las reglas de este código para la detección precisa y la disposición de discontinuidades.

6.21 Equipo de UT

6.21.1 Requisitos de equipos. El instrumento de UT debe ser de tipo pulso-eco adecuado para utilizar con transductores que oscilen a frecuencias entre 1 y 6 megahercios. La pantalla debe ser de registro de video rectifi-

cado con representación de tipo “A”. Los requisitos deben ser como se muestran en la Tabla 6.8.

6.21.2 Linealidad horizontal. La linealidad horizontal del instrumento de prueba debe estar calificada en toda la distancia de la trayectoria del sonido que se deba utilizar en la prueba de acuerdo a 6.28.1.

6.21.3 Requisitos para los instrumentos de prueba. Los instrumentos de prueba deben tener capacidad de estabilización interna para que después del calentamiento no ocurra una variación de respuesta mayor a ± 1 dB con un cambio de voltaje de suministro del 15% nominal o, en el caso de una batería, a través de la vida operativa de la carga. Debe existir una alarma o señal del medidor que indique una caída en el voltaje de la batería antes de que se apague el instrumento debido al agotamiento de la batería.

6.21.4 Calibración de los instrumentos de prueba. El instrumento de prueba debe contar con un control de ganancia calibrado (atenuador) ajustable en pasos discretos de 1 o 2 dB en un rango de al menos 60 dB. La precisión de los valores de ajuste del atenuador debe estar en más o en menos de 1 dB. El procedimiento para la calificación será el que se describe en 6.23.2 y 6.28.2.

6.21.5 Rango de la pantalla. El rango dinámico de visualización de la pantalla del instrumento debe ser tal que se pueda detectar fácilmente una diferencia de amplitud de 1 dB.

6.21.6 Unidades de búsqueda de haz recto (onda longitudinal). Los transductores de unidad de búsqueda de haz recto (onda longitudinal) deben tener un área activa no menor de $1/2$ pulg.² [323 mm²] ni mayor de 1 pulg.² [645 mm²]. El transductor debe ser redondo o cuadrado. Los transductores deben poder resolver las tres reflexiones según se describe en 6.27.1.3.

6.21.7 Unidades de búsqueda de haz angular. Las unidades de búsqueda de haz angular deben constar de un transductor y una cuña angular. La unidad puede componerse de dos elementos separados o puede ser una unidad integral.

6.21.7.1 Frecuencia. La frecuencia del transductor debe ser de 2 a 2,5 MHz, inclusive.

6.21.7.2 Dimensiones del transductor. El cristal del transductor deberá tener forma cuadrada o rectangular y puede variar de $5/8$ pulg. a 1 pulg. [15 mm a 25 mm] de ancho y de $5/8$ pulg. a $13/16$ pulg. [15 mm a 20 mm] de alto (véase Figura 6.11). La relación máxima de ancho a altura debe ser de 1,2 a 1,0 y la relación mínima ancho a altura debe ser de 1,0 a 1,0.

6.21.7.3 Ángulos. La unidad de búsqueda debe producir un haz de sonido en el material que esté siendo probado dentro de un margen de más/menos 2° de uno de los siguientes ángulos adecuados: 70°, 60° o 45°, según se describe en 6.27.2.2.

6.21.7.4 Marcado. Cada unidad de búsqueda debe estar marcada para indicar claramente la frecuencia del transductor, el ángulo nominal de refracción y el punto indicador. El procedimiento para la ubicación del punto indicador se describe en 6.27.2.1.

6.21.7.5 Reflexiones internas. Las reflexiones internas máximas admisibles desde la unidad de búsqueda deben cumplir con lo que se describe en 6.23.3 y 6.28.3.

6.21.7.6 Distancia desde el borde. Las dimensiones de la unidad de búsqueda deben ser tales que la distancia desde el borde frontal de la unidad de búsqueda al punto indicador no debe exceder de 1 pulg. [25 mm].

6.21.7.7 Bloque tipo IIW. El procedimiento de calificación usando el bloque de referencia IIW u otro bloque tipo IIW se debe hacer según 6.27.2.6 y como se muestra en la Figura 6.12.

6.22 Normas de referencia

6.22.1 Norma IIW. Es posible utilizar cualquiera de los bloques de referencia tipo UT del International Institute of Welding (Instituto Internacional de Soldadura, IIW) como norma para la calibración de distancia y de sensibilidad, siempre que el bloque incluya el orificio de 0,060 pulg. [1,5 mm] de diámetro como se muestra en la Figura 6.13 y las características de verificación de distancia, resolución y ángulo de la Figura 6.16 (posiciones A hasta G). Los bloques tipo IIW deben cumplir con ASTM E164. Se pueden utilizar otros bloques portátiles, siempre que el nivel de referencia de sensibilidad para la combinación de instrumento/unidad de búsqueda esté ajustado para ser equivalente al alcanzado con el bloque tipo IIW (véase ejemplos en el Anexo G).

6.22.2 Reflectores prohibidos. Se debe prohibir el uso de un reflector de “esquina” para fines de calibración.

6.22.3 Requisitos de resolución. La combinación de la unidad de búsqueda y el instrumento deben resolver tres orificios en el bloque de prueba de referencia de resolución RC que se muestran en la Figura 6.14. La posición de la unidad de búsqueda se describe en 6.27.2.5. La resolución se debe evaluar con los controles de los instrumentos ajustados en la configuración normal de ensayo y con las indicaciones desde los orificios llevadas a la altura de mitad de pantalla. La resolución debe ser suficiente para distinguir como mínimo los picos de las indicaciones de los tres orificios. Se debe prohibir el uso del bloque de referencia RC para la calibración. Cada combinación de unidad de búsqueda de instrumento (zapata y transductor) debe ser revisada antes del uso inicial. La verificación de este equipo se debe realizar inicialmente con cada combinación de unidad de búsqueda y unidad de UT. No es necesario verificar nuevamente siempre y cuando se conserve la documentación que registre los siguiente elementos:

- (1) Marca, modelo y número de serie de la máquina de UT
- (2) Fabricante, tipo, tamaño, ángulo y número de serie de la unidad de búsqueda
- (3) Fecha de verificación y nombre del técnico

6.23 Calificación del equipo

6.23.1 Linealidad horizontal. La linealidad horizontal del instrumento de prueba debe ser recalificada en intervalos de dos meses en cada uno de los rangos de distancia en los que se utilizará el instrumento. El proceso de calificación debe cumplir con 6.28.1 (vea un método alternativo en el Anexo G).

6.23.2 Control de ganancia. El control de ganancia del instrumento (atenuador) debe cumplir con los requisitos de 6.21.4 y debe verificarse su correcta calibración en intervalos de dos meses cumpliendo con 6.28.2. Es posible utilizar métodos alternativos para la calificación de control de ganancia calibrado (atenuador) si se prueba que es al menos equivalente con 6.28.2.

6.23.3 Reflexiones internas. Las reflexiones internas máximas desde cada unidad de búsqueda deben ser verificadas en intervalos máximos de 40 horas de uso del instrumento en cumplimiento de 6.28.3.

6.23.4 Calibración de unidades de búsqueda de haz angular. Con el uso de un bloque de calibración aprobado, cada unidad de búsqueda de haz angular debe ser verificada después de cada ocho horas de uso para determinar que la cara de contacto esté plana, que el punto de entrada del sonido sea correcto y que el ángulo de haz se encuentre dentro de la tolerancia permitida de más/menos 2° según 6.27.2.1 y 6.27.2.2. Las unidades de búsqueda que no cumplan con estos requisitos deben ser corregidas o reemplazadas.

6.24 Calibración para ensayos

6.24.1 Posición de control de rechazo. Todas las calibraciones y ensayos se deben realizar con el control de rechazo (recorte o supresión) apagado. El uso del control de rechazo (recorte o supresión) puede alterar la linealidad de amplitud del instrumento e invalidar los resultados del ensayo.

6.24.2 Técnica. La calibración para sensibilidad y barrido horizontal (distancia) debe ser realizada por un operario de UT justo antes de la primera soldadura sometida a ensayos y en el lugar de la misma. Luego de eso, se deben aplicar los requisitos de recalibración 6.24.3.

6.24.3 Recalibración. La recalibración debe realizarse después de un cambio de operarios, con un intervalo máximo de dos horas o cuando el circuito eléctrico sea perturbado de cualquier modo, incluyendo lo siguiente:

- (1) Cambio de transductor
- (2) Cambio de batería
- (3) Cambio de salida eléctrica
- (4) Cambio de cable coaxial
- (5) Corte de energía (falla)

6.24.4 Ensayo de haz recto del metal base. La calibración para el ensayo de haz recto del metal base se debe

realizar con la unidad de búsqueda aplicada a la Cara A del metal base y según se indica a continuación:

6.24.4.1 Barrido. El barrido horizontal debe ajustarse para una calibración de distancia que presente el equivalente de al menos dos espesores de placa en la pantalla.

6.24.4.2 Sensibilidad. La sensibilidad debe ser ajustada en una ubicación libre de indicaciones de manera que la primera retrorreflexión desde el lado lejano a la placa sea de un 50% a un 75% de la altura de la pantalla completa.

6.24.5 Calibración para el ensayo del ángulo de haz. La calibración para el ensayo del ángulo de haz debe ser realizada del siguiente modo (véase método alternativo en el Anexo G, G2.4).

6.24.5.1 Barrido horizontal. El barrido horizontal debe ajustarse para representar la distancia real de la trayectoria del sonido utilizando el bloque tipo IIW o los bloques alternativos descritos en 6.22.1. La calibración de distancia debe realizarse utilizando ya sea la escala de 5 pulg. [125 mm] o la de 10 pulg. [250 mm] en la pantalla, la que sea adecuada. Sin embargo, si la configuración de la junta o su espesor impide la evaluación completa de la soldadura en cualquiera de estos valores, se debe realizar la calibración de distancia utilizando una escala de 15 pulg. o 20 pulg. [400 mm o 500 mm], según se requiera. La posición de la unidad de búsqueda se describe en 6.27.2.3.

NOTA: La ubicación horizontal de todas las indicaciones en pantalla está basada en la ubicación en la que el lado izquierdo de la deflexión de traza rompe la línea base horizontal.

6.24.5.2 Nivel de referencia cero. La sensibilidad del nivel de referencia cero utilizada para la evaluación de discontinuidades ("b" en el informe de prueba ultrasónica, Anexo L, Formulario L-11) debe alcanzarse mediante el ajuste del control de ganancia calibrado (atenuador) del detector de discontinuidad, cumpliendo con los requisitos de 6.21, de manera que la deflexión maximizada de la traza horizontal (ajustada a la altura de la línea de referencia horizontal con control de ganancia calibrado [atenuador]) se visualice con un tamaño de entre el 40% y el 60% de la altura de la pantalla, según 6.27.2.4.

6.25 Procedimientos de ensayo

6.25.1 Línea "X". Se debe marcar la línea "X" para la ubicación de la discontinuidad sobre la cara de ensayo de la soldadura en una dirección paralela al eje de la soldadura. La distancia de la ubicación perpendicular al eje de la soldadura debe estar basada en los valores dimensionales en el plano de detalle y generalmente cae en la línea central de las soldaduras de juntas a tope y siempre cae en la cara más próxima al miembro de conexión de las soldaduras de las juntas en T y en esquina (la cara opuesta a la cara C).

6.25.2 Línea “Y”. Debe haber una “Y” acompañada por un número de identificación de soldadura marcada claramente sobre el metal base adyacente a la soldadura sometida a UT. Esta marca se utiliza para los siguientes propósitos:

- (1) Identificación de soldadura
- (2) Identificación de la Cara A
- (3) Mediciones de distancia y dirección (+ o –) desde la línea “X”
- (4) Medición de ubicación desde los extremos o bordes de la soldadura

6.25.3 Limpieza. Todas las superficies a las que se aplica una unidad de búsqueda deben estar libres de salpicaduras de soldadura, suciedad, grasa, aceite (distinto del utilizado como acoplante), pintura y escamas sueltas, y deben tener un contorno que permita el acoplamiento directo.

6.25.4 Acoplantes. Se debe utilizar un material acoplante entre la unidad de búsqueda y el material de ensayo. El acoplante debe ser una mezcla de glicerina o de resina de celulosa y agua para lograr la consistencia adecuada. Se puede agregar un agente humectante si fuera necesario. Es posible utilizar aceite liviano de máquinas para acoplantes en bloques de calibración.

6.25.5 Alcance de los ensayos. La totalidad del metal base por el que debe desplazarse el ultrasonido para probar la soldadura se debe controlar en busca de reflectores laminares utilizando una unidad de búsqueda de haz recto según los requisitos de 6.21.6 y calibrada de acuerdo con 6.24.4. Si alguna zona del metal base muestra una pérdida total de la retrorreflexión o una indicación igual a o superior a la altura original de retrorreflexión está ubicada en una posición que interfiera con el procedimiento normal de escaneo de la soldadura, se debe determinar su tamaño, ubicación y profundidad desde la Cara A e incluirlos en el informe de UT y se debe utilizar un proceso alternativo de escaneo de la soldadura.

6.25.5.1 Tamaño del reflector. El procedimiento de evaluación del tamaño del reflector debe cumplir con 6.29.1.

6.25.5.2 Inaccesibilidad. Si parte de una soldadura es inaccesible para los ensayos según los requisitos de la Tabla 6.7 debido a un contenido laminar registrado de acuerdo con 6.25.5, el ensayo debe ser realizado por medio de uno o más de los siguientes procedimientos alternativos, según sea necesario para lograr la cobertura completa de la soldadura:

- (1) La superficie o las superficies soldadas deben ser niveladas al ras cumpliendo con 5.23.3.1.
- (2) Se deben realizar los ensayos desde las Caras A y B.
- (3) Se deben utilizar otros ángulos de unidades de búsqueda.

6.25.6 Ensayos de soldaduras. Las soldaduras deben probarse utilizando una unidad de búsqueda de ángulo de haz de acuerdo con los requisitos de 6.21.7 con el instrumento calibrado según los requisitos de 6.24.5 utilizando

el ángulo como se muestra en la Tabla 6.7. Después de la calibración y durante el ensayo, el único ajuste permitido del instrumento es el ajuste del nivel de sensibilidad con el control de ganancia calibrado (atenuador). El control de rechazo (recorte o supresión) debe estar apagado. La sensibilidad debe aumentarse desde el nivel de referencia para el escaneo de la soldadura según la Tabla 6.2 o la Tabla 6.3, según corresponda.

6.25.6.1 Escaneo. El ángulo de prueba y el procedimiento de escaneo deben cumplir con la Tabla 6.7.

6.25.6.2 Juntas a tope. Todas las soldaduras de juntas a tope deben ser probadas desde cada lado del eje de la soldadura. Las soldaduras de juntas en esquina y en T-se deben probar principalmente solo desde un lado del eje de la soldadura. Todas las soldaduras se deben probar utilizando el patrón o los patrones de escaneo aplicables que se muestran en la Figura 6.15 según sea necesario para detectar discontinuidades longitudinales y transversales. La intención es que, como mínimo, todas las soldaduras sean probadas pasando sonido a través del volumen total de la soldadura y la HAZ en dos direcciones de cruce, siempre que sea posible.

6.25.6.3 Indicación máxima. Cuando aparece una indicación de discontinuidad en la pantalla, se debe ajustar la indicación máxima alcanzable desde la discontinuidad para producir una deflexión de traza del nivel de referencia horizontal en la pantalla. Este ajuste debe realizarse con el control de ganancia calibrado (atenuador) y la lectura del instrumento en decibeles será utilizada como “Nivel de indicación, a”, para calcular la “Clasificación de indicación, d,” conforme se observa en el informe de prueba (Anexo L, Formulario L-11).

6.25.6.4 Factor de atenuación. El “Factor de atenuación, c,” en el informe de prueba debe alcanzarse al restar 1 pulg. [25 mm] de la distancia de la trayectoria del sonido y multiplicando el resto por 2 para unidades de uso en EE. UU. o por 0,08 para unidades del SI. Este factor se debe redondear al valor entero de dB más cercano. Para valores fraccionarios menores a 1/2 dB se debe reducir al nivel de dB más bajo y aquellos de 1/2 dB o superiores aumentados al nivel más alto.

6.25.6.5 Clasificación de indicación. La “Clasificación de indicación, d”, en el Informe de UT, Anexo L, Formulario L-11, representa la diferencia algebraica en decibeles entre el nivel de indicación y el nivel de referencia con corrección para la atenuación conforme se indica en las expresiones siguientes:

Instrumentos con ganancia en dB:

$$a - b - c = d$$

Instrumentos con atenuación en dB:

$$b - a - c = d$$

6.25.7 Longitud de las discontinuidades. La longitud de las discontinuidades debe determinarse según el procedimiento descrito en 6.29.2.

6.25.8 Bases para la aceptación o el rechazo. Cada discontinuidad de soldadura debe ser aceptada o rechazada sobre la base de su clasificación de indicación y su longitud según la Tabla 6.2 para estructuras cargadas estáticamente o la Tabla 6.3 para estructuras cargadas cíclicamente.

camente, la que corresponda. Solo las discontinuidades que son inaceptables deben registrarse en el informe del ensayo, excepto que para las soldaduras indicadas en los documentos del contrato como "de fractura crítica" también se deben registrar las clasificaciones aceptables que se encuentren dentro de un rango de 6 dB, inclusive, de la clasificación mínima inaceptable.

6.25.9 Identificación del área rechazada. Cada discontinuidad inaceptable debe ser indicada en la soldadura por medio de una marca directamente sobre la discontinuidad en toda su longitud. La profundidad desde la superficie y la clasificación de la indicación deben ser anotadas sobre el metal base cercano.

6.25.10 Reparación. Las soldaduras consideradas inaceptables por el UT deben ser reparadas con métodos permitidos por 5.25 de este código. Las áreas reparadas se deben volver a ensayar por medio de ultrasonido con los resultados tabulados en el formulario original (si fuera posible) o en formularios adicionales.

6.25.11 Informes de repeticiones de ensayos. La evaluación de áreas de soldadura reparadas y vueltas a ensayar debe estar tabulada en una nueva línea del formulario de informe. Si se utiliza el formulario original del informe, el número de indicación debe estar precedido por R1, R2, ... Rn. Si se utilizan formularios adicionales de informe, el número de R debe preceder el número del informe.

6.25.12 Respaldo de acero. El UT de la soldadura en ranura con CJP con respaldo de acero se debe realizar con un procedimiento de UT que reconozca los reflectores potenciales creados por la interfaz metal base-respaldo (consulte el Comentario C-6.25.12 para obtener una guía adicional de escaneo de soldaduras en ranura con respaldo de acero).

6.26 Preparación y disposición de informes

6.26.1 Contenido de los informes. El operario de UT debe completar durante la inspección un formulario de informe que identifique claramente el trabajo y el área de inspección. El formulario de informe para las soldaduras aceptables solo debe contener la información suficiente como para identificar la soldadura, el operario (firma) y la aceptabilidad de la soldadura. En el Anexo L, Formulario L-11 se encuentra un ejemplo de dicho formulario.

6.26.2 Informes previos a la inspección. Antes de que el Propietario acepte una soldadura que el Contratista haya sometido a UT, se deben presentar al Inspector todos los formularios de informes relacionados con la soldadura, incluyendo aquellos que muestren calidad inaceptable previa a la reparación.

6.26.3 Informes completados. Una vez finalizado el trabajo se debe enviar al Propietario un juego completo con los formularios de informes completados de las soldaduras que Contratista haya sometido a UT, incluyendo aquellas que muestren calidad inaceptable previa a la re-

paración. La obligación del Contratista de conservar los informes de UT cesará:

- (1) a la entrega de este juego completo al Propietario, o
- (2) pasado un año completo después de la finalización del trabajo del Contratista, siempre que se haya notificado previamente al Propietario por escrito.

6.27 Calibración de la unidad UT con bloques Tipo IIW u otros bloques de referencia aprobados (Anexo G)

Véase 6.22 y Figuras 6.13, 6.14, y 6.16.

6.27.1 Modo longitudinal

6.27.1.1 Calibración de distancia. véase Anexo G, G1 para consultar un método alternativo.

(1) El transductor debe estar en posición G en el bloque tipo IIW.

(2) El instrumento debe estar ajustado para producir indicaciones en 1 pulg. [25 mm en un bloque métrico], 2 pulg. [50 mm en un bloque métrico], 3 pulg. [75 mm en un bloque métrico], 4 pulg. [100 mm en un bloque métrico], etc. en la pantalla.

6.27.1.2 Amplitud. véase Anexo G, G1.2 para consultar un método alternativo.

(1) El transductor debe estar en posición G en el bloque tipo IIW.

(2) La ganancia debe ajustarse hasta que la indicación maximizada de la primera retrorreflexión alcance el 50% a 75% de la altura de la pantalla.

6.27.1.3 Resolución

(1) El transductor debe estar en posición F en el bloque tipo IIW.

(2) El transductor y el instrumento deben resolver las tres distancias.

6.27.1.4 Calificación de linealidad horizontal. El procedimiento de calificación debe cumplir con 6.23.1.

6.27.1.5 Calificación de control de ganancia (atenuación). El procedimiento de calificación debe cumplir con 6.23.2 o se utilizará un método alternativo que cumpla con 6.23.2.

6.27.2 Modo de onda de cizallamiento (transversal)

6.27.2.1 Punto indicador. El punto de entrada de sonido del transductor (punto indicador) debe ser ubicado o verificado por el siguiente procedimiento:

(1) El transductor debe estar en posición D en el bloque tipo IIW.

(2) El transductor debe moverse hasta que la señal desde el radio esté maximizada. El punto en el transductor que se alinea con la línea del radio en el bloque de ca-

libración es el punto de entrada de sonido (véase Anexo G, G.2.1 para consultar un método alternativo).

6.27.2.2 Ángulo. El ángulo de la trayectoria de sonido del transductor debe ser verificado o determinado por medio de uno de los siguientes procedimientos:

(1) El transductor debe estar ajustado en la posición B en el bloque tipo IIW para ángulos de 40° a 60° o en la posición C en el bloque tipo IIW para ángulos de 60° a 70° (véase Figura 6.16).

(2) Para el ángulo seleccionado, el transductor debe moverse hacia atrás y hacia adelante sobre la línea indicativa del ángulo del transductor hasta que se maximice la señal desde el radio. El punto de entrada de sonido en el transductor se debe comparar con la marca del ángulo en el bloque de calibración (tolerancia $\pm 2^\circ$) (véase Anexo G, G.2.2 para consultar métodos alternativos).

6.27.2.3 Procedimiento de calibración de distancia. El transductor debe estar en posición D en un bloque tipo IIW (cualquier ángulo). Luego se debe ajustar el instrumento para alcanzar una indicación en 4 pulg. [100 mm en un bloque métrico] y una segunda indicación en 8 pulg. [200 mm en un bloque métrico] o 9 pulg. [225 mm en un bloque métrico] (véase Anexo G, G.2.3 para consultar métodos alternativos).

6.27.2.4 Procedimiento de calibración de amplitud o sensibilidad. El transductor debe estar en posición A en un bloque tipo IIW (cualquier ángulo). Luego se debe ajustar la señal maximizada desde el orificio de 0,060 pulg. [1,59 mm] para lograr una línea de referencia horizontal de indicación de altura (véase Anexo G, G.2.4 para consultar método alternativo). La máxima lectura de decibels obtenida se debe utilizar como la lectura del "Nivel de referencia, b" en la hoja del Informe de ensayo (Anexo L, Formulario L-11), según 6.22.1.

6.27.2.5 Resolución

(1) El transductor se debe ajustar en el bloque de resolución RC, posición Q para un ángulo de 70°, posición R para un ángulo de 60° o posición S para un ángulo de 45°.

(2) El transductor y el instrumento deben resolver los tres orificios de ensayo, como mínimo al punto de distinguir los picos de las indicaciones de los tres orificios.

6.27.2.6 Distancia de aproximación de la unidad de búsqueda. La distancia mínima admisible entre el pie de la unidad de búsqueda y el borde del bloque tipo IIW debe cumplir con lo que se muestra a continuación (véase Figura 6.12):

para transductor de 70°,

$X = 2$ pulg. [50 mm]

para transductor de 60°,

$X = 1\text{--}7/16$ pulg. [37 mm]

para transductor de 45°,

$X = 1$ pulg. [25 mm]

6.28 Procedimientos de calificación del equipo

6.28.1 Procedimiento de linealidad horizontal.

NOTA: Dado que este procedimiento de calificación se realiza con una unidad de búsqueda de haz recto que produce ondas longitudinales con una velocidad de sonido de casi el doble de las ondas de cizallamiento, es necesario duplicar los rangos de distancia de la onda de cizallamiento que se utilicen en la aplicación de este procedimiento.

Ejemplo: El uso de una calibración de pantalla de 10 pulg. [250 mm] en la onda de cizallamiento requerirá una calibración de pantalla de 20 pulg. [500 mm] para este procedimiento de calificación.

El siguiente procedimiento debe ser utilizado para la calificación del instrumento (véase Anexo G, G.3, para consultar método alternativo):

(1) La unidad de búsqueda de haz recto se debe acoplar cumpliendo con los requisitos de 6.21.6 del bloque tipo IIW o el bloque DS en posición G, T o U (véase Figura 6.16) según se requiera para lograr cinco retrorreflexiones en el rango de calificación que esté siendo certificado (véase Figura 6.16).

(2) La primera y la quinta retrorreflexión deben ser ajustadas en las ubicaciones adecuadas con el uso de la calibración a distancia y ajustes de cero retraso.

(3) Se debe ajustar cada indicación a un nivel de referencia con el control de ganancia o atenuación para la evaluación de la ubicación horizontal.

(4) Cada ubicación de deflexión de la traza intermedia debe ser corregida dentro del 2% del ancho de la pantalla.

6.28.2 Precisión de dB

6.28.2.1 Procedimiento. **NOTA:** Para obtener la precisión requerida ($\pm 1\%$) en la lectura de la altura de la indicación, la pantalla debe estar graduada verticalmente en intervalos de 2% o 2,5% para instrumentos con una lectura de amplitud digital, a altura horizontal de mitad de pantalla. Estas graduaciones se deben ubicar entre el 60% y el 100% de la altura de la pantalla. Esto se puede lograr con el uso de una capa transparente en la pantalla. Si este recubrimiento se aplica como una parte permanente de la unidad de UT, se debe tener cuidado de que no oscurezca las pantallas normales de ensayo.

(1) Se debe acoplar una unidad de búsqueda de haz recto, que cumpla con los requisitos de 6.21.6 para el bloque DS que se muestra en la Figura 6.14 y la posición "T", Figura 6.16.

(2) La calibración de distancia debe ajustarse de manera que las primeras 2 pulg. [50 mm] de indicación de retrorreflexión (en adelante llamada *la indicación*) se encuentren en la mitad de la pantalla en forma horizontal.

(3) El control de ganancia o atenuación calibrado se debe ajustar de manera tal que la indicación esté exactamente o levemente por encima del 40% de la altura de la pantalla.

(4) La unidad de búsqueda se debe mover hacia la posición U, véase Figura 6.16, hasta que la indicación esté exactamente en el 40% de la altura de la pantalla.

(5) La amplitud de sonido se debe aumentar 6 dB con el control de ganancia o atenuación calibrado. El nivel de indicación debería estar, teóricamente, justo en el 80% de la altura de la pantalla.

(6) La lectura de dB debe estar registrada bajo "a" y el % real de la altura de la pantalla bajo "b" del paso 5 en el informe de certificación (Anexo L, Formulario L-8), Línea I.

(7) La unidad de búsqueda se debe movéase hacia la posición U, Figura 6.16, hasta que la indicación esté exactamente en el 40% de la altura de la pantalla.

(8) Se debe repetir el paso 5.

(9) Se debe repetir el paso 6, salvo que la información debe ser aplicada a la siguiente línea consecutiva en el Anexo L, Formulario L-8.

(10) Se deben repetir los pasos 7, 8 y 9 en forma consecutiva hasta que se alcance el rango total del control de ganancia (atenuador) (60 dB mínimo).

(11) La información de las filas "a" y "b" se debe aplicar a la ecuación 6.28.2.2 o al nomograma descrito en 6.28.2.3 para calcular los dB corregidos.

(12) Se deben aplicar los dB corregidos del paso 11 a la fila "c".

(13) Se debe restar el valor de la fila "c" del valor de la fila "a" y la diferencia en la fila "d", se debe aplicar el error de dB.

NOTA: Estos valores pueden ser positivos o negativos y así se anotará. En el Anexo L se encuentran ejemplos de la aplicación de los Formularios L-8, L-9, y L-10.

(14) La información se debe tabular en un formulario, incluyendo la información mínima equivalente según se muestra en el Formulario L-8 y la unidad evaluada según las instrucciones que se muestran en dicho formulario.

(15) El Formulario L-9 proporciona un medio relativamente simple para la evaluación de datos del ítem (14). Las instrucciones para esta evaluación están dadas en los ítems (16) a (18).

(16) La información de dB de la fila "e" (Formulario L-8) debe ser aplicada verticalmente y la lectura de dB de la fila "a" (Formulario L-8) horizontalmente, como coordenadas X e Y para graficar una curva de dB en el Formulario L-9.

(17) La mayor longitud horizontal, como se representa en la diferencia de lectura de dB que puede ser inscrita en un rectángulo que representa 2 dB de altura, indica el rango de dB en el que el equipo cumple con los requisitos del código. El rango mínimo admisible es 60 dB.

(18) El equipo que no cumpla con este requisito mínimo puede ser utilizado, siempre que se desarrollen y utilicen factores de corrección para la evaluación de discontinuidades fuera del rango de linealidad aceptable del instrumento, o que el ensayo de soldaduras y la evaluación de discontinuidades se mantengan dentro del rango de linealidad vertical aceptable del equipo.

NOTA: Las cifras de error de dB (fila "d") pueden ser utilizadas como cifras del factor de corrección.

6.28.2.2 Ecuación de decibeles. La siguiente ecuación debe ser utilizada para calcular los decibeles:

$$dB_2 - dB_1 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1}$$

$$dB_2 = 20 \times \text{Log} \frac{\%_2}{\%_1} + dB_1$$

Con relación al Anexo L, Formulario L-8

dB_1 = Fila "a"

dB_2 = Fila "c"

$\%_1$ = Fila "b"

$\%_2$ = Definida en el Formulario L-8

6.28.2.3 Anexo L. Las siguientes notas se aplican al uso del nomograma en el Anexo L, Formulario L-10:

(1) Las filas a, b, c, d y e están en la hoja de certificación, Anexo L, Formulario L-8.

(2) Las escalas A, B y C están en el nomograma, Anexo L, Formulario L-10.

(3) Los puntos cero de la escala C deben ser prefijados agregando el valor necesario para corresponderse con las preferencias del instrumento; es decir 0, 10, 20, 30, etc.

6.28.2.4 Procedimiento. Los siguientes procedimientos se deben aplicar al uso de un nomograma en el Anexo L, Formulario L-10:

(1) Se debe extender una línea recta entre la lectura de decibeles de la fila "a" aplicada a la escala C y el porcentaje correspondiente de la fila "b" aplicado a la escala A.

(2) Se debe utilizar el punto donde la línea recta del paso 1 cruza la línea pivote B como un punto pivote para una segunda línea recta.

(3) Se debe extender una segunda línea recta desde el punto de % promedio en la escala A a través del punto pivote desarrollado en el paso 2 y en la escala C de dB.

(4) Este punto en la escala C indica el dB corregido para uso en la fila "c".

6.28.2.5 Nomograma. Para conocer un ejemplo del uso del nomograma, véase Anexo L, Formulario L-10.

6.28.3 Procedimiento de reflexiones internas

(1) Calibrar el equipo según 6.24.5.

(2) Extraer la unidad de búsqueda del bloque de calibración sin cambiar ningún otro ajuste del equipo.

(3) Aumentar la ganancia o atenuación calibrada a 20 dB más sensible que el nivel de referencia.

(4) Se debe mantener el área de pantalla libre de indicaciones, más allá de 1/2 pulg. [12 mm] de la trayectoria del sonido y por encima de la altura del nivel de referencia.

6.29 Procedimientos de evaluación del tamaño de la discontinuidad

6.29.1 Ensayo del haz recto (longitudinal). No siempre es fácil determinar el tamaño de las discontinuidades laminares, especialmente aquellas que son más pequeñas que el tamaño del transductor. Cuando la discontinuidad es mayor que el transductor, se produce una pérdida completa de la retroreflexión y una pérdida de 6 dB de amplitud y la medida hacia la línea central del transductor es generalmente confiable para determinar la discontinuidad de los bordes. Sin embargo, la evaluación del tamaño aproximado de dichos reflectores, que son más pequeños que el transductor, debe ser realizada comenzando fuera de la discontinuidad con el equipo calibrado según 6.24.4 y moviendo el transductor hacia la zona de la discontinuidad hasta que comience a formarse una indicación en la pantalla. El borde frontal de la unidad de búsqueda en este punto indica el borde de la discontinuidad.

6.29.2 Ensayo del haz angular (cizallamiento). El siguiente procedimiento será utilizado para determinar las longitudes de las indicaciones con clasificaciones dB más graves que las de una indicación Clase D. La longitud de dicha indicación deber determinarse midiendo la distancia entre las ubicaciones de la línea central del transductor donde la amplitud de la clasificación de la indicación cae en un 50% (6 dB) por debajo de la clasificación de discontinuidad aplicable. Esta longitud debe ser registrada bajo "longitud de discontinuidad" en el informe del ensayo. Cuando esté garantizado por la amplitud de la discontinuidad, este procedimiento debe repetirse para determinar la longitud de las discontinuidades Clase A, B y C.

6.30 Patrones de escaneo (véase Figura 6.15)

6.30.1 Discontinuidades longitudinales

6.30.1.1 Movimiento de escaneo A. Ángulo de rotación $\alpha = 10^\circ$.

6.30.1.2 Movimiento de escaneo B. La distancia de escaneo b será tal que la sección de la soldadura que esté siendo evaluada quede cubierta.

6.30.1.3 Movimiento de escaneo C. La distancia de progresión C debe ser aproximadamente la mitad del ancho del transductor.

NOTA: Los movimientos A, B y C pueden combinarse en un solo patrón de escaneo.

6.30.2 Discontinuidades transversales

6.30.2.1 Soldaduras esmeriladas. El patrón de escaneo D debe ser utilizado cuando las soldaduras estén esmeriladas al ras.

6.30.2.2 Soldaduras no esmeriladas. El patrón de escaneo E debe ser utilizado cuando el refuerzo de la soldadura no esté esmerilado al ras. Ángulo de escaneo $e = 15^\circ$ máx.

NOTA: El patrón de escaneo debe cubrir toda la sección de soldadura.

6.30.3 Soldaduras ESW o EGW (patrón adicional de escaneo). Patrón de escaneo E . Ángulo e de rotación de la unidad de búsqueda entre 45° y 60° .

NOTA: El patrón de escaneo debe cubrir toda la sección de soldadura.

6.31 Ejemplos de certificación de precisión de dB

El Anexo L muestra ejemplos del uso de los Formularios L-8, L-9 y L-10 para la solución de una aplicación típica de 6.28.2.

Parte G Otros métodos de evaluación

6.32 Requisitos generales

Esta parte contiene métodos NDT que no fueron abordados en las Partes D, E o F de la Sección 6, o Sección 9, Parte F para tubulares de este código. Los métodos NDT establecidos en la Parte G pueden ser utilizados como alternativa a los métodos delineados en las Partes D, E o F de la Sección 6, o Sección 9, Parte F para tubulares, siempre que los procedimientos, los criterios de calificación para procedimientos y personal y los criterios de aceptación estén documentados por escrito y aprobados por el Ingeniero.

6.33 Sistemas de procesamiento de imágenes por radiación

La evaluación de las soldaduras puede realizarse utilizando métodos de radiación ionizante distinta a la RT tal como procesamiento de imágenes electrónicas, inclu-

yendo sistemas de procesamiento de imágenes en tiempo real. La sensibilidad de dicha evaluación conforme se ve en el equipo de monitoreo (cuando se utiliza para aceptación o rechazo) y el medio de registro no deben ser inferiores a lo requerido para RT.

6.33.1 Procedimientos. Los procedimientos escritos deben contener las siguientes variables fundamentales:

- (1) Identificación del equipo, incluyendo el fabricante, la marca, el modelo y el número de serie,
- (2) El ajuste del control de radiación y de procesamiento de imágenes para cada combinación de variables establecidas en el presente,
- (3) Rangos de espesor de la soldadura,
- (4) Tipos de junta de soldadura,
- (5) Velocidad de escaneo,
- (6) Distancia de fuente de radiación a soldadura,
- (7) Distancia de pantalla de conversión de imagen a soldadura,
- (8) Ángulo de rayos X a través de la soldadura (desde la normal),
- (9) Ubicación del IQI (lado de la fuente o lado de la pantalla),
- (10) Tipo de medio de registro (grabación de video, película fotográfica estática, película de filmación fotográfica o algún otro medio aceptable),
- (11) Realce por computación (si se utiliza),
- (12) Ancho del haz de radiación,
- (13) Protocolo de caracterización de la indicación y criterios de aceptación, si difieren de este código.

6.33.2 IQI. Se debe utilizar el IQI de tipo alambre según se describe en la Parte E. La colocación del IQI debe ser conforme se especifica en la Parte E de esta sección, o Sección 9, Parte F para tubulares para la evaluación estática. Para la evaluación en movimiento, la colocación debe ser como se indica a continuación:

- (1) Dos IQI ubicados en cada extremo del área de interés y controlados con el recorrido,
- (2) Un IQI en cada extremo del recorrido y ubicados a una distancia no superior a 10 pies (3 m) entre dos IQI cualquiera durante el recorrido.

6.34 Sistemas ultrasónicos avanzados

Los sistemas ultrasónicos avanzados incluyen, pero no están limitados a, sondas múltiples, sistemas multicanales, inspección automatizada, difracción de tiempo de vuelo (TOFD) y sistemas de arreglo de fases.

6.34.1 Procedimientos. Los procedimientos escritos deben contener las siguientes variables fundamentales:

- (1) Identificación del equipo, incluyendo el fabricante, la marca, el modelo y los números de serie;
- (2) Tipos de sondas, incluyendo tamaño, forma y ángulo para arreglos de fase: cantidad de elementos transductores por sonda, ángulo de haz, distancia focal, tamaño del punto focal y frecuencia (MHz);
- (3) Los ajustes de control de escaneo para cada combinación de variables establecidas en el presente;
- (4) Procedimiento de configuración y calibración para equipos y sondas utilizando las normas industriales o muestras de mano de obra;
- (5) Rangos de espesor de la soldadura;
- (6) Tipo de junta de soldadura;
- (7) Velocidades de escaneo;
- (8) Cantidad de sondas;
- (9) Ángulo de escaneo;
- (10) Tipo de escaneo (A, B, C, otro);
- (11) Tipo de medio de registro (grabación de video, asistida por computadora u otro medio aceptable);
- (12) Realce por computación (si se utiliza);
- (13) Identificación del software (si se utiliza);
- (14) Protocolo de caracterización de la indicación y criterios de aceptación, si difieren de este código.

6.35 Requisitos adicionales

6.35.1 Calificación de procedimientos. Los procedimientos deben ser calificados mediante el ensayo del método (sistema) NDT y el medio de registro para establecer todas las variables y condiciones fundamentales. El ensayo de calificación consistirá en determinar que cada combinación de las variables fundamentales o de los rangos de variables puedan proporcionar la sensibilidad mínima requerida. Los resultados del ensayo deben ser registrados en el medio de registro que se utilizará para la evaluación de la producción. Los procedimientos deben ser aprobados por una persona calificada como ASNT SNT-TC-1A, Nivel III (véase 6.35.2).

6.35.2 Calificaciones del personal. Además de las calificaciones del personal de 6.14.6 se debe aplicar lo siguiente.

- (1) Nivel III: debe tener un mínimo de seis meses de experiencia utilizando equipos y procedimientos iguales o similares para la evaluación de soldaduras en materiales metálicos estructurales o de tubería.
- (2) Niveles I y II: debe estar certificado por el Nivel III anterior y tener un mínimo de tres meses de experiencia utilizando equipos y procedimientos iguales o similares para la evaluación de soldaduras en materiales metálicos estructurales o de tubería. La calificación debe consistir en exámenes escritos y prácticos para demostrar

aptitud para el uso de los equipos y procedimientos que se utilizan para la evaluación de la producción.

6.35.3 Realce de la imagen. El realce por computadora de las imágenes grabadas será aceptable para mejorar la imagen grabada y obtener información adicional, siempre que se mantenga la sensibilidad mínima requerida y la precisión de caracterización de discontinuidades. Se debe marcar claramente en las imágenes que se utilizó el realce computarizado y se deben identificar los procedimientos de mejora.

6.35.4 Registros—Evaluaciones del procesamiento de imágenes por radiación. Las evaluaciones que se utilizan para la aceptación o rechazo de las soldaduras deben estar registradas en un medio aceptable. El registro podrá ser en movimiento o estático, el que se utilice para aceptar o rechazar las soldaduras. Se debe incluir un registro escrito junto con las imágenes registradas, proporcionando como mínimo la siguiente información:

- (1) Identificación y descripción de las soldaduras examinadas
- (2) Procedimientos utilizados
- (3) Equipos utilizados
- (4) Ubicación de las soldaduras dentro del medio registrador
- (5) Resultados, incluyendo una lista de las soldaduras y reparaciones inaceptables y su ubicación dentro del medio de registro.

Tabla 6.1
Criterios de aceptación de la inspección visual (véase 6.9)

Categorías de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente								
(1) Prohibición de grietas No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o la ubicación.	X	X								
(2) Fusión del metal de soldadura/metal base Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X								
(3) Sección transversal del cráter Se deberán llenar todos los cráteres para proporcionar el tamaño de la soldadura especificado, excepto en los extremos de soldaduras en filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X	X								
(4) Perfiles de soldadura Los perfiles de soldadura deberán cumplir con 5.23.	X	X								
(5) Tiempo de inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que se hayan enfriado las soldaduras finalizadas a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517, y A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] deberán estar basados en inspecciones visuales realizadas en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de la soldadura.	X	X								
(6) Soldaduras de tamaño inferior al nominal El tamaño de una soldadura en filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U): <table><tr><td>L, tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]</td><td>U, disminución admisible de L, pulg. [mm]</td></tr><tr><td>≤ 3/16 [5]</td><td>≤ 1/16 [2]</td></tr><tr><td>1/4 [6]</td><td>≤ 3/32 [2,5]</td></tr><tr><td>≥ 5/16 [8]</td><td>≤ 1/8 [3]</td></tr></table> En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño inferior al nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de alma a ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.	L, tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	U, disminución admisible de L, pulg. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2,5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X
L, tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	U, disminución admisible de L, pulg. [mm]									
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]									
1/4 [6]	≤ 3/32 [2,5]									
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]									
(7) Socavación (A) En el caso de materiales de menos de 1 pulg. [25 mm] de espesor, la socavación no deberá exceder de 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm] en cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier tramo de 12 pulg. [300 mm]. En el caso de materiales con espesor igual o mayor de 1 pulg. [25 mm], la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm], cualquiera sea la longitud de la soldadura. (B) En miembros principales, la socavación no deberá ser mayor de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura sea transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de carga. La socavación no deberá ser superior a 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad en ningún caso.	X	X								
(8) Porosidad (A) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldaduras en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (B) La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras en filete no deberá exceder de una en cada 4 pulg. [100 mm] de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm]. Excepción: en el caso de soldaduras en filete que conectan rigidizadores al ala, la suma de los diámetro de la porosidad vermicular no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (C) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular. En todas las demás soldaduras en ranura la frecuencia de la porosidad vermicular no deberá exceder de una en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm].	X	X								

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el tipo de conexión, un área sombreada indica no aplicabilidad.

Tabla 6.2
Criterios de aceptación-rechazo con UT (conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión) (véase 6.13.1, 6.13.2(2), y C-6.25.6)

Clase de severidad de discontinuidad	Tamaño de la soldadura ^a en pulgadas [mm] y ángulo de unidad de búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8–20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 hasta 4 [65–100]			> 4 hasta 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+5 y menor	+2 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor	-5 y menor	-2 y menor	0 y menor	-7 y menor	-4 y menor	-1 y menor
Clase B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3
Clase D	+8 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+4 y mayor

^a El tamaño de la soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal de la pieza más delgada de las que se deben unir.

Notas:

1. Las discontinuidades Clase B y C deberán estar separadas por al menos 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto cuando dos o más de dichas discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación sea igual o inferior a la longitud máxima admisible de acuerdo con las disposiciones de la Clase B o C, en cuyo caso la discontinuidad deberá ser considerada una sola discontinuidad aceptable.
2. Las discontinuidades Clase B y C no deberán comenzar a una distancia inferior a 2L de los extremos de la soldadura que conducen el esfuerzo de tracción primario, siendo L la longitud de discontinuidad.
3. Las discontinuidades detectadas a “nivel de escaneo” en el área de la cara de la raíz de las juntas soldadas en ranura doble con CJP deberán ser evaluadas utilizando una clasificación de indicación de 4 dB más sensible que la descrita en 6.25.6.5, cuando dichas soldaduras están designadas como “soldaduras a tracción” en el plano (restar 4 dB de la clasificación de indicación “d”). Esto no se debe aplicar en caso de que la junta soldada esté ranurada del lado opuesto al metal sólido para eliminar la cara de raíz y se utilice MT para comprobar que se haya eliminado la cara de raíz.
4. ESW o EGW: Se deberá sospechar que las discontinuidades detectadas a “nivel de escaneo” que excedan de 2 pulg. [50 mm] de longitud sean porosidad vermicular y deberán ser evaluadas con radiografías.
5. Para los casos en que las indicaciones se mantengan en la pantalla cuando se mueva la unidad de búsqueda, consultar 6.13.1.

Clase A (discontinuidades grandes)
 Se deberá rechazar cualquier indicación en esta categoría (independientemente de la longitud).

Clase B (discontinuidades medianas)
 Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 3/4 pulg. [20 mm].

Clase C (discontinuidades pequeñas)
 Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 2 pulg. [50 mm].

Clase D (discontinuidades menores)
 Se deberá aceptar toda indicación en esta categoría, independientemente de la longitud o ubicación de la soldadura.

Niveles de escaneo	
Trayectoria del sonido ^b en pulgadas [mm]	Referencia superior a cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 hasta 5 [65–125 mm]	19
> 5 hasta 10 [125–250 mm]	29
> 10 hasta 15 [250–380 mm]	39

^b Esta columna se refiere a la distancia de la trayectoria del sonido; NO al espesor del material.

Tabla 6.3
Criterios de aceptación-rechazo con UT (conexiones no tubulares cargadas cíclicamente a tracción)
(véase 6.13.2 y C-6.25.6)

Clase de severidad de discontinuidad	Tamaño de la soldadura ^a en pulgadas [mm] y ángulo de unidad de búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8–20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20–38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 hasta 4 [65–100]			> 4 hasta 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+10 y menor	+8 y menor	+4 y menor	+7 y menor	+9 y menor	+1 y menor	+4 y menor	+6 y menor	–2 y menor	+1 y menor	+3 y menor
Clase B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	–1 0	+2 +3	+4 +5
Clase C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
Clase D	+13 y mayor	+11 y mayor	+9 y mayor	+12 y mayor	+14 y mayor	+6 y mayor	+9 y mayor	+11 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor

^a El tamaño de la soldadura en juntas a tope debe ser el espesor nominal de la pieza más delgada de las que se deben unir.

Notas:

1. Las discontinuidades Clase B y C deberán estar separadas por al menos 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto cuando dos o más de dichas discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación sea igual o inferior a la longitud máxima admisible de acuerdo con las disposiciones de la Clase B o C, en cuyo caso la discontinuidad deberá ser considerada una sola discontinuidad aceptable.
2. Las discontinuidades Clase B y C no deberán comenzar a una distancia inferior a 2L de los extremos de la soldadura que conducen el esfuerzo de tracción primario, siendo L la longitud de discontinuidad.
3. Las discontinuidades detectadas a “nivel de escaneo” en el área de la cara de la raíz de las juntas soldadas en ranura doble con CJP deberán ser evaluadas utilizando una clasificación de indicación de 4 dB más sensible que la descrita en 6.25.6.5, cuando dichas soldaduras están designadas como “soldaduras a tracción” en el plano (restar 4 dB de la clasificación de indicación “d”). Esto no se debe aplicar en caso de que la junta soldada esté ranurada del lado opuesto al metal sólido para eliminar la cara de raíz y se utilice MT para comprobar que se haya eliminado la cara de raíz.
4. Para los casos en que las indicaciones se mantengan en la pantalla cuando se mueva la unidad de búsqueda, véase 6.13.2.1.

Clase A (discontinuidades grandes)
 Se deberá rechazar cualquier indicación en esta categoría (independientemente de la longitud).

Clase B (discontinuidades medianas)
 Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 3/4 pulg. [20 mm].

Clase C (discontinuidades pequeñas)
 Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 2 pulg. [50 mm] en la mitad central o 3/4 pulg. [20 mm] de longitud en el cuarto superior o inferior del espesor de la soldadura.

Clase D (discontinuidades menores)
 Se deberá aceptar toda indicación en esta categoría, independientemente de la longitud o ubicación de la soldadura.

Niveles de escaneo	
Trayectoria del sonido ^b pulgadas [mm]	Referencia superior a cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 hasta 5 [65–125 mm]	25
> 5 hasta 10 [125–250 mm]	35
> 10 hasta 15 [250–380 mm]	45

^b Esta columna se refiere a la distancia de la trayectoria del sonido; NO al espesor del material.

Tabla 6.4
Requisitos para IQI de tipo orificio (véase 6.17.1)

Rango nominal del espesor del material, pulgadas	Rango nominal del espesor del material, mm	Lado de la fuente	
		Designación	Orificio esencial
Hasta 0,25 incl.	Hasta 6 incl.	10	4T
Más de 0,25 hasta 0,375	Más de 6 hasta 10	12	4T
Más de 0,375 hasta 0,50	Más de 10 hasta 12	15	4T
Más de 0,50 hasta 0,625	Más de 12 hasta 16	15	4T
Más de 0,625 hasta 0,75	Más de 16 hasta 20	17	4T
Más de 0,75 hasta 0,875	Más de 20 hasta 22	20	4T
Más de 0,875 hasta 1,00	Más de 22 hasta 25	20	4T
Más de 1,00 hasta 1,25	Más de 25 hasta 32	25	4T
Más de 1,25 hasta 1,50	Más de 32 hasta 38	30	2T
Más de 1,50 hasta 2,00	Más de 38 hasta 50	35	2T
Más de 2,00 hasta 2,50	Más de 50 hasta 65	40	2T
Más de 2,50 hasta 3,00	Más de 65 hasta 75	45	2T
Más de 3,00 hasta 4,00	Más de 75 hasta 100	50	2T
Más de 4,00 hasta 6,00	Más de 100 hasta 150	60	2T
Más de 6,00 hasta 8,00	Más de 150 hasta 200	80	2T

Tabla 6.5
Requisitos para IQI de tipo alambre (véase 6.17.1)

Rango nominal del espesor del material, pulgadas	Rango nominal del espesor del material, mm	Lado de la fuente	
		Diámetro máximo del alambre	
		pulgadas	mm
Hasta 0,25 incl.	Hasta 6 incl.	0,010	0,25
Más de 0,25 hasta 0,375	Más de 6 hasta 10	0,013	0,33
Más de 0,375 hasta 0,625	Más de 10 hasta 16	0,016	0,41
Más de 0,625 hasta 0,75	Más de 16 hasta 20	0,020	0,51
Más de 0,75 hasta 1,50	Más de 20 hasta 38	0,025	0,63
Más de 1,50 hasta 2,00	Más de 38 hasta 50	0,032	0,81
Más de 2,00 hasta 2,50	Más de 50 hasta 65	0,040	1,02
Más de 2,50 hasta 4,00	Más de 65 hasta 100	0,050	1,27
Más de 4,00 hasta 6,00	Más de 100 hasta 150	0,063	1,60
Más de 6,00 hasta 8,00	Más de 150 hasta 200	0,100	2,54

Tabla 6.6
Selección y colocación de IQI (véase 6.17.7)

Tipos del IQI	T igual ≥ 10 pulg. [250 mm] L		T igual < 10 pulg. [250 mm] L		T desigual ≥ 10 pulg. [250 mm] L		T desigual < 10 pulg. [250 mm] L	
	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre
Cantidad de IQI								
No tubular	2	2	1	1	3	2	2	1
Selección de la norma ASTM	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747	E1025	E747
Tabla	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5	6.4	6.5
Figuras		6.6		6.7		6.8		6.9

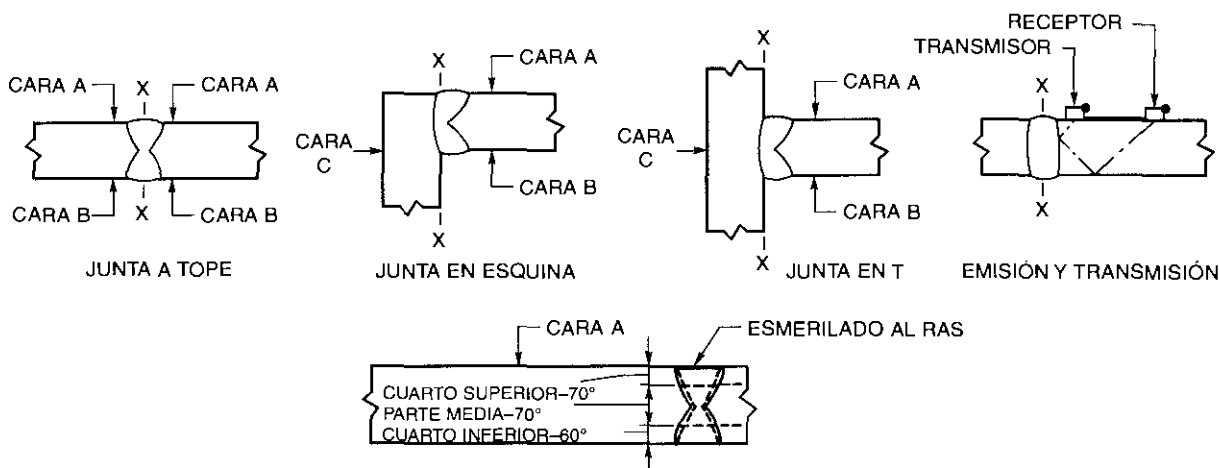
T = Espesor nominal de metal base (T1 y T2 de las Figuras).

L = Longitud de la soldadura en el área de interés de cada radiografía.

Nota: Es posible incrementar T para proporcionar el espesor del refuerzo admisible de la soldadura siempre que se utilicen cuñas debajo de los IQI de orificio conforme a 6.17.3.3.

Tabla 6.7
Ángulo de ensayo (véase 6.25.5.2)

Tabla de procedimiento																		
Espesor del material, pulg. [mm]																		
Aplicación	5/16 [8]		> 1-1/2 [38]		> 1-3/4 [45]		> 2-1/2 [65]		> 3-1/2 [90]		> 4-1/2 [110]		> 5 [130]		> 6-1/2 [160]		> 7 [180]	
	a		a		a		a		a		a		a		a		a	
	1-1/2 [38]		1-3/4 [45]		2-1/2 [65]		3-1/2 [90]		4-1/2 [110]		5 [130]		6-1/2 [160]		7 [180]		8 [200]	
	*		*		*		*		*		*		*		*		*	
Junta a tope	1	O	1	F	1G o 4	F o 5	1G o 5	F o 7	6 o 7	F o 7	8 o 10	F o 11	9 o 11	F o 13	12 o 13	F o 12	12 o 12	
Junta en T	1	O	1	F o XF	4 o XF	F o XF	5 o XF	F o XF	7 o XF	F o XF	8 o XF	F o XF	9 o XF	F o XF	13 o XF	F o XF	— o —	
Junta en esquina	1	O	1	F o XF	1G o 4	F o XF	1G o 5	F o XF	6 o 7	F o XF	8 o 10	F o XF	9 o 11	F o XF	13 o 14	F o XF	— o —	
Soldaduras ESW/EGW	1	O	1	O	1G o 4	1** o 3	1G o 3	P1 o P3	6 o 7	P3 o 7	11 o 15	P3 o 15	11 o 15	P3 o 15	11 o 15	P3 o 15	11 o 15**	



Notas:

1. Cuando sea posible, todas las evaluaciones deberán ser realizadas desde la Cara A y en la Pierna I, excepto que se especifique lo contrario en esta tabla.
2. Las áreas de raíz de juntas soldadas en ranura simple que no requieran la extracción del respaldo por contrato deberán ser ensayadas en la Pierna I, cuando sea posible, siendo la Cara A la opuesta al respaldo. (Puede ser necesario el esmerilado de la cara de soldadura o el ensayo de caras de soldadura adicionales para permitir el escaneo completo de la raíz de la soldadura).
3. La evaluación de la Pierna II o III se deberá realizar solo para cumplir con las disposiciones de esta tabla o cuando sea necesario ensayar áreas de soldadura inaccesibles por una superficie de soldadura no esmerilada, por la interferencia con otras partes de la soldadura o para cumplir con los requisitos de 6.25.6.2.
4. Se deberá utilizar un máximo de la Pierna III solo cuando el espesor o la geometría impidan el escaneo de áreas completas de soldadura y HAZ en la Pierna I o Pierna II.
5. En las soldaduras a tracción en estructuras cargadas cíclicamente, se debe probar el cuarto superior del espesor con la pierna final del sonido avanzando desde la Cara B hacia la Cara A, el cuarto inferior del espesor se debe probar con la pierna final del sonido avanzando desde la Cara A hacia la Cara B, es decir, el cuarto superior del espesor se debe probar ya sea desde la Cara A en la Pierna II o desde la Cara B en la Pierna I a decisión del Contratista, excepto que se especifique lo contrario en los documentos del contrato.
6. La cara de soldadura indicada deberá estar esmerilada al ras antes de utilizar los procedimientos 1G, 6, 8, 9, 12, 14 o 15. La Cara A para ambos miembros conectados deberá estar en el mismo plano.

(véase la leyenda en la página siguiente)

Tabla 6.7 (Continuación)
Ángulo de ensayo (véase 6.25.5.2)

Leyenda:

- X — Verificar desde la Cara C.
- G — Esmerilar al ras la cara de la soldadura.
- O — No se requiere.
- * — Se requiere solo donde la indicación de altura de referencia de discontinuidad en la pantalla se señale en la interfaz de metal de soldadura y metal base mientras se busque a nivel de escaneo con los procedimientos principales seleccionados de la primera columna.
- ** — Utilizar una calibración de distancia de pantalla de 15 pulg. [400 mm] o 20 pulg. [500 mm].
- P — Se deberá utilizar la técnica de emisor y receptor para la evaluación adicional de discontinuidades únicamente en la mitad central del espesor del material y solo con transductores de 45° o 70° de igual especificación, ambos de cara a la soldadura. (Los transductores deben ser sostenidos en un elemento de fijación para el control de posición; véase esquema). La calibración de amplitud para la emisión y recepción se realiza normalmente mediante la calibración de una única unidad de búsqueda. Cuando se cambia a unidades de búsqueda duales para la inspección por emisión y recepción, se debe garantizar que dicha calibración no cambie como resultado de las variables del instrumento.
- F — Las indicaciones de la interfaz de metal de soldadura y metal base deberán ser evaluadas adicionalmente con un transductor de 70°, 60° o 45° —aquel en que la trayectoria del sonido esté más cerca de la perpendicular a la superficie de fusión sospechada.
- Cara A — La cara del material desde la cual se realiza el escaneo inicial (en el caso de juntas en T y en esquina, seguir esquemas anteriores).
- Cara B — Opuesta a la Cara A (la misma placa).
- Cara C — La cara opuesta a la soldadura en el miembro conector o una junta en T o en esquina.

Leyenda del procedimiento			
Área de espesor de la soldadura			
N.º	Cuarto superior	Mitad	Cuarto inferior
1	70°	70°	70°
2	60°	60°	60°
3	45°	45°	45°
4	60°	70°	70°
5	45°	70°	70°
6	70° G Cara A	70°	60°
7	60° Cara B	70°	60°
8	70° G Cara A	60°	60°
9	70° G Cara A	60°	45°
10	60° Cara B	60°	60°
11	45° Cara B	70°**	45°
12	70° G Cara A	45°	70° G Cara B
13	45° Cara B	45°	45°
14	70° G Cara A	45°	45°
15	70° G Cara A	70° A Cara B	70° G Cara B

Tabla 6.8
Requisitos de calificación y calibración de equipos de UT (véase 6.21.1)

		Tipo de calificación o actividad de calibración	Frecuencia mínima		
		Descripción	Sección del código	Frecuencia mínima	Sección del código
Procedimientos para la califica- ción de equipos	Instrumentos	Linealidad horizontal	6.28.1	2 meses	6.23.1
		Control de ganancia/precisión de dB	6.28.2	2 meses	6.23.2
	Unidades de búsqueda	Reflexiones internas	6.28.3	40 horas de uso ^a	6.23.3
		Unidades de búsqueda del ángulo de haz (Punto indicador, ángulo)	6.27.2.1	8 horas de uso ^a	6.23.4
			6.27.2.2		
		Combinaciones de unidades de bús- queda/ Instrumentos	Resolución (ángulo de haz)	6.22.3	Antes del uso inicial ^b
	6.27.2.5				
Calibración para ensayos	Haz recto (para ensayo de mate- rial base)	Rango	6.24.4.1 o 6.27.1.1	Justo antes y en la ubicación de la primera soldadura ensaya- da ^c	6.24.2
			6.24.4.2 o 6.27.1.2		
	Ángulo de haces	Rango	6.24.5.1 6.27.2.3		
		Sensibilidad	6.24.5.2 6.27.2.4		
		Punto indicador	6.27.2.1		
		Ángulo	6.27.2.2		
	Haz recto y ángulo de haz	Recalibración	6.24.3	2 horas ^d	6.24.3

^a Se debe llevar a cabo para cada unidad de búsqueda.

^b Se debe llevar a cabo para cada combinación de unidad de búsqueda (transductor y zapata) e instrumentos antes del uso inicial.

^c Después de cumplir con los requisitos de 6.24.2, se deben aplicar los requisitos de recalibración de 6.24.3.

^d O cuando se ha perturbado el circuito eléctrico de cualquier modo que incluya lo siguiente:

- (1) Cambio de transductor
- (2) Cambio de batería
- (3) Cambio de salida eléctrica
- (4) Cambio de cable coaxial
- (5) Corte de energía (falla)

Leyenda para las Figuras 6.1, 6.2 y 6.3

Dimensiones de discontinuidades

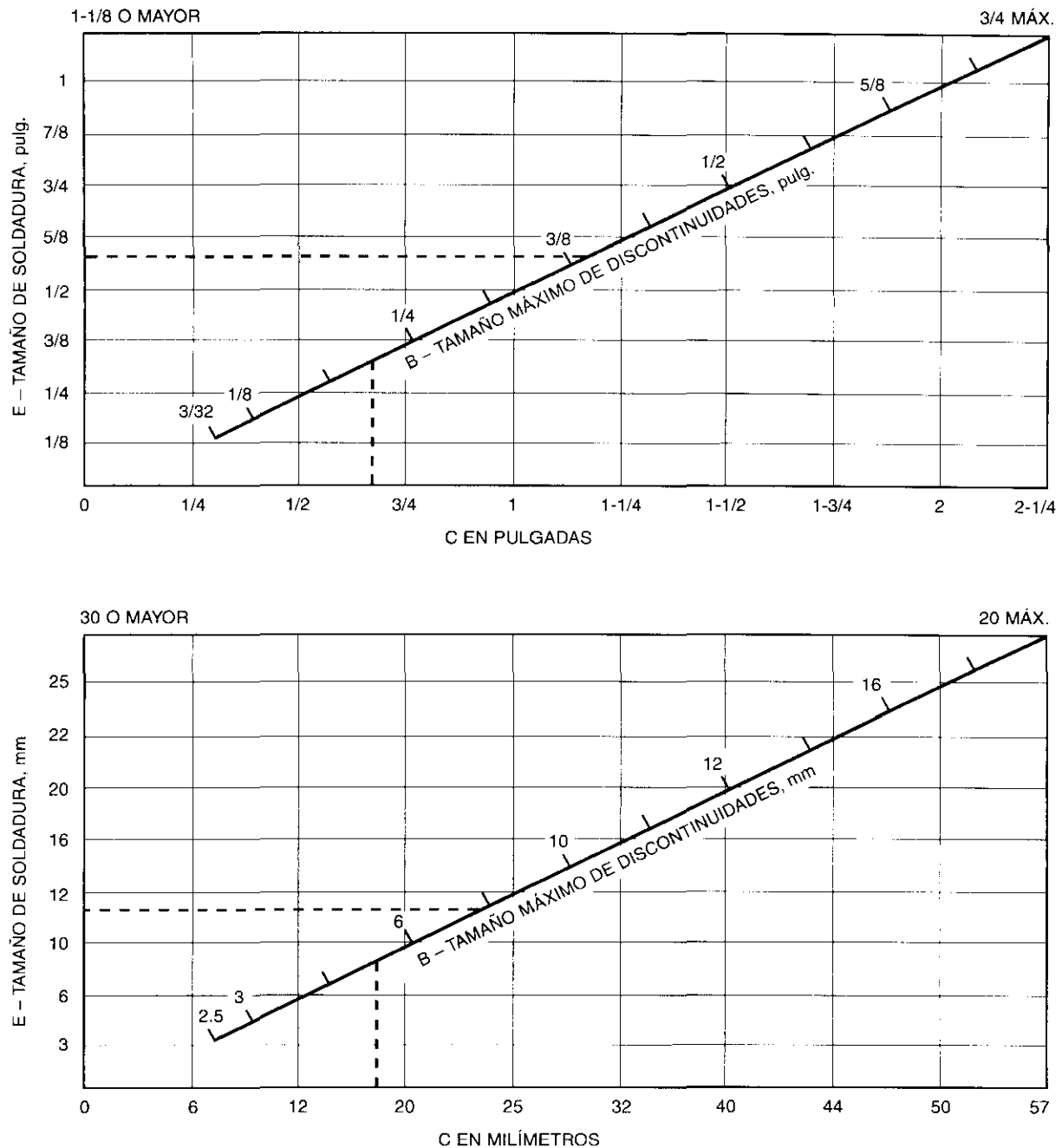
- B = Máxima dimensión admisible de una discontinuidad radiografiada.
- L = Mayor dimensión de una discontinuidad radiografiada.
- L' = Mayor dimensión de discontinuidades adyacentes.
- C = Holgura mínima medida a lo largo del eje longitudinal de la soldadura entre bordes de porosidad o discontinuidades de tipo fusión (rige las discontinuidades adyacentes más grandes) o un borde o un extremo de una soldadura intersectante.
- C₁ = Distancia mínima admisible entre la discontinuidad más cercana al borde libre de la placa o tubular, o la intersección de una soldadura longitudinal con una soldadura de circunferencia, medida paralela al eje de la soldadura longitudinal.
- W = Menor dimensión de cualquiera de las discontinuidades adyacentes.
-

Dimensiones de los materiales

- E = tamaño de la soldadura
- T = Espesor de placa o conducto para soldaduras en ranura con CJP
-

Definiciones de discontinuidades

- Una discontinuidad elongada es aquella en la que la dimensión más grande (L) es 3 veces mayor que la dimensión más pequeña.
 - Una discontinuidad redondeada es aquella en la que la mayor dimensión (L) es menor o igual a 3 veces la dimensión más pequeña.
 - Una agrupación se define como un grupo de discontinuidades adyacentes individuales no alineadas, de tamaño aceptable, con un espaciamiento menor al mínimo admisible (C) para la discontinuidad adyacente individual más grande (L'), pero con la suma de las dimensiones más grandes (L) de todas las discontinuidades de la agrupación igual o menor que el tamaño máximo admisible de la discontinuidad individual (B). Dichas agrupaciones deben ser consideradas como discontinuidades individuales de tamaño L, con el fin de evaluar el espaciamiento mínimo.
 - Las discontinuidades alineadas son aquellas en las que los ejes principales de cada discontinuidad están aproximadamente alineados.
-



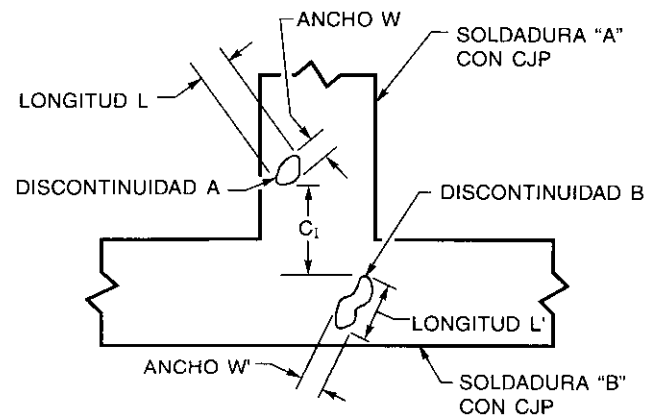
Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad admisible en cualquier tamaño de la soldadura o de junta, proyectar E horizontalmente hacia B.
2. Para determinar la holgura mínima admisible entre los bordes de discontinuidades de cualquier tamaño mayor o igual a 3/32 pulg. [2,5 mm] proyectar B verticalmente hacia C.
3. véase las definiciones en la leyenda en la página 217.

Figura 6.1—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente o conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1 y 9.26.2 para conexiones tubulares)

CLAVE PARA LA FIGURA 6.1, CASOS I, II, III, Y IV

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA A
 DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA B
 L Y W = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD A
 L' Y W' = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD B
 E = TAMAÑO DE SOLDADURA
 C₁ = DISTANCIA MÁS CORTA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS BORDES MÁS CERCANOS DE LA DISCONTINUIDAD

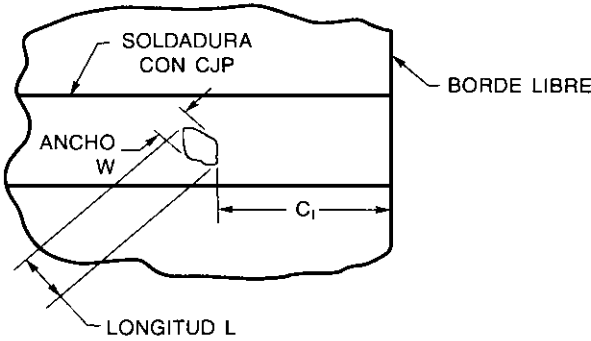
**CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD^a**

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	$< E/3, \leq 1/4 \text{ pulg. [6 mm]}$	$E \leq 2 \text{ pulg. [50 mm]}$
	$\leq 3/8 \text{ pulg. [10 mm]}$	$E > 2 \text{ pulg. [50 mm]}$
C ₁	$\geq 3L$	(A) UNA DISCONTINUIDAD REDONDEADA, LA OTRA REDONDEADA O ELONGADA ^a (B) $L \geq 3/32 \text{ pulg. [2,5 mm]}$

^a La discontinuidad elongada puede estar ubicada ya sea en la soldadura "A" o en la "B". Para los fines de esta ilustración la discontinuidad elongada "B" fue ubicada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1 y 9.26.2 para conexiones tubulares)

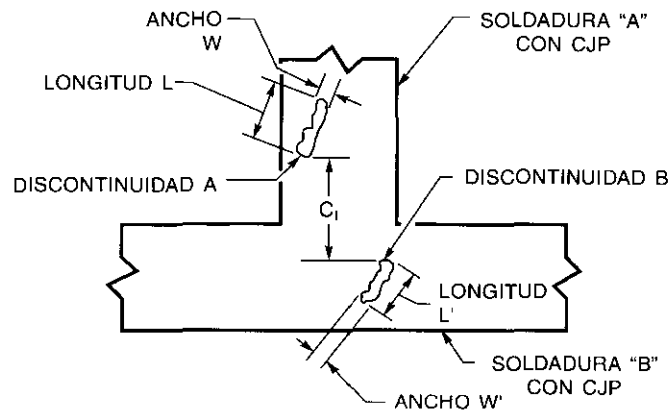


CASO II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	$<E/3, \leq 1/4 \text{ pulg. [6 mm]}$	$E < 2 \text{ pulg. [50 mm]}$
	$\leq 3/8 \text{ pulg. [10 mm]}$	$E > 2 \text{ pulg. [50 mm]}$
C_1	$\geq 3L$	$L \geq 3/32 \text{ pulg. [2,5 mm]}$

Caso II—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1 y 9.26.2 para conexiones tubulares)

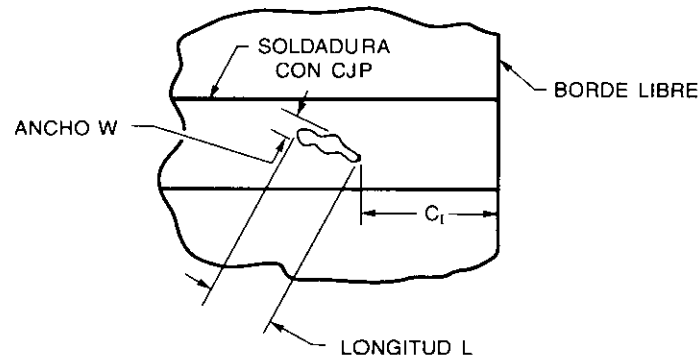


CASO III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	$\leq 2E/3$	$L/W > 3W$
C_t	$\geq 3L$ O $2E$, LA QUE SEA MAYOR	$L \geq 3/32$ pulg. [2,5 mm]

Caso III—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1 y 9.26.2 para conexiones tubulares)

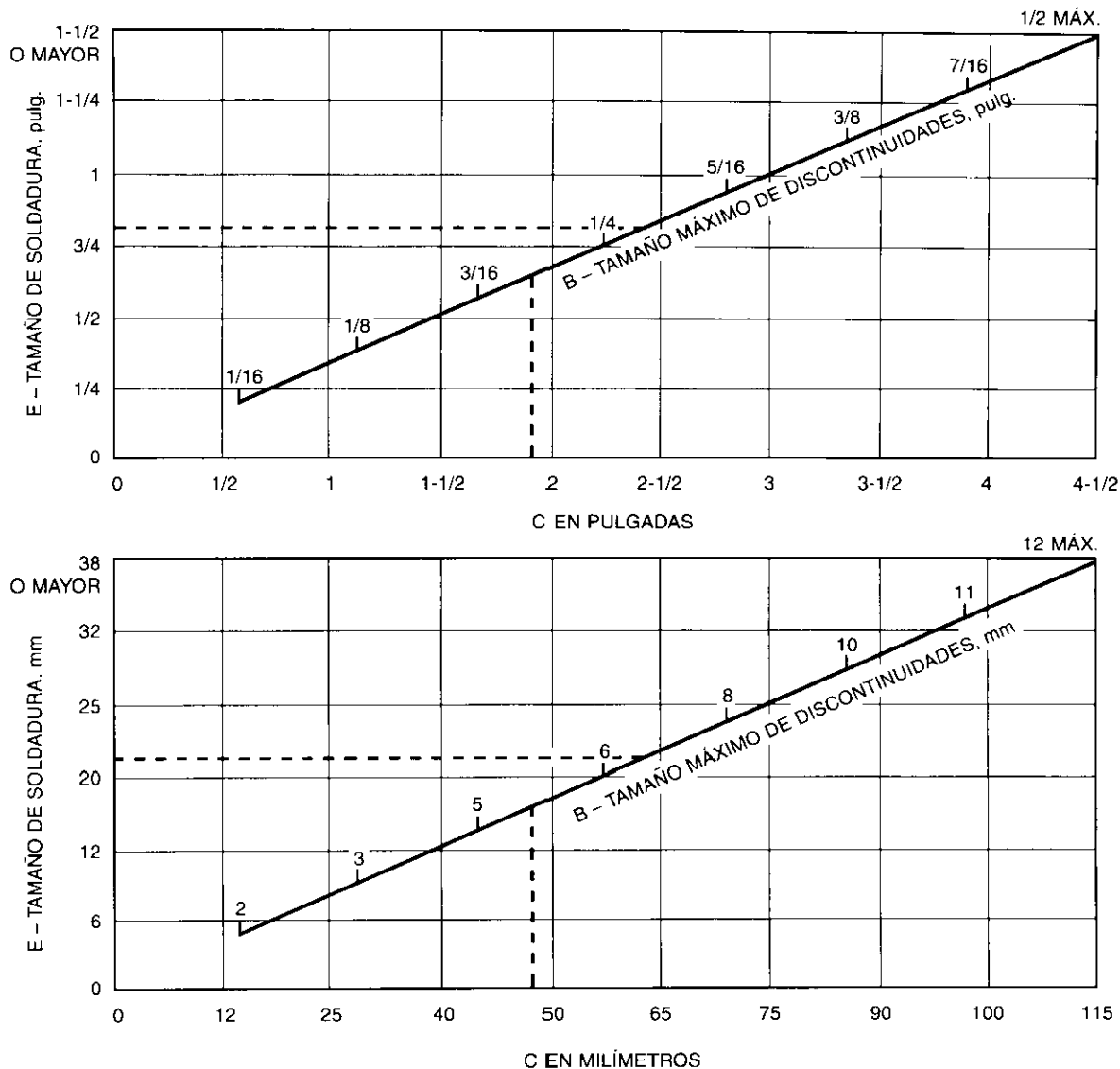


CASO IV LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	$< 2E/3$	$L/W > 3$
C ₁	$\geq 3L$ O $2E$, LA QUE SEA MAYOR	$L \geq 3/32$ pulg. [2,5 mm]

Caso IV—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1 y 9.26.2 para conexiones tubulares)



Notas:

- 1 Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad admisible en cualquier tamaño de la soldadura o de junta, proyectar E horizontalmente hacia B.
- 2 Para determinar la holgura mínima admisible entre los bordes de discontinuidades de cualquier tamaño, proyectar B verticalmente hacia C.
- 3 véase las definiciones en la leyenda en la página 217.

Figura 6.2—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)

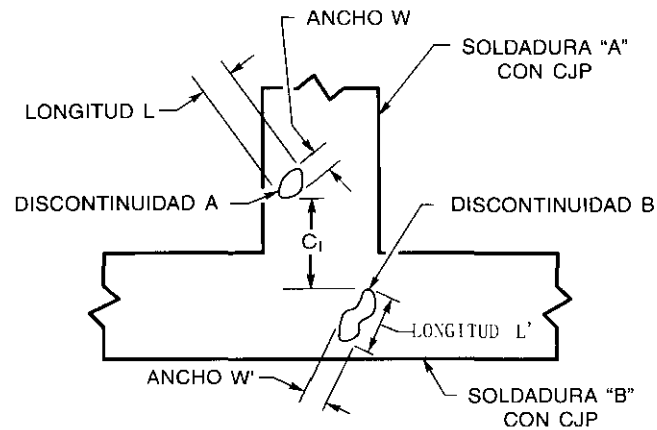
CLAVE PARA FIGURA 6.2, CASOS I, II, III, Y IV

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA A
 DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA B

L Y W = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD A
 L' Y W' = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD B

E = TAMAÑO DE SOLDADURA

C₁ = DISTANCIA MÁS CORTA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS BORDES MÁS CERCANOS DE LA DISCONTINUIDAD

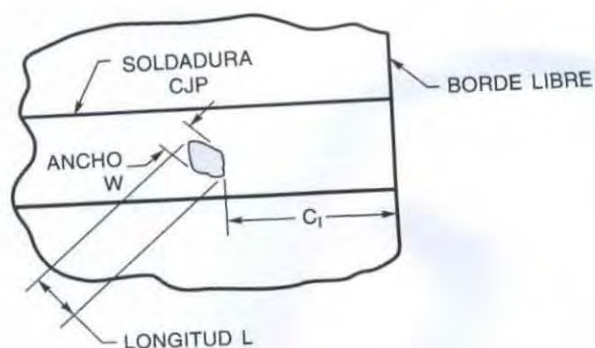
**CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD^a**

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/16$ pulg. [2 mm]
C ₁	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN C)	—

^a La discontinuidad elongada puede estar ubicada ya sea en la soldadura "A" o en la "B". Para los fines de esta ilustración la discontinuidad elongada "B" fue ubicada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)

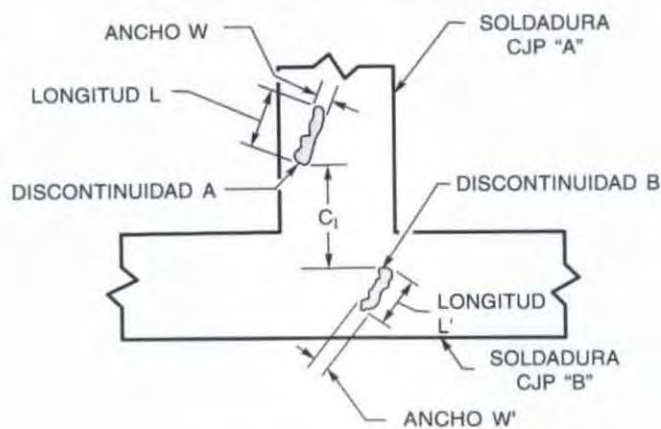


CASO II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/16$ pulg. [2 mm]
C_1	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN C)	—

Caso II—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)

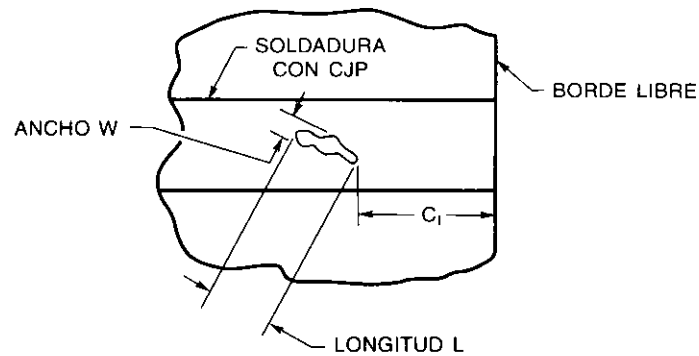


CASO III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/16$ pulg. [2 mm]
C_1	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN C)	—

Caso III—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)

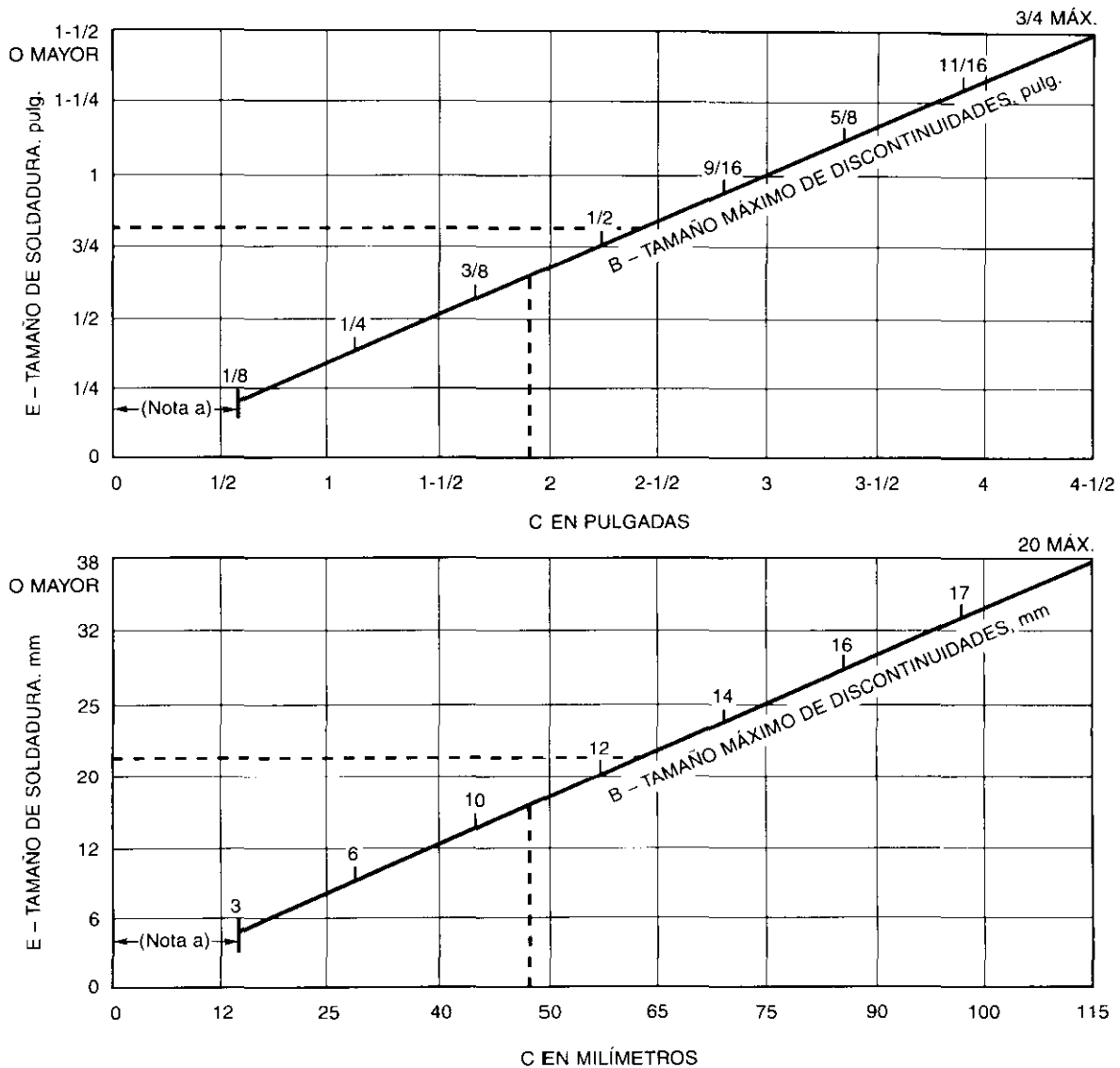


CASO IV LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN B)	L > 1/16 pulg. [2 mm]
C _i	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN C)	—

Caso IV—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)



^a El tamaño máximo de una discontinuidad ubicada dentro de esta distancia desde un borde de placa debe ser de 1/8 pulg. [3 mm], pero una discontinuidad de 1/8 pulg. [3 mm] debe estar 1/4 pulg. [6 mm] o más alejada del borde. La suma de las discontinuidades menores de 1/8 pulg. [3 mm] de tamaño y ubicadas dentro de esta distancia desde el borde no debe exceder 3/16 pulg. [5 mm]. Las discontinuidades de 1/16 pulg. [2 mm] hasta menos de 1/8 pulg. [3 mm] no se deben restringir en otras ubicaciones excepto que estén separadas por menos de 21. (siendo L la longitud de la discontinuidad más grande), en cuyo caso, las discontinuidades deben ser medidas como una longitud igual a la longitud total de las discontinuidades y espacio y evaluadas conforme se muestra en esta figura.

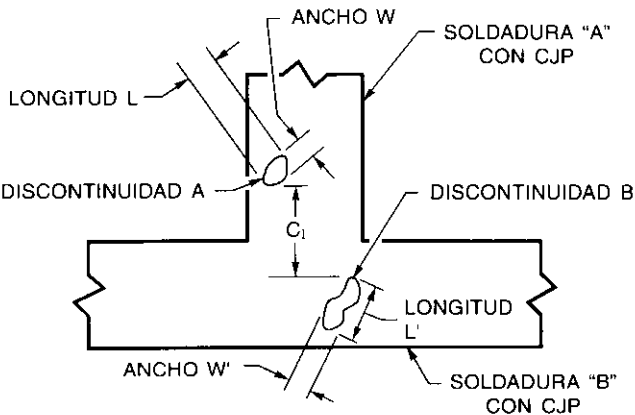
Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad admisible en cualquier tamaño de la soldadura o de junta, proyectar E horizontalmente hacia B.
2. Para determinar la holgura mínima admisible entre los bordes de discontinuidades de cualquier tamaño, proyectar B verticalmente hacia C.
3. véase las definiciones en la leyenda en la página 217.

Figura 6.3—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

CLAVE PARA FIGURA 6.3, CASOS I, II, III, IV, Y V

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA A
DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA B
L Y W = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD A
L' Y W' = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD B
E = TAMAÑO DE SOLDADURA
C_i = DISTANCIA MÁS CORTA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS BORDES MÁS CERCANOS DE LA DISCONTINUIDAD



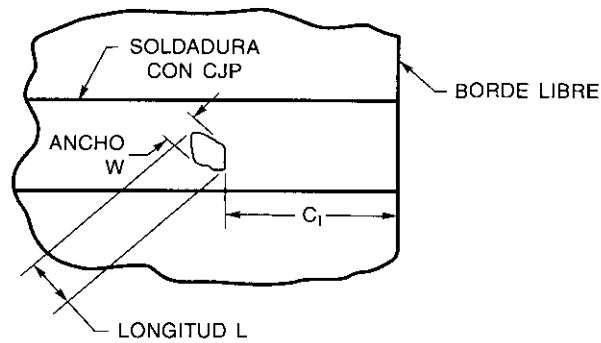
CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD^a

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8 \text{ pulg. [3 mm]}$
C _i	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_i \geq 2L \text{ o } 2L'$, LA QUE SEA MAYOR

^a La discontinuidad elongada puede estar ubicada ya sea en la soldadura "A" o en la "B". Para los fines de esta ilustración la discontinuidad elongada "B" fue ubicada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

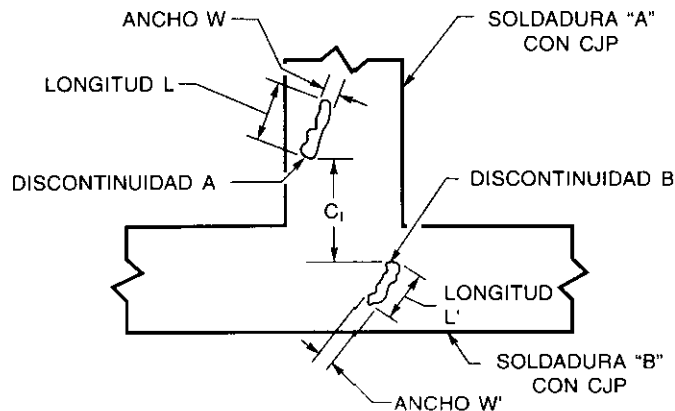


CASO II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8$ pulg. [3 mm]
C_1	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_1 \geq 5/8$ pulg. [16 mm]

Caso II—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

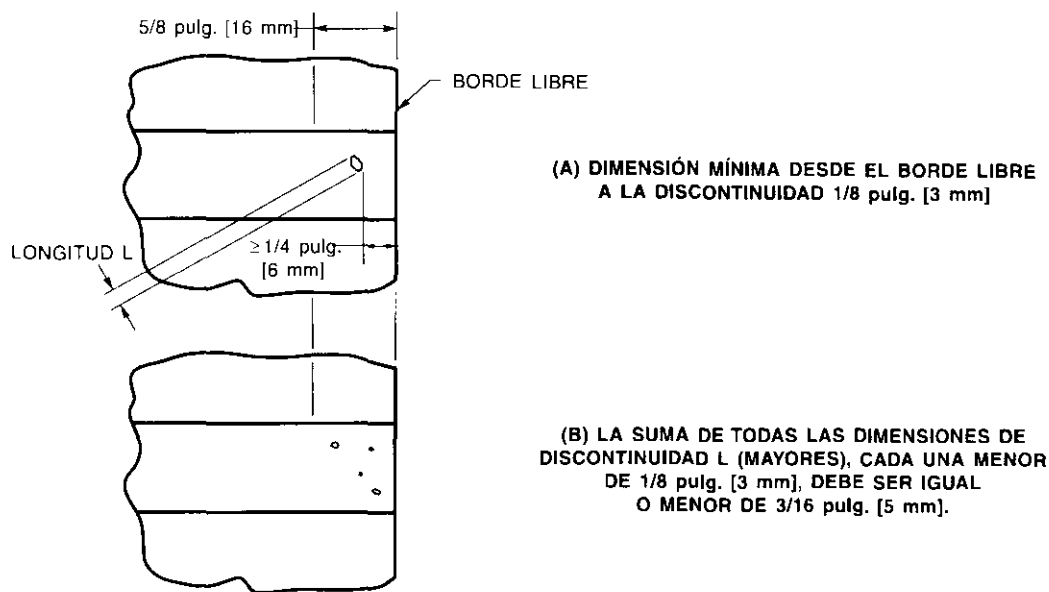


CASO III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8$ pulg. [3 mm]
C_1	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_1 \geq 2L$ o $2L'$, LA QUE SEA MAYOR

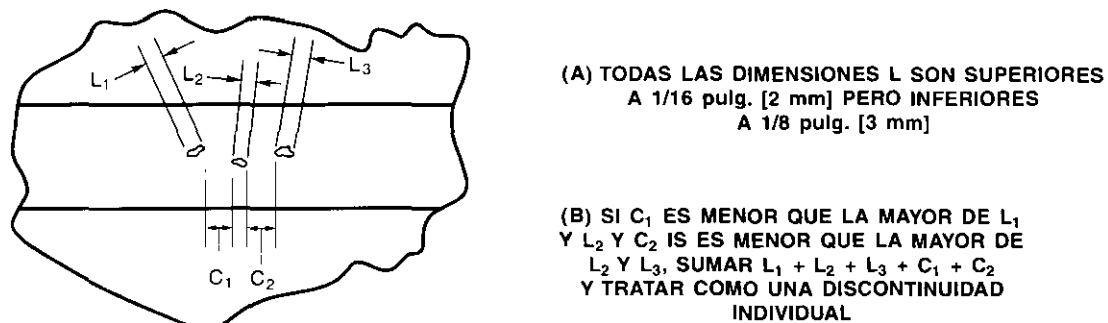
Caso III—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)



Nota: todas las dimensiones entre las discontinuidades $\geq 2L$ (L siendo la más grande de las dos).

Caso IV—Discontinuidades dentro de 5/8 pulg. [16 mm] de un borde libre



Nota: la soldadura que se muestra arriba es solamente para fines ilustrativos. Estas limitaciones se aplican a todas las ubicaciones o intersecciones. La cantidad de ilustraciones es también solo para fines ilustrativos.

Caso V—Discontinuidades separadas por menos de $2L$ en cualquier lugar en la soldadura (Usar Figura 6.3 Gráfico “B” Dimensión para defecto único)

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

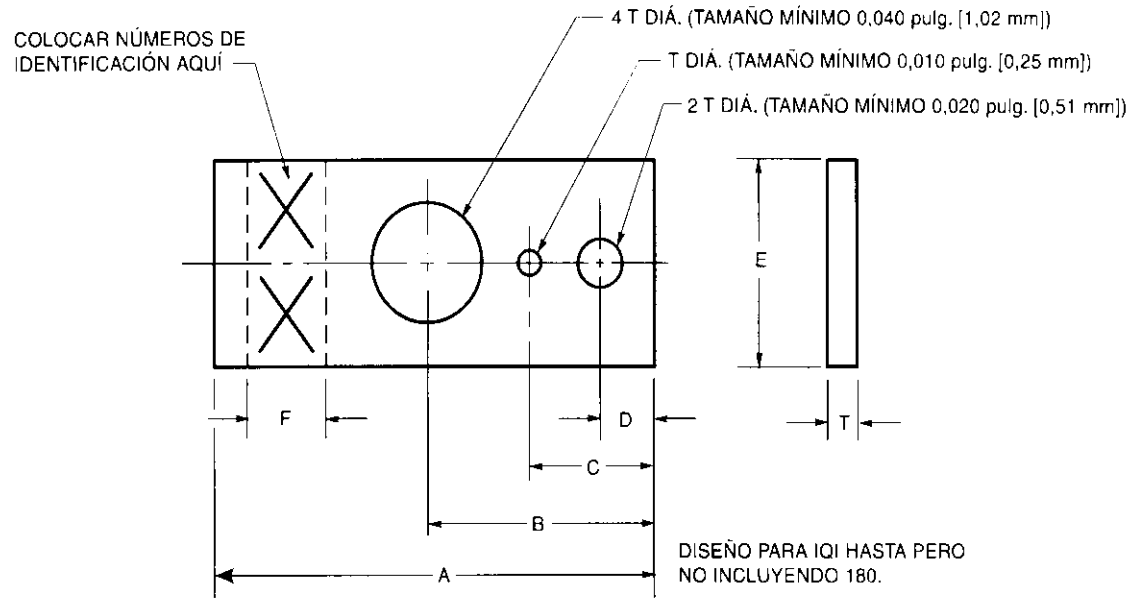
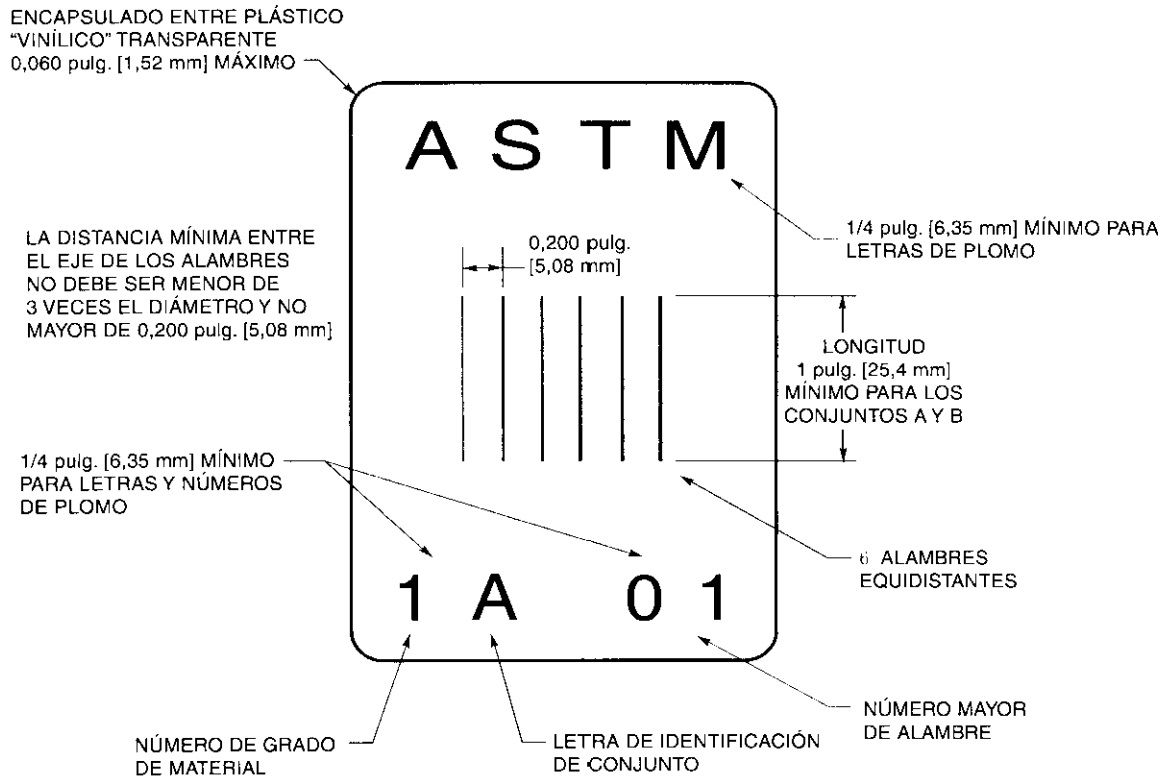


Tabla de dimensiones de IQI (pulg.)							
Número ^a	A	B	C	D	E	F	Tolerancias de espesor y diámetro de orificio de IQI
5-20	1,500 + 0,015	0,750 ± 0,015	0,438 ± 0,015	0,250 ± 0,015	0,500 ± 0,015	0,250 ± 0,030	± 0,0005
21-59	1,500 ± 0,015	0,750 ± 0,015	0,438 ± 0,015	0,250 ± 0,015	0,500 ± 0,015	0,250 ± 0,030	± 0,0025
60-179	2,250 ± 0,030	1,375 ± 0,030	0,750 ± 0,030	0,375 ± 0,030	1,000 ± 0,030	0,375 ± 0,030	± 0,005

Tabla de dimensiones de IQI (mm)							
Número ^a	A	B	C	D	E	F	Tolerancias de espesor y diámetro de orificio de IQI
5-20	38,10 ± 0,38	19,05 ± 0,38	11,13 ± 0,38	6,35 ± 0,38	12,70 ± 0,38	6,35 ± 0,80	± 0,013
21-59	38,10 ± 0,38	19,05 ± 0,38	11,13 ± 0,38	6,35 ± 0,38	12,70 ± 0,38	6,35 ± 0,80	± 0,06
60-179	57,15 ± 0,80	34,92 ± 0,80	19,05 ± 0,80	9,52 ± 0,80	25,40 ± 0,80	9,525 ± 0,80	± 0,13

^a Los IQI n.º 5 a 9 no son 1T, 2T y 4T.
Nota: Los orificios deben ser precisos y normales para el IQI. No biselar.

Figura 6.4—IQI tipo orificio (véase 6.17.1 y 9.28.1)
(Reimpresión autorizada por la American Society for Testing and Materials, con derecho de autor.)

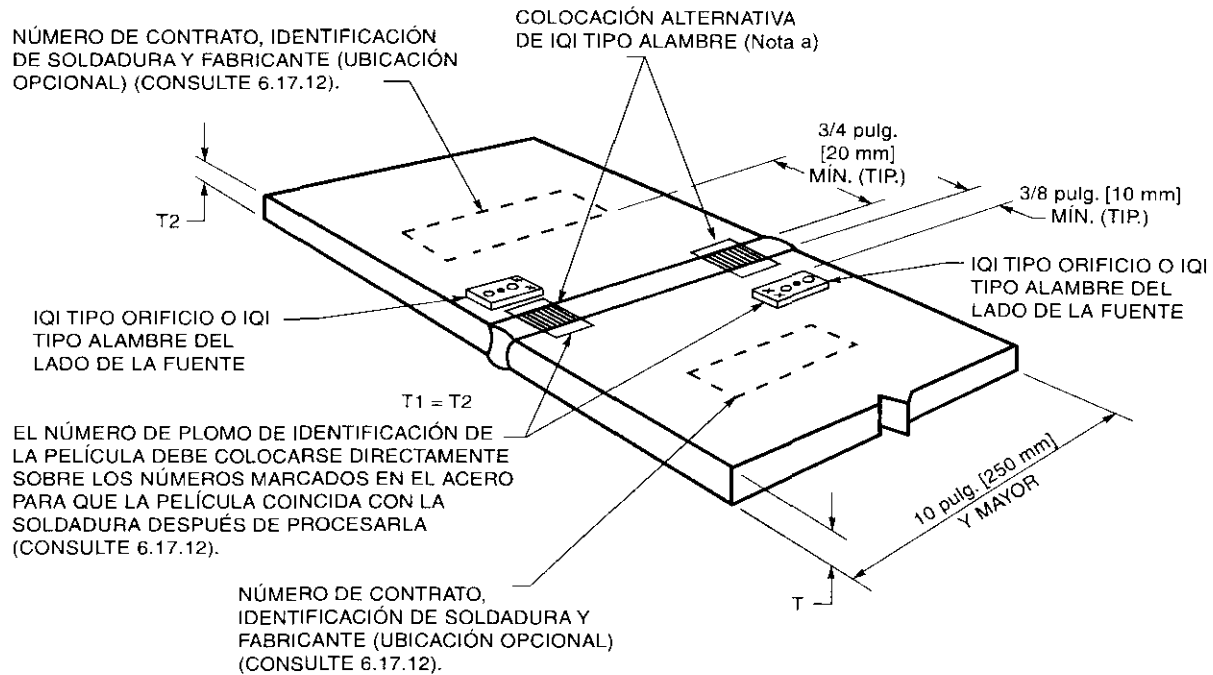


Tamaños del indicador de calidad de imagen (penetrómetro de alambre)

Diámetro de alambre, pulg. [mm]			
Conjunto A	Conjunto B	Conjunto C	Conjunto D
0,0032 [0,08]	0,010 [0,25]	0,032 [0,81]	0,10 [2,5]
0,004 [0,1]	0,013 [0,33]	0,040 [1,02]	0,125 [3,2]
0,005 [0,13]	0,016 [0,4]	0,050 [1,27]	0,160 [4,06]
0,0063 [0,16]	0,020 [0,51]	0,063 [1,6]	0,20 [5,1]
0,008 [0,2]	0,025 [0,64]	0,080 [2,03]	0,25 [6,4]
0,010 [0,25]	0,032 [0,81]	0,100 [2,5]	0,32 [8]

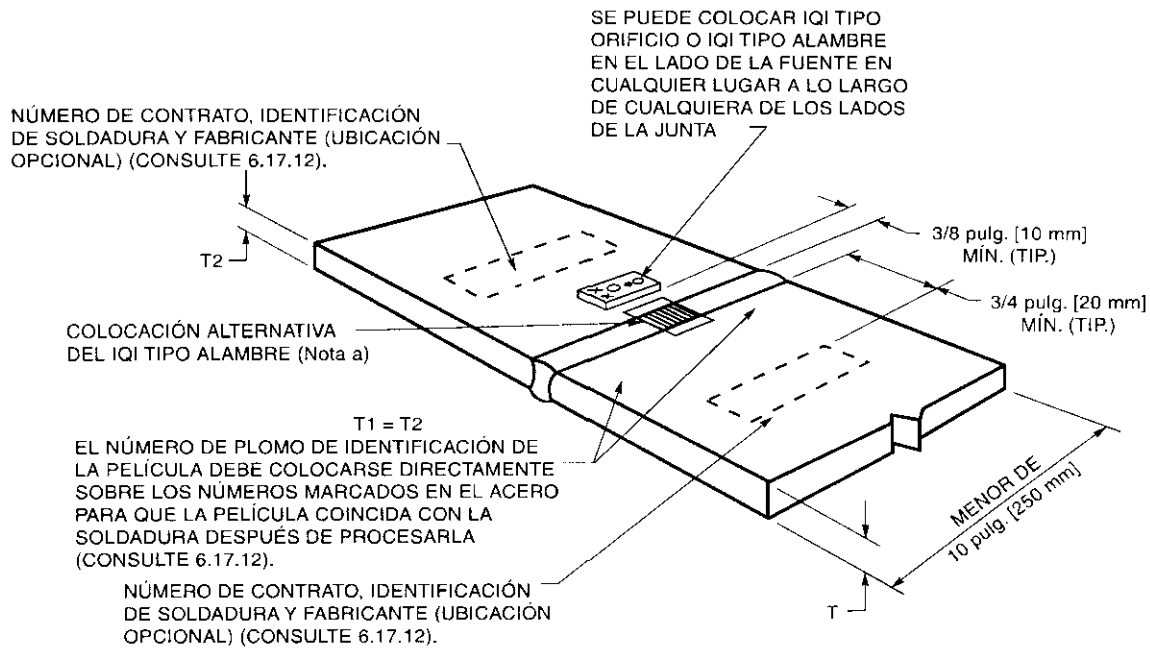
Figura 6.5—IQI tipo alambre (véase 6.17.1 y 9.28.1)

(Reimpresión autorizada por la American Society for Testing and Materials, con derecho de autor.)



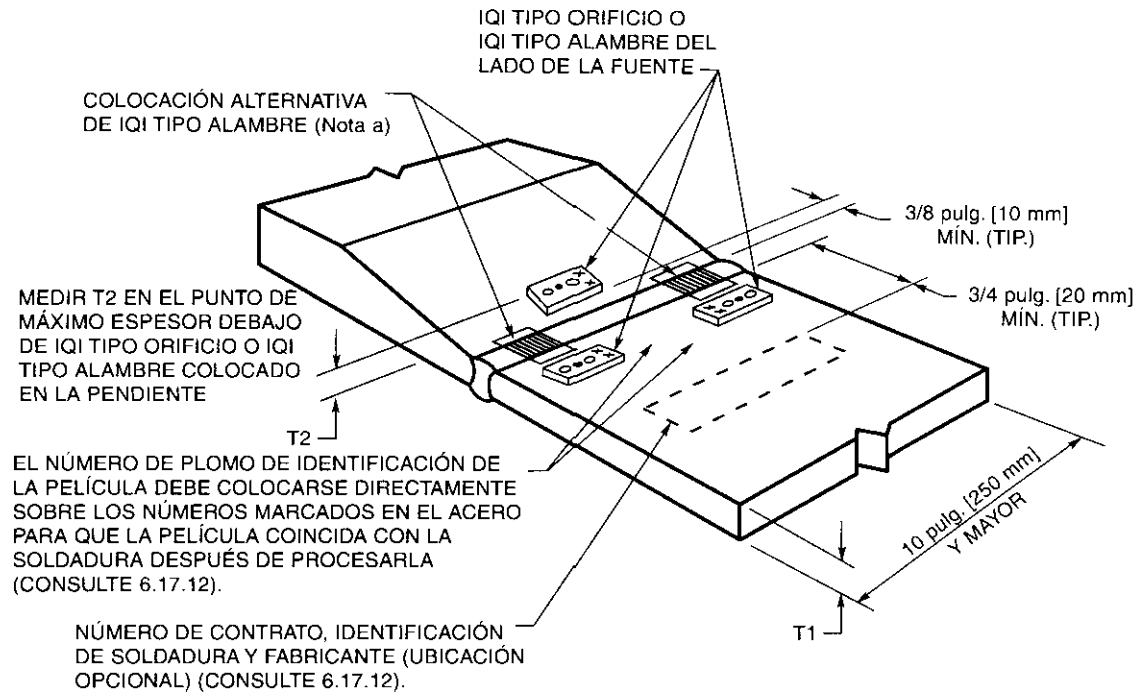
^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.6—Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales y longitudes de 10 pulg. [250 mm] y mayores (véase 6.17.7 y 9.28.2)



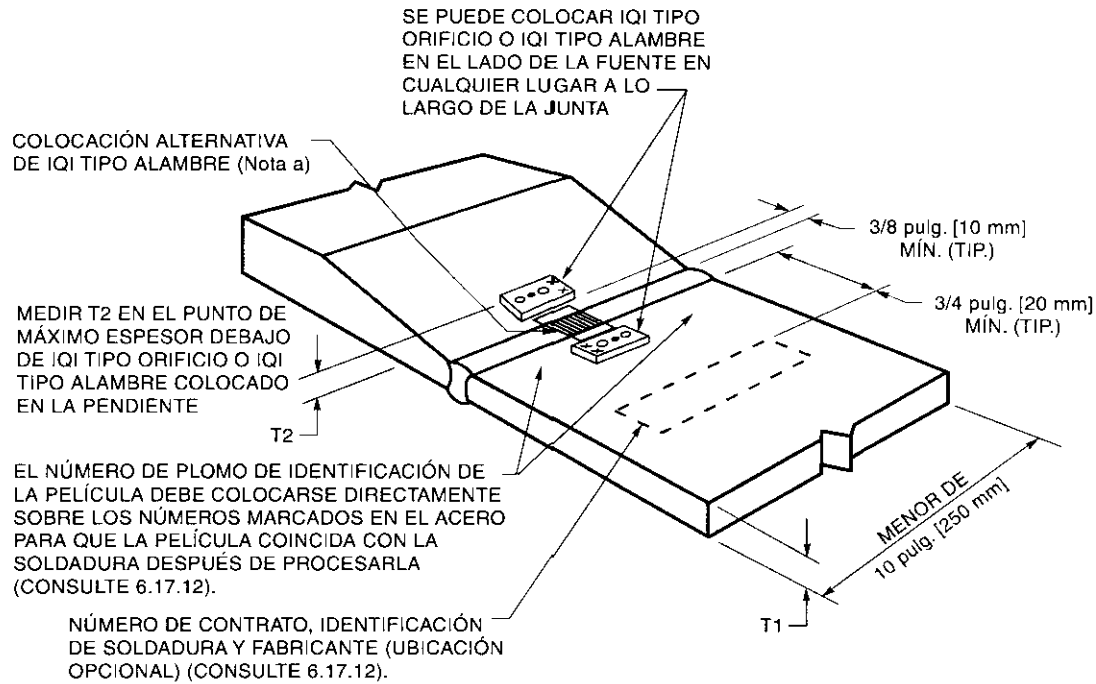
^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.7—Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales y longitudes menores de 10 pulg. [250 mm] (véase 6.17.7 y 9.28.2)



^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.8—Identificación del RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición de 10 pulg. [250 mm] de longitud y mayores (véase 6.17.7 y 9.28.2)



^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.9—Identificación del RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición menores de 10 pulg. [250 mm] de longitud (véase 6.17.7 y 9.28.2)

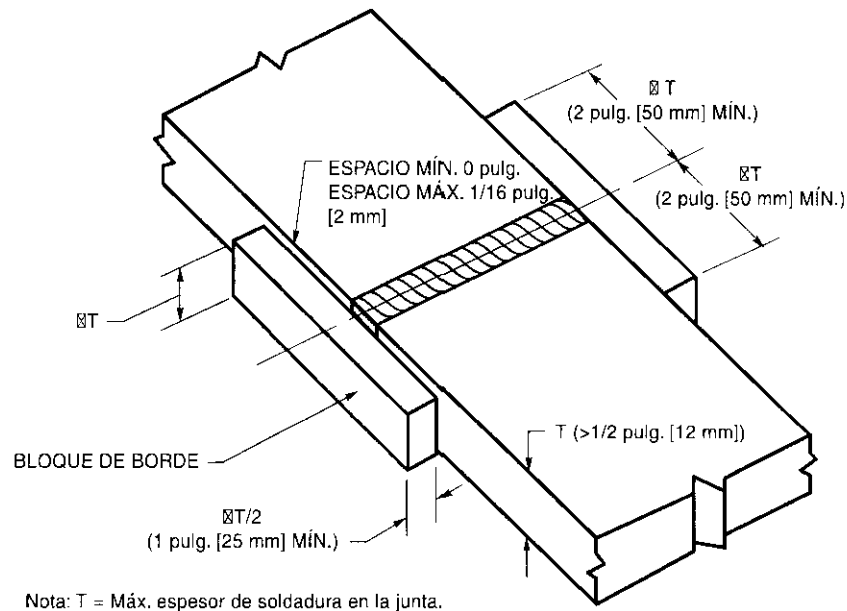


Figura 6.10—Bloques de borde para RT (véase 6.17.13)

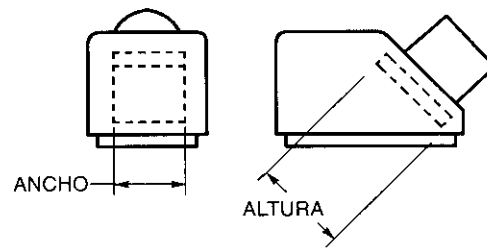


**Figura 6.11—Cristal de transductor
(véase 6.21.7.2)**

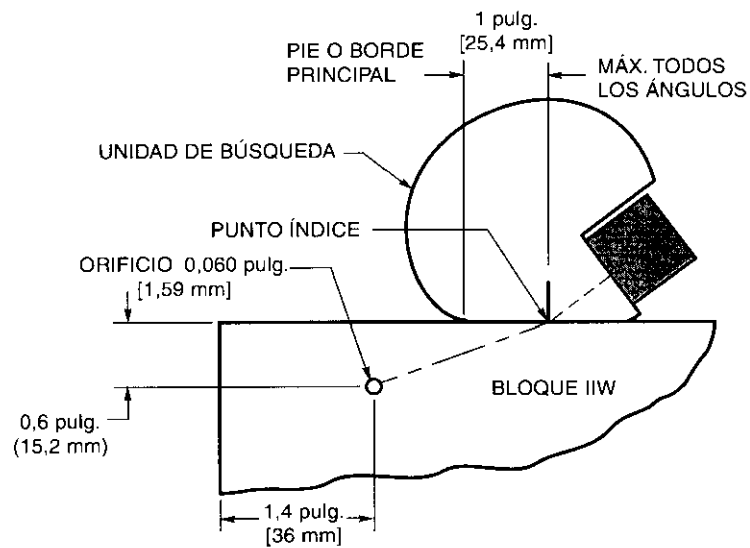
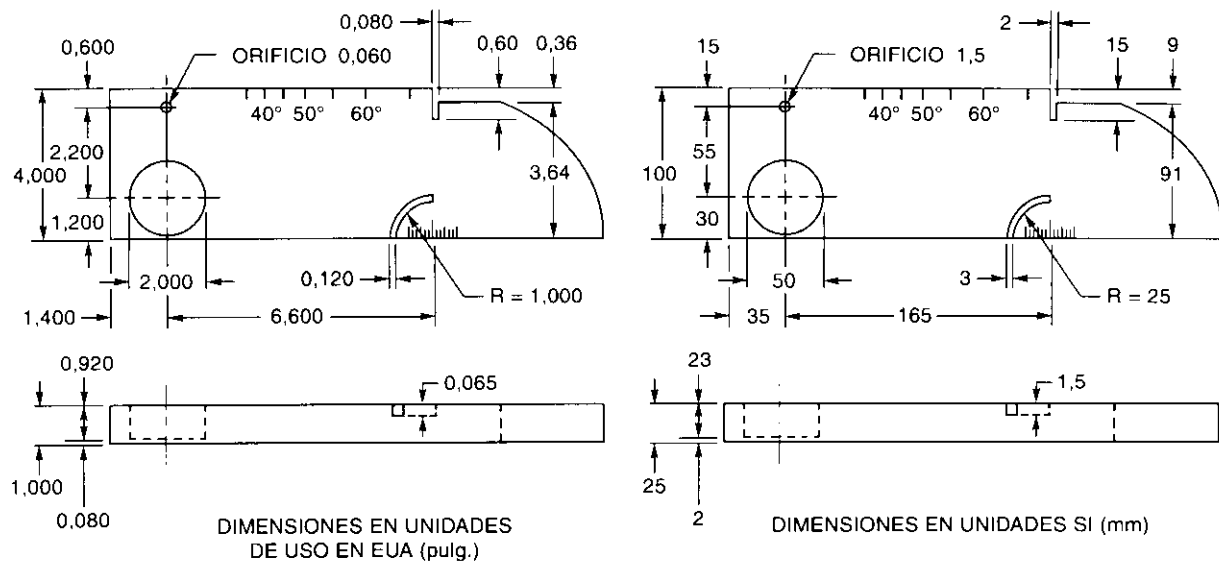


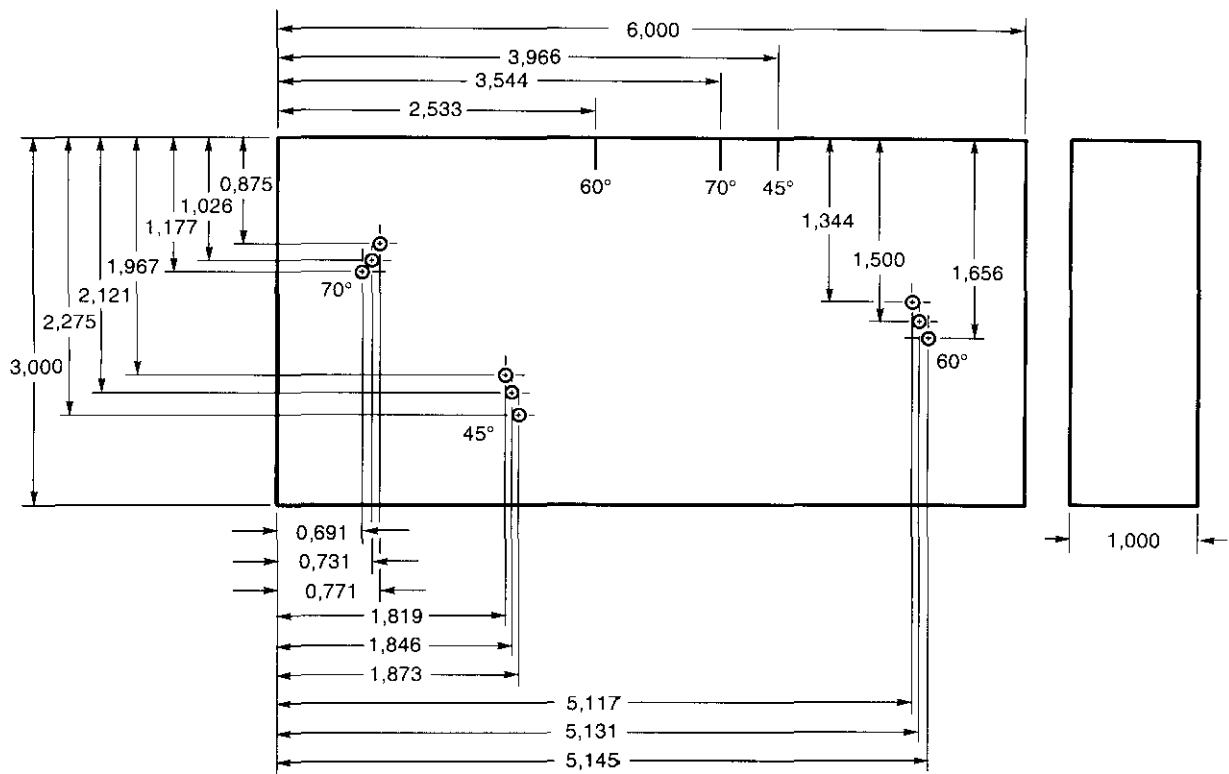
**Figura 6.12—Procedimiento de calificación de la unidad de búsqueda
utilizando el bloque de referencia IIW (véase 6.21.7.7)**



Notas:

1. La tolerancia dimensional entre todas las superficies involucradas como referencia o para calibrar deben estar dentro de $\pm 0,005$ pulg. [0,13 mm] de la dimensión detallada.
2. El acabado de todas las superficies a las que se les aplica sonido o desde las que se refleja sonido debe tener un máximo de 125 μ pulg. [3,17 μ m] r.m.s.
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno liso y estar perforados a 90° de la superficie del material.
5. Las líneas de grados y las marcas de identificación deben estar grabadas en la superficie del material para mantener una orientación permanente.
6. Estas notas deben aplicarse a todos los esquemas en las Figuras 6.13 y 6.14.

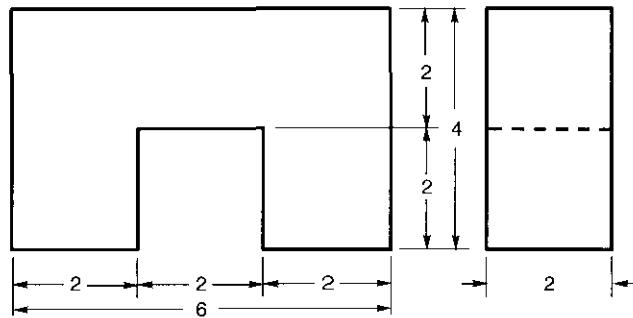
Figura 6.13—Bloque típico tipo IIW (véase 6.22.1)



Nota: todos los orificios tienen 1/16 pulg. de diámetro.

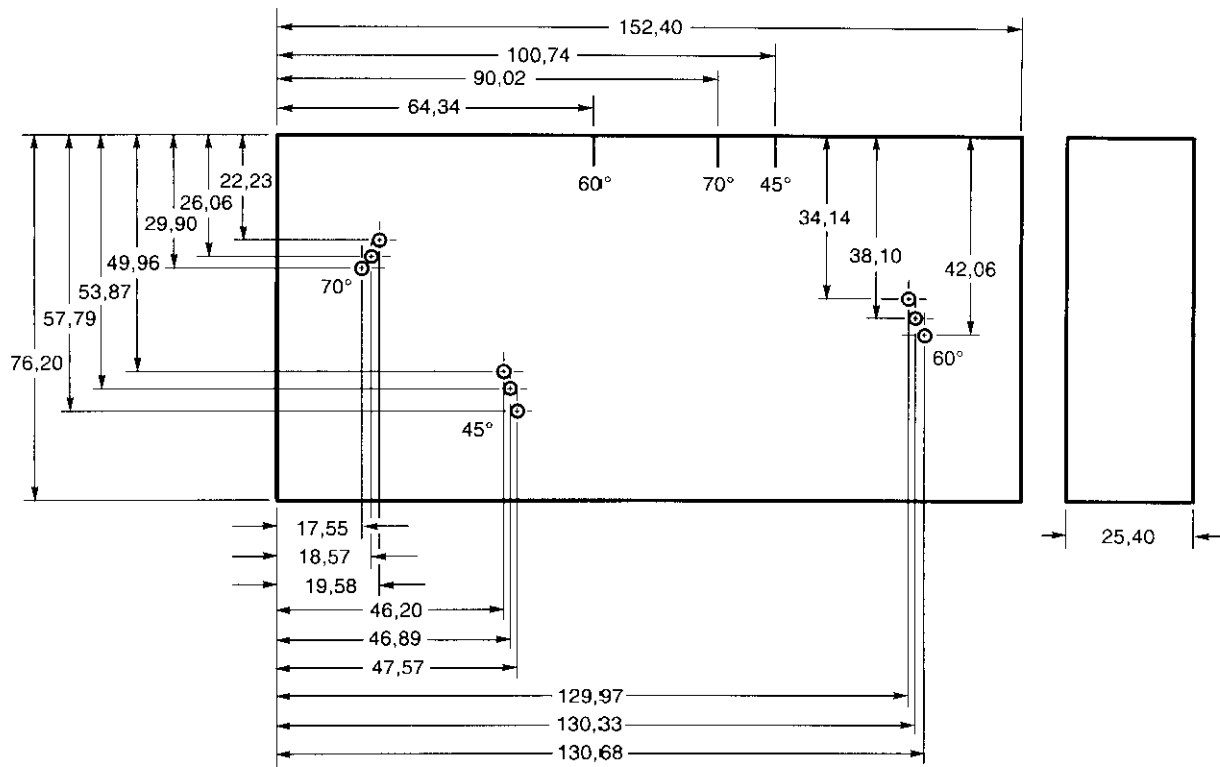
DIMENSIONES EN PULGADAS

RC – RESOLUCIÓN BLOQUE DE REFERENCIA



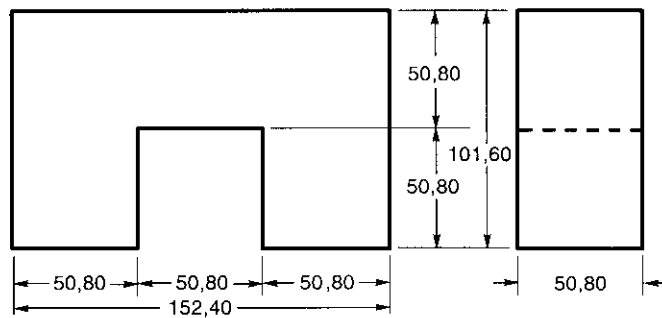
TIPO - BLOQUE DE REFERENCIA DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

Figura 6.14—Bloques de calificación (véase 6.22.3 y 6.27)



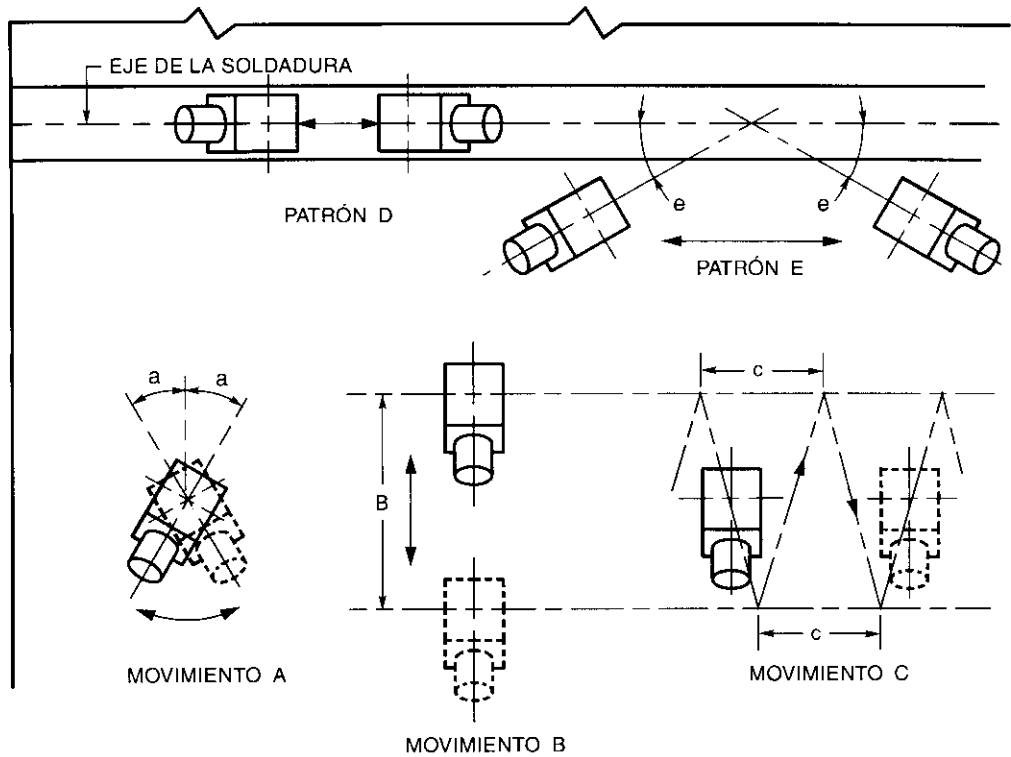
DIMENSIONES EN MILÍMETROS

RC – RESOLUCIÓN BLOQUE DE REFERENCIA



TIPO - BLOQUE DE REFERENCIA DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

Figura 6.14 (Continuación)—Bloques de calificación (véase 6.22.3 y 6.27) (Métrico)



Notas:

1. Los patrones de ensayo son todos simétricos alrededor del eje de soldadura con la excepción del patrón D, que debe ser conducido directamente sobre el eje de la soldadura.
2. Se deben realizar ensayos de ambos lados del eje de la soldadura siempre que sea mecánicamente posible.

Figura 6.15—Vista en planta de los patrones de escaneo de UT (véase 6.30)

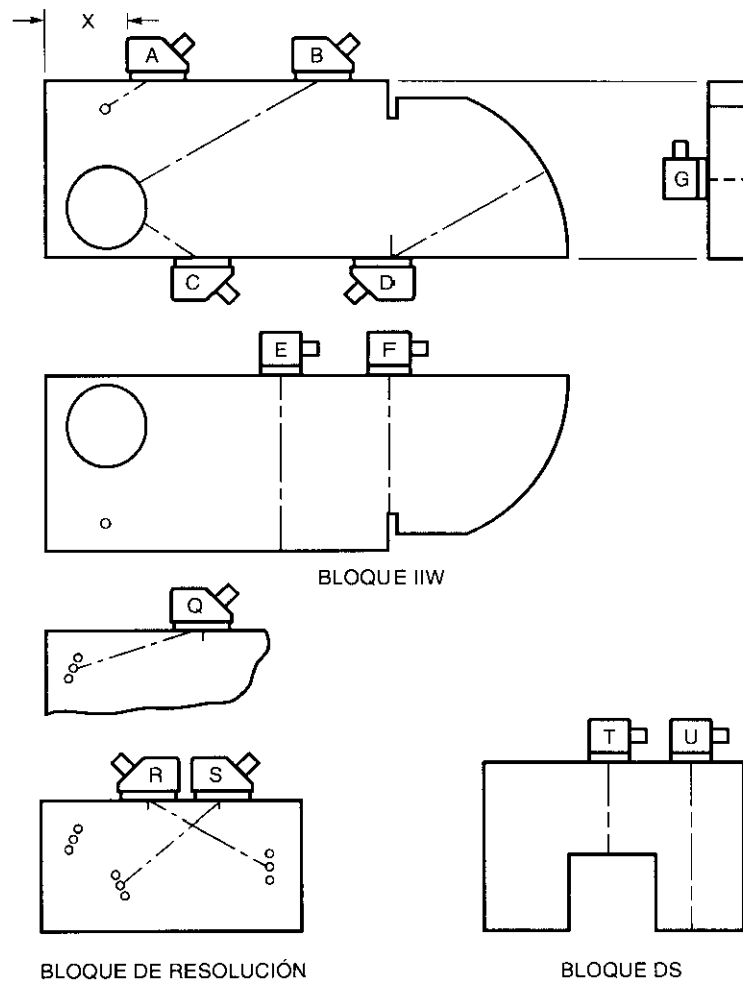


Figura 6.16—Posiciones del transductor (Típicas) (véase 6.22, 6.27 y 6.28)

7. Soldadura de pernos

7.1 Alcance

La Sección 7 contiene requisitos generales para la soldadura de pernos de acero en acero, y establece requisitos específicos:

- (1) Para propiedades mecánicas y materiales de los pernos de acero, y los requisitos para la calificación de bases de pernos.
- (2) Para ensayos de calificación de aplicaciones, calificación de operadores, ensayos de preproducción y mano de obra.
- (3) Para soldadura de pernos durante la producción, fabricación/montaje e inspección.
- (4) Para la certificación de la soldabilidad de las bases de pernos por parte del fabricante de pernos.

NOTA: Aceros aprobados; para pernos, véase 7.2.6; para metales base, véase Tabla 3.1 (Grupos I y II). Para orientación, véase C-7.6.1.

7.2 Requisitos generales

7.2.1 Diseño de pernos. Los pernos deben tener un diseño adecuado para la soldadura por arco en componentes de acero con el uso de equipo de soldadura de pernos con sincronización automática. El tipo y tamaño de los pernos debe especificarse en los planos, las especificaciones, o en disposiciones especiales. Para pernos con cabeza, véase Figura 7.1. Se pueden usar otras configuraciones de cabeza con evidencia de ensayos mecánicos y de encastado que confirme el desarrollo de resistencia completa del diseño y con la aprobación del Ingeniero.

7.2.2 Revestimientos de arco. Se debe proveer un revestimiento de arco (férula) de cerámica refractaria o de otro material adecuado en cada perno.

7.2.3 Fundente. Se debe proveer un fundente estabilizador de arco y desoxidante adecuado para la soldadura en cada perno de 5/16 pulgada [8 mm] de diámetro o más. Los pernos de menos de 5/16 pulgada [8 mm] de diámetro pueden ser provistos con o sin fundente.

7.2.4 Bases de pernos. Para que una base de perno califique como tal debe haber aprobado el ensayo descrito en 7.9. Solamente se deben usar pernos con bases de pernos calificadas. La calificación de las bases de pernos en

conformidad con 7.9 correrá por cuenta del fabricante. El revestimiento de arco usado en la producción debe ser el mismo que se usó en los ensayos de calificación o el recomendado por el fabricante. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista debe proporcionar la siguiente información:

- (1) Descripción del perno y del revestimiento de arco
- (2) Certificación por parte del fabricante de la calificación de la base de perno en conformidad con 7.9.
- (3) Información de los ensayos de calificación

7.2.5 Acabado de pernos

7.2.5.1 El acabado de pernos debe ser producido por estampado de cabezas, roscado o maquinado. Los pernos acabados deben ser de calidad y condición uniforme, no deben tener defectos que puedan afectar la calidad de la soldadura, la idoneidad para la aplicación que se pretende, o el ajuste de los pernos en los revestimientos de arcos de cerámica (férulas) especificados. Dichos defectos incluyen traslapes, aletas, costuras, grietas, distorsiones, curvas, defectos de rosca, discontinuidades, o materiales extraños (véase 7.4.1 y 7.4.2).

7.2.5.2 Los pernos con cabeza están sujetos a grietas o rupturas en la cabeza del perno lo cual es una interrupción abrupta de la periferia causada por la separación radial del metal que se extiende desde la cabeza hacia adentro del vástago del perno. No es necesario que los pernos sean rechazados si dichas grietas o rupturas no exceden la mitad de la distancia desde la cabeza del perno al vástago, según se determine mediante la inspección visual (véase Figura C-7.1.) Los pernos deben ser rechazados si las grietas o rupturas son de tal cantidad o ancho que no permiten que la cabeza se ajuste al mandril de la soldadora o producen la formación de arcos entre la cabeza del perno y el mandril, afectando la vida útil del mandril o la calidad de la soldadura.

7.2.6 Material de los pernos. Los pernos deben estar hechos de barras estiradas en frío conforme a los requisitos de la Norma ASTM A29/A29M-12e1, *Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought* (Especificación para requisitos generales de barras de acero, al carbono y de aleación, forjado en caliente), Grados 1010 a 1020, in-

cluyendo acero calmado o semicalmado con desoxidación de aluminio o silicio.

7.2.7 Espesor del metal base. Cuando se suelda directamente a un metal base, el metal base no debe tener un espesor inferior a 1/3 del diámetro del perno. Cuando se suelda mediante encofrado, el diámetro del perno no debe ser mayor que 2,5 veces el espesor del material de base. Los pernos nunca deben soldarse mediante más de dos láminas de encofrado de metal.

7.3 Requisitos mecánicos

7.3.1 Requisitos mecánicos de la norma. El fabricante tiene la opción de determinar las propiedades mecánicas de los pernos realizando ensayos en el acero después del acabado en frío o en los pernos acabados de diámetro completo. En ambos casos, los pernos deben cumplir las propiedades estándar que se indican en la Tabla 7.1.

7.3.2 Ensayos. Las propiedades mecánicas deben ser determinadas en conformidad con las secciones aplicables de la Norma ASTM A370, *Mechanical Testing of Steel Products* (Ensayos mecánicos para productos de acero). Se usa un dispositivo de ensayo típico, similar al que se muestra en la Figura 7.2.

7.3.3 Solicitud del Ingeniero. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista debe proporcionar:

(1) La certificación del fabricante de que los pernos, tal como fueron entregados, cumplen los requisitos aplicables de 7.2 y 7.3.

(2) Copias certificadas de los informes de ensayos del fabricante de pernos que cubran el último conjunto completo de ensayos mecánicos de control de calidad en la fábrica, según los requisitos de 7.3 para cada diámetro entregado.

(3) Informes de ensayo de material certificado (CMTR) del proveedor de acero indicando el diámetro, las propiedades químicas y el grado de cada número de colada entregada.

7.3.4 Ausencia de ensayos de control de calidad. Cuando no se disponga de ensayos de calidad, el Contratista debe proporcionar un informe de ensayo químico conforme a 7.2.6 y un informe de ensayo mecánico conforme a los requisitos de 7.3 para cada número de lote. Los pernos que no pueden ser identificados ni rastreados no deben ser utilizados.

7.3.5 Pernos adicionales. El Contratista tiene la responsabilidad de proporcionar pernos adicionales de cada tipo y tamaño, a solicitud del Ingeniero, para comprobar los requisitos establecidos en 7.2 y 7.3. Los ensayos correrán por cuenta del Propietario.

7.4. Mano de obra/Fabricación

7.4.1 Limpieza. Al momento de soldar, los pernos no deben estar oxidados, tener marcas de óxido, escamas,

aceite, humedad ni otros materiales dañinos que pudieran tener un efecto adverso para la soldadura.

7.4.2 Restricciones de recubrimiento. La base del perno no debe estar pintada, galvanizada ni enchapada con cadmio antes de la soldadura.

7.4.3 Preparación del metal base. Las áreas donde se soldarán los pernos no deben tener escamas, óxido, humedad, pintura ni otros materiales perjudiciales en la medida necesaria para obtener soldaduras satisfactorias y prevenir vapores inaceptables. Dichas áreas pueden ser limpiadas con cepillo de alambre o mediante raspado, punzado o esmerilado.

7.4.4 Humedad. Los revestimientos de arcos o férulas deben mantenerse secos. Todo revestimiento de arco que muestre indicios de humedad en la superficie por rocío o lluvia deben ser secados mediante horneado a 250 °F [120 °C] durante dos horas antes de usar.

7.4.5 Requisitos de espaciamiento. Los espaciamientos longitudinales y laterales de la conexión de cizallamiento de pernos (tipo B) pueden variar en un máximo de 1 pulg. [25 mm] de la ubicación indicada en los planos. La distancia mínima desde el borde de una base de perno al borde del ala debe ser el diámetro del perno más 1/8 pulg. [3 mm], pero preferentemente no menos de 1-1/2 pulg. [40 mm].

7.4.6 Retiro de los revestimientos de arco. Después de la soldadura, se deben soltar los revestimientos de arco de los pernos que se van a incrustar en concreto, y, cuando sea posible, de todos los demás pernos.

7.4.7 Criterios de aceptación. Los pernos, después de la soldadura, no deben tener discontinuidades ni sustancias que pudieran interferir con la función prevista y deben tener una rebaba completa de 360°. No obstante, es aceptable la falta de fusión sobre las patas de la rebaba y las pequeñas fisuras de contracción. Los perfiles de soldadura en filete mostrados en la Figura 5.4 no deben aplicarse a la rebaba de soldaduras de pernos con sincronización automática.

7.5 Técnica

7.5.1 Soldadura automática mecanizada. Los pernos deben ser soldados con equipo de soldadura de pernos con sincronización automática conectada a una fuente adecuada de electrodo negativo de corriente directa. El voltaje, la corriente, el tiempo de soldadura y la configuración de la pistola para elevación e inmersión deben estar fijados en la configuración óptima, en base a la experiencia anterior, las recomendaciones del fabricante de pernos y del equipo, o ambos. También se debe usar AWS C5.4, *Recommended Practices for Stud Welding* (Prácticas recomendadas para la soldadura de pernos) como guía técnica.

7.5.2 Pistolas múltiples para soldadura. Si se van a operar dos o más pistolas de soldadura de pernos desde la misma fuente de alimentación, las pistolas deben estar interconectadas de modo que solamente pueda operar una pistola por vez, para que la fuente de energía se haya re-

cuperado totalmente tras efectuar una soldadura antes de comenzar otra soldadura.

7.5.3 Movimiento de la pistola de soldadura. Mientras está en funcionamiento, la pistola de soldadura debe mantenerse fija en el lugar sin moverla hasta que el metal de la soldadura se haya solidificado.

7.5.4 Requisitos de temperatura ambiente y del metal base. La soldadura no debe realizarse cuando la temperatura del metal base sea inferior a 0 °F [-18 °C] o cuando la superficie esté húmeda o expuesta a la lluvia o a la nieve. Cuando la temperatura del metal base sea inferior a 32 °F [0 °C], se debe realizar el ensayo de un perno adicional cada 100 pernos soldados con los métodos descritos en 7.7.1.3 y 7.7.1.4, excepto que el ángulo del ensayo deberá ser de aproximadamente 15°. Esto es además del ensayo que debe realizarse de los dos primeros pernos al comienzo de cada nuevo período de producción o cambio de la configuración. La configuración incluye pistola de pernos, fuente de alimentación, diámetro del perno, elevación e inmersión de la pistola, longitud total del hilo de soldadura, y cambios mayores de $\pm 5\%$ en la corriente (amperaje) y en el tiempo.

7.5.5 Opción de soldadura en filete FCAW, GMAW, SMAW. A opción del Contratista, los pernos pueden ser soldados usando procesos precalificados de FCAW, GMAW, o SMAW, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

7.5.5.1 Superficies. Las superficies que se soldarán y las superficies adyacentes a una soldadura deben estar libres de escamas sueltas o gruesas, escoria, óxido, humedad, grasa o cualquier otro material extraño que pudiera impedir una soldadura correcta o pudiera producir vapores inaceptables.

7.5.5.2 Extremo del perno. Para soldaduras en filete, el extremo del perno también debe estar limpio.

7.5.5.3 Ajuste del perno (soldaduras en filete). Para soldaduras en filete, se debe preparar la base del perno de modo que la base del perno se ajuste al metal base.

7.5.5.4 Tamaño mínimo de las soldaduras en filete. Cuando se deban usar soldaduras en filete, el tamaño mínimo debe ser mayor a los requeridos en la Tabla 5.7 o en la Tabla 7.2.

7.5.5.5 Requisitos de precalentamiento. Se debe precalentar el metal base al que se soldarán los pernos en conformidad con los requisitos de la Tabla 3.3.

7.5.5.6 Electrodo de SMAW. La soldadura por SMAW debe realizarse usando electrodos de bajo hidrógeno de 5/32 pulg. o 3/16 pulg. [4,0 mm o 4,8 mm] de diámetro, excepto que se pueden usar electrodos de menor diámetro en pernos de 7/16 pulg. [11,1 mm] de diámetro o menos para las soldaduras fuera de posición.

7.5.5.7 Inspección visual. Todos los pernos soldados por FCAW, GMAW y SMAW deben ser inspeccionados visualmente en conformidad con 6.9.

7.6 Requisitos de calificación de aplicación de pernos

7.6.1 Propósito. Los pernos aplicados en taller o en campo en posición plana (horizontal) a una superficie plana y horizontal deben ser considerados precalificados en virtud de los ensayos de las bases de pernos del fabricante (véase 7.9), y no se requiere ningún otro ensayo de aplicación. El límite de la posición plana se define como una inclinación de 0°-15° en la superficie en la que se aplica el perno.

Los siguientes son ejemplos de aplicaciones de pernos que requieren ensayos de esta sección:

(1) Pernos que se aplican a superficies no planas o a una superficie plana en posición vertical o sobrecabeza.

(2) Pernos que se sueldan mediante encofrado. Los ensayos deben ser con materiales representativos de la condición a usarse en la construcción.

(3) Pernos soldados a aceros diferentes a los del Grupo I o II indicados en la Tabla 3.1.

7.6.2 Responsables de los ensayos. El Contratista será responsable de la realización de dichos ensayos. Los ensayos pueden ser realizados por el Contratista, el fabricante de pernos, o cualquier otra agencia de ensayos que resulte satisfactoria para todas las partes involucradas.

7.6.3 Preparación de probetas

7.6.3.1 Probetas de ensayo. Para calificar aplicaciones que involucren los materiales indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II: las probetas pueden ser preparadas usando materiales base de acero de ASTM A36 o materiales base indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II.

7.6.3.2 Registro de la información. Para calificar aplicaciones que involucren materiales distintos de los indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II, el material base de la probeta de ensayo debe cumplir las especificaciones químicas, físicas y de grado que se usarán en la producción.

7.6.4 Cantidad de probetas. Se deben soldar diez probetas en forma consecutiva usando los procedimientos y las configuraciones recomendados para cada diámetro, posición y geometría de superficie.

7.6.5 Ensayo requerido. Se debe realizar el ensayo de las diez probetas usando uno o más de los siguientes métodos: doblado, torsión o tracción.

7.6.6 Métodos de ensayo

7.6.6.1 Ensayo de doblado. Se debe realizar el ensayo de los pernos doblando 30° en direcciones opuestas alternadamente en un dispositivo de ensayo típico, tal y como se muestra en la Figura 7.4 hasta que ocurra la falla. Alternativamente, los pernos se pueden doblar 90° de sus ejes originales. Para doblar 90° los pernos tipo C, los pernos deben doblarse sobre una barra de 4 veces el diámetro del perno. En ambos casos, se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si los pernos se doblan 90° y la fractura ocurre en la placa o en el material de forma o en el vástago del perno pero no en la soldadura.

7.6.6.2 Ensayo de torsión. Se debe realizar el ensayo de torsión de los pernos usando una disposición de ensayo cumpla considerablemente con la Figura 7.3. Se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si todas las probetas de ensayo son torsionadas hasta su destrucción sin fallo en la soldadura.

7.6.6.3 Ensayo de tracción. Se debe realizar el ensayo de tracción del perno hasta su destrucción usando cualquier máquina capaz de ejercer la fuerza requerida. Se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si las probetas de ensayo no fallan en la soldadura.

7.6.7 Información de ensayos de calificación para la aplicación. La información de ensayos de calificación para la aplicación debe incluir lo siguiente:

- (1) Planos que muestren los perfiles y las dimensiones de los pernos y de los revestimientos de arco.
- (2) Una descripción completa del perno y de los materiales base, y descripción (número de parte) del revestimiento de arco.
- (3) Posición de soldadura y configuraciones (corriente, tiempo).
- (4) Un registro, el cual se realizará para cada calificación y estará disponible para cada contrato. En el Anexo M, Formulario M-7 se puede encontrar el formulario sugerido de WPS/PQR para aplicación no precalificada.

7.7 Control de producción

7.7.1 Ensayos preproducción

7.7.1.1 Comienzo de turno. Antes de la producción de soldaduras con una configuración particular y con un tamaño y tipo específico de perno, y al comienzo de la producción de cada día o de cada turno, se debe realizar el ensayo de los dos primeros pernos soldados. La técnica del perno puede realizarse en un material similar en espesor y en propiedades al miembro de producción. Si no se dispone del espesor real de producción, el espesor puede variar $\pm 25\%$. Todos los pernos de ensayo deben ser soldados en la misma posición general que la requerida por el miembro de producción (plana, vertical, o de sobrecabeza).

7.7.1.2 Opción de miembro de producción. En lugar de ser soldados en un material separado, los pernos de ensayo pueden ser soldados en el miembro de producción, excepto cuando 7.7.1.5 requiera placas separadas.

7.7.1.3 Requisito de rebaba. Los pernos deben exhibir una rebaba completa de 360° sin evidencia de socavación en la base del perno.

7.7.1.4 Ensayo de doblado. Además del examen visual, el ensayo debe incluir el doblado de los pernos después de dejarlos enfriar, a un ángulo de aproximadamente 30° de sus ejes originales golpeando los pernos con un martillo sobre el extremo no soldado o colocando un tubo u otro dispositivo hueco adecuado sobre el perno y doblando el perno en forma manual o mecánica. A temperaturas inferiores a 50°F [10°C], el doblado se realizará preferentemente mediante la aplicación lenta y constante de carga. Para pernos roscados, el ensayo de torsión de la Figura 7.3 será sustituido por el ensayo de doblado.

7.7.1.5 Evento de fallo. Si en el examen visual los pernos del ensayo no exhiben una rebaba de 360° o, si al realizar el ensayo, ocurre una falla en la zona de soldadura de alguno de los dos pernos, el procedimiento debe ser corregido, y se deben soldar dos pernos más en un material separado o en el miembro de producción y se debe realizar el ensayo en conformidad con lo establecido en 7.7.1.3 y 7.7.1.4. Si alguno de los segundos dos pernos falla, se seguirán realizando soldaduras adicionales en placas separadas hasta que el ensayo de dos pernos consecutivos sea satisfactorio antes de soldar ningún otro perno de producción al miembro.

7.7.2 Soldadura de producción. Después de comenzar la soldadura de producción, si se realiza algún cambio en la configuración de soldadura, como se establece en 7.7.1, se deben realizar los ensayos descritos en 7.7.1.3 y en 7.7.1.4 antes de retomar la soldadura de producción.

7.7.3 Reparaciones de pernos. En la producción, los pernos en los que no se obtenga una rebaba completa de 360° , a opción del Contratista, pueden ser reparados agregando una soldadura en filete mínima según los requisitos de 7.5.5 en lugar de la rebaba faltante. La soldadura reparada tendrá una extensión de al menos $3/8$ pulg. [10 mm] a partir del borde de cada discontinuidad que se está reparando.

7.7.4 Calificación del operario. El ensayo de preproducción requerido por 7.7.1, en caso de ser satisfactorio, también servirá para calificar al operario de soldadura de pernos. Antes de que un operario que no participó en la configuración de preproducción de 7.7.1, comience a soldar pernos de producción, se debe realizar un ensayo de los dos primeros pernos soldados por el operario en conformidad con lo dispuesto en 7.7.1.3 y 7.7.1.4. El operario recién puede comenzar a soldar pernos de producción después de haber realizado el ensayo de dos pernos soldados con resultado satisfactorio.

7.7.5 Reparación del área de extracción. Si se ha extraído un perno inaceptable de un componente sujeto a resistencias de tracción, el área del cual se extrajo el perno debe alisarse y quedar al ras. En áreas en donde durante la extracción del perno se salió el metal base, se deberá usar SMAW con electrodos de bajo hidrógeno en conformidad con los requisitos de este código para llenar los bolsillos, y la superficie de soldadura debe quedar al ras.

En áreas de compresión de los miembros, si los fallos de pernos se restringen a los vástagos o a las zonas de fusión de los pernos, se puede soldar un nuevo perno adyacente a cada área inaceptable en lugar de realizar la reparación y la sustitución del área existente de soldadura (véase 7.4.5). Si al extraer el perno se arranca metal base, las disposiciones para la reparación serán las mismas que para áreas de tracción excepto cuando la profundidad de la discontinuidad sea menor a $1/8$ pulg. [3 mm] o un 7% del espesor del metal base, la discontinuidad puede ser esmerilada en lugar de rellenarla con metal de soldadura. Cuando se deba sustituir un perno, la reparación del metal base debe realizarse antes de soldar el perno de sustitución. Para realizar el ensayo de los pernos de sustitución (salvo para los tipo roscado que deben ser sometidos a ensayo de torsión), los pernos deben ser doblados a un ángulo de aproximadamente 15° de sus ejes originales. Las áreas de componentes expuestos a la vista en estructuras finalizadas donde se extrajo un perno deben alisarse y quedar al ras.

7.8 Requisitos de inspección de fabricación y verificación

7.8.1 Inspección visual. Si en la inspección visual se observa un perno que no muestra una rebaba completa de 360° o un perno que ha sido reparado por soldadura, dicho perno deberá ser doblado a un ángulo de aproximadamente 15° de su eje original. Los pernos roscados deben ser sometidos al ensayo de torsión. El método del doblado debe cumplir con lo establecido en 7.7.1.4. La dirección de doblado de los pernos que tienen una rebaba menor de 360° debe ser opuesta a la porción faltante de la rebaba. El ensayo de torsión debe cumplir con la Figura 7.3.

7.8.2 Ensayos adicionales. Cuando las condiciones lo ameriten, el Inspector de Verificación podrá seleccionar una cantidad razonable de pernos adicionales a fin de someterlos a los ensayos descritos en 7.8.1.

7.8.3 Criterios de aceptación de pernos doblados. La conexión de cizallamiento de pernos doblados (Tipo B) y los anclajes deformados (Tipo C) y demás pernos que se van a incrustar en concreto (Tipo A) que no muestran indicios de fallo serán aceptables para su uso y se dejarán en la posición doblada. Cuando los documentos del contrato exijan que los pernos doblados sean enderezados, la operación de enderezamiento se realizará sin calor, y antes de la finalización de la operación de soldadura de pernos de producción.

7.8.4 Criterios de aceptación del ensayo de torsión. Los pernos roscados (Tipo A) sometidos a ensayo de torsión al nivel de torsión de prueba de carga de la Figura 7.3 que no muestran indicios de fallo serán aceptables para su uso.

7.8.5 Acción correctiva. El Contratista deberá reparar o sustituir los pernos soldados que no cumplan los requisitos del código. El Contratista deberá revisar el procedimiento de soldadura como sea necesario para asegurar que toda soldadura de pernos subsiguiente cumpla con los requisitos del código.

7.8.6 Opción del Propietario. A opción y cuenta del Propietario, se le podría solicitar al Contratista, en cualquier momento, que presente pernos del tipo de los usados conforme al contrato para un control de calificación en conformidad con los procedimientos descritos en 7.9.

7.9 Requisitos de calificación de bases de perno del fabricante

7.9.1 Propósito. El propósito de estos requisitos es prescribir los ensayos para la certificación por parte del fabricante de pernos de la soldabilidad de las bases de pernos.

7.9.2 Responsable de los ensayos. El fabricante de pernos será responsable de la realización del ensayo de calificación. Los ensayos pueden ser realizados por una agencia de ensayos que resulte satisfactoria para el Ingeniero. La agencia que realice los ensayos debe presentar un informe certificado al fabricante de pernos con-

teniendo los procedimientos y los resultados de todos los ensayos incluyendo la información descrita en 7.9.10.

7.9.3 Alcance de la calificación. La calificación de una base de perno constituirá la calificación de las bases de pernos con la misma geometría, fundente y revestimiento de arco, que tengan el mismo diámetro y diámetros inferiores de menos de 1/8 pulg. [3 mm]. Una base de perno calificada con un grado aprobado de acero ASTM A29 y que cumpla con las propiedades mecánicas normales (véase 7.3.1) constituirá la calificación de todos los demás grados aprobados de acero ASTM A29 (véase 7.2.6), siempre que se cumplan todas las demás disposiciones indicadas aquí.

7.9.4 Duración de la calificación. Un tamaño de base de perno con revestimiento de arco, una vez que ha sido calificado, se considerará calificado hasta que el fabricante de pernos realice algún cambio a la geometría, al material, al fundente, o al revestimiento de arco del perno que afecte las características de soldadura.

7.9.5 Preparación de probetas

7.9.5.1 Materiales. Las probetas de ensayo se prepararán soldando pernos de soldadura representativos a placas adecuadas de probeta de acero ASTM A36 o de cualquiera de los demás materiales indicados en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9. Para realizar el ensayo de calificación de las bases de pernos que se van a soldar mediante encofrado de metal, el ensayo se debe hacer con soldadura mediante un encofrado de metal representativo del que se usará en la construcción, galvanizado según la designación G90 de recubrimiento según norma ASTM A653 para un espesor de encofrado o G60 para dos láminas de encofrado. Cuando los pernos se usen para soldadura mediante encofrado, el ensayo de calificación de las bases de pernos debe incluir un encofrado representativo del que se va a usar en la construcción. La soldadura debe realizarse en la posición plana (superficie de placa horizontal). Los ensayos de pernos roscados se realizarán en blancos (pernos sin rosca).

7.9.5.2 Equipo de soldadura. Los pernos deben soldarse con fuente de alimentación, pistola de soldadura y equipo de sincronización automática según la recomendación del fabricante de pernos. El voltaje, la corriente y el tiempo de soldadura (véase 7.9.6) se medirá y documentará para cada probeta. La elevación e inmersión se fijará en la configuración óptima recomendada por el fabricante.

7.9.6 Cantidad de probetas de ensayo

7.9.6.1 Corriente alta. Para pernos con diámetro de 7/8 pulg. [22 mm] o menos, se soldarán 30 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente 10% por encima de la óptima. Para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm], se soldarán 10 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante. El tiempo y la corriente óptimos serán el punto medio del rango normalmente recomendado por el fabricante para soldaduras de producción.

7.9.6.2 Corriente baja. Para pernos con diámetro de 7/8 pulg. [22 mm] o menos, se soldarán 30 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente 10% por debajo de la óptima. Para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm], se

soldarán 10 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente a 5% por debajo de la óptima.

7.9.6.3 Encofrado de metal. Para pernos que se van a soldar mediante encofrado de metal, el rango de diámetros de base de soldadura debe calificarse soldando 10 pernos a corriente y tiempo óptimos según la recomendación del fabricante en conformidad con lo siguiente:

- (1) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante un encofrado de un espesor de calibre 16, con una designación G90 de recubrimiento.
- (2) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante dos láminas de encofrado de calibre 16, con una designación G60 de recubrimiento.
- (3) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante un encofrado G60 de un espesor de calibre 18 encima de un encofrado G60 de un espesor de calibre 16.
- (4) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante dos láminas de encofrado de calibre 18, ambas con una designación G60 de recubrimiento.

El rango para diámetros desde máximo a mínimo soldados mediante dos láminas de encofrado de metal de calibre 18 con galvanización G60 será calificado para soldadura mediante una o dos láminas de encofrado de metal de calibre 18 o menos de espesor.

7.9.7 Ensayos

7.9.7.1 Ensayo de tracción. Diez de las probetas soldadas en conformidad con 7.9.6.1 y diez soldadas en conformidad con 7.9.6.2 serán sometidas a un ensayo de tracción en un dispositivo similar al indicado en la Figura 7.2, excepto que los pernos sin cabeza pueden ser sujetados por el extremo sin soldar en las mordazas de la máquina usada para el ensayo de tracción. Una base de perno se considerará calificada si todas las probetas de ensayo tienen una resistencia a la tracción igual o superior a la mínima descrita en 7.3.1.

7.9.7.2 Ensayos de doblado (pernos de 7/8 pulg. [22 mm] o menos de diámetro). Veinte de las probetas soldadas en conformidad con 7.9.6.1 y veinte soldadas en conformidad con 7.9.6.2 serán sometidas a un ensayo de doblado, doblando las probetas 30° del eje original en direcciones opuestas alternadamente hasta que ocurra la falla. Los pernos deberán doblarse en un dispositivo de ensayo de doblado como el que se muestra en la Figura 7.4, excepto que los pernos de menos de 1/2 pulgada [12 mm] pueden doblarse usando un dispositivo como el que se muestra en la Figura 7.5. Una base de perno se considerará calificada si, en todas las probetas de ensayo, la fractura ocurre en el material de la placa o en el vástago del perno pero no en la soldadura ni en la HAZ. Todas las probetas de ensayo para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm] serán sometidas a ensayos de tracción.

7.9.7.3 Ensayos de soldadura mediante encofrado. Se debe realizar el ensayo de todas las 10 probetas de soldaduras de pernos mediante encofrado doblando 30° en direcciones opuestas en un dispositivo de ensayo de doblado como se muestra en la Figura 7.4, o sometiendo a ensayo de doblado a 90° del eje original o a ensayo de tracción hasta la destrucción en una máquina capaz de ejercer la fuerza requerida. Cualquiera sea el método usado, el rango de diámetros de pernos de máximo a mínimo se considerará como bases de soldadura calificada para soldadura mediante encofrado si, en todas las probetas de ensayo, la fractura ocurre en el material de la placa o en el vástago del perno pero no en la soldadura ni en la HAZ.

7.9.8 Repeticiones de ensayos. Si el fallo ocurre en una soldadura o en la HAZ en cualquiera de los grupos del ensayo de doblado descrito en 7.9.7.2 o a una resistencia a la tracción menor a la mínima especificada en cualquiera de los grupos de tracción en 7.9.7.1, se debe preparar y realizar el ensayo a un nuevo grupo de ensayo (descrito en 7.9.6.1 o 7.9.6.2, según corresponda). Si los fallos se repiten, no se aprobará la calificación de la base de perno.

7.9.9 Aceptación. Para que la combinación de la base de perno y el revestimiento de arco de un fabricante sea calificada, cada perno de cada grupo de 30 pernos deberá, mediante ensayo o repetición de ensayo, cumplir con los requisitos descritos en 7.9.7. La calificación de un diámetro dado de una base de perno será considerada como la calificación de las bases de pernos con el mismo diámetro nominal (véase 7.9.3, geometría, material, fundente y revestimiento de arco).

7.9.10 Información de los ensayos de calificación por parte del fabricante. La información de ensayos debe incluir lo siguiente:

- (1) Planos que muestren los perfiles y las dimensiones con tolerancias de los pernos, los revestimientos de arco y el fundente;
- (2) Descripción completa de los materiales usados en los pernos, incluyendo la cantidad y el tipo de fundente, y descripción de los revestimientos de arco; y
- (3) Resultados certificados de los ensayos.

Tabla 7.1
Requisitos de propiedades mecánicas
para pernos (véase 7.3.1)

		Tipo A ^a	Tipo B ^b	Tipo C ^c
Resistencia a la tracción	psi mín.	61 000	65 000	80 000
	MPa mín.	420	450	552
Carga de fluencia	psi mín.	49 000	51 000	—
(desviación del 0,2%)	MPa mín.	340	350	—
(desviación del 0,5%)	psi mín.	—	—	70 000
	MPa mín.	—	—	485
Alargamiento	% en mín. de 2 pulgadas	17%	20%	—
	% en mín. de diámetro x5	14%	15%	—
Reducción del área	% mín.	50%	50%	—

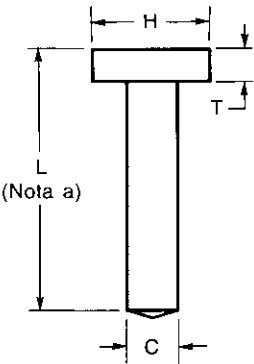
^a Los pernos Tipo A serán de propósito general de cualquier tipo y tamaño para otros propósitos que no sean la transferencia de cizallamiento en el diseño y construcción de haz compuesto.

^b Los pernos Tipo B serán pernos con cabeza, doblados, o de otra configuración en 3/8 pulg. [10 mm], 1/2 pulg. [12 mm], 5/8 pulg. [16 mm], 3/4 pulgada [20 mm], 7/8 pulg. [22 mm], y 1 pulg. [25 mm] de diámetro que se usen como componente esencial en el diseño del haz y en el diseño del anclaje en concreto.

^c Los pernos Tipo C serán barras de acero deformadas en frío y fabricadas en conformidad con la especificación ASTM A496 con un diámetro nominal equivalente al diámetro de un alambre simple del mismo peso por pie que el alambre deformado. ASTM A496 especifica un diámetro máximo de 0,628 pulg. [16 mm]. Toda barra proporcionada por encima de ese diámetro debe tener las mismas características físicas respecto de las deformaciones que requiere ASTM A496.

Tabla 7.2
Tamaño mínimo de la soldadura en filete
para pernos de diámetro pequeño
(véase 7.5.5.4)

Diámetro del perno		tamaño mínimo de filete	
pulgadas	mm	pulgadas	mm
1/4 a 7/16	6 a 11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4, 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10



^a Longitud de fabricación antes de la soldadura.

Dimensiones normales, pulgadas				
Diámetro del vástago (C)	Tolerancias de longitud (L)	Diámetro de la cabeza (H)	Altura mínima de la cabeza (T)	
3/8	+0,010 -0,010	±1/16	3/4 ± 1/64	9/32
1/2	+0,010 -0,010	±1/16	1 ± 1/64	9/32
5/8	+0,010 -0,010	±1/16	1-1/4 ± 1/64	9/32
3/4	+0,015 -0,015	±1/16	1-1/4 ± 1/64	3/8
7/8	+0,015 -0,015	±1/16	1-3/8 ± 1/64	3/8
1	+0,020 -0,020	±1/16	1-5/8 ± 1/64	1/2
Dimensiones normales, mm				
10	+0,25 -0,25	± 1,6	19 ± 0,40	7,1
13	+0,25 -0,25	± 1,6	25 ± 0,40	7,1
16	+0,25 -0,25	± 1,6	32 ± 0,40	7,1
19	+0,40 -0,40	± 1,6	32 ± 0,40	9,5
22	+0,40 -0,40	± 1,6	35 ± 0,40	9,5
25	+0,40 -0,40	± 1,6	41 ± 0,40	12,7

Figura 7.1—Dimensiones y tolerancias de pernos con cabeza de tipo estándar (véase 7.2.1)

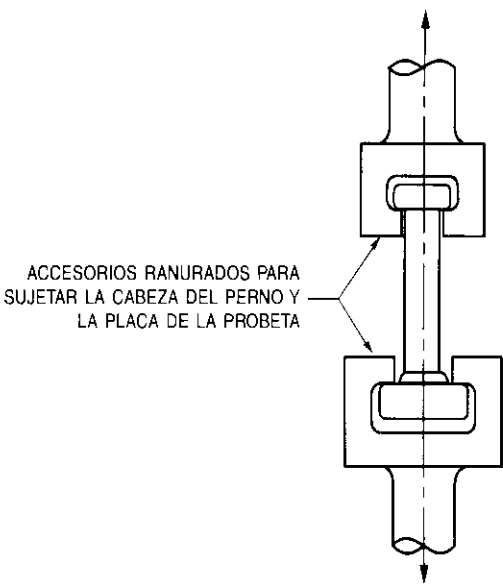
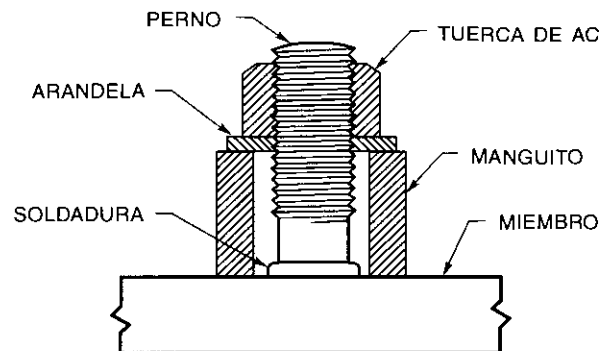


Figura 7.2—Dispositivo típico de ensayo de tracción (véase 7.3.2)



Nota: Los detalles de las dimensiones del dispositivo de ensayo deben adecuarse al tamaño del perno. Las rosas del perno deben estar limpias y sin otro lubricante que no sea el lubricante residual del corte/la formación en frío en la condición "como se recibió" del fabricante.

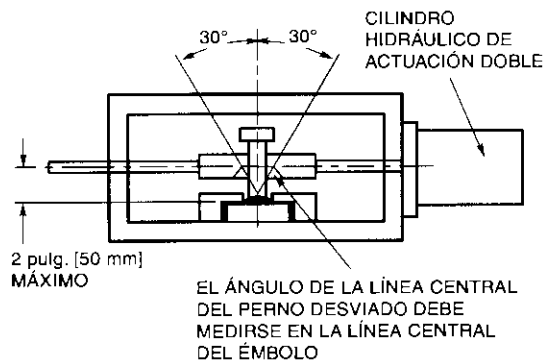
Torsión requerida de prueba para los ensayos de pernos roscados ^a								
Diámetro nominal		M.E.T.A. ^b		Rosca		Serie	Torsión de prueba para ensayo ^c	
pulgadas	mm	pulgadas ²	mm ²	no./pulgadas	emisión-mm		libras-pies	Joule
0,236	M6	0,031	20,1		1,0	ISO-724	5,4	7,4
1/4	6,4	0,036	23,2	28		UNF	6,6	9,0
		0,032	20,6	20		UNC	5,9	7,8
5/16	7,9	0,058	37,4	24		UNF	13,3	18,1
		0,052	33,5	18		UNC	11,9	16,1
0,315	M8	0,057	36,6		1,25	ISO-724	13,2	17,9
3/8	9,5	0,088	56,8	24		UNF	24,3	32,9
		0,078	50,3	16		UNC	21,5	29,2
0,394	M10	0,090	58,0		1,5	ISO-724	26,2	35,5
7/16	11,1	0,118	76,1	20		UNF	37,9	51,4
		0,106	68,4	14		UNC	34,8	47,2
0,472	M12	0,131	84,3		1,75	ISO-724	45,7	61,9
1/2	12,7	0,160	103,2	20		UNF	58,8	79,7
		0,142	91,6	13		UNC	52,2	70,8
0,551	M14	0,178	115,0		2,0	ISO-724	72,7	98,5
9/16	14,3	0,203	131,0	18		UNF	83,9	113,8
		0,182	117,4	12		UNC	75,2	102,0
5/8	15,9	0,255	164,5	18		UNF	117,1	158,8
		0,226	145,8	11		UNC	103,8	140,8
0,630	M16	0,243	157,0		2,0	ISO-724	113,4	153,7
3/4	19,1	0,372	240,0	16		UNF	205,0	278,0
		0,334	215,5	10		UNC	184,1	249,7
0,787	M20	0,380	245,0		2,5	ISO-724	221,2	299,9
0,866	M22	0,470	303,0		2,5	ISO-724	300,9	408,0
7/8	22,2	0,509	328,4	14		UNF	327,3	443,9
		0,462	298,1	9		UNC	297,1	402,9
0,945	M24	0,547	353,0		3,0	ISO-724	382,4	518,5
1	25,4	0,678	437,4	12		UNF	498,3	675,7
		0,606	391,0	8		UNC	445,4	604,0

^a Las cifras de torsión se basan en pernos roscados Tipo A con una resistencia de fluencia mínima de 49 000 psi [340 MPa].

^b M.E.T.A. (promedio efectivo de área de rosca) se define como el área de resistencia efectiva en base a un diámetro promedio tomado aproximadamente del punto medio entre el diámetro menor y el diámetro de emisión.

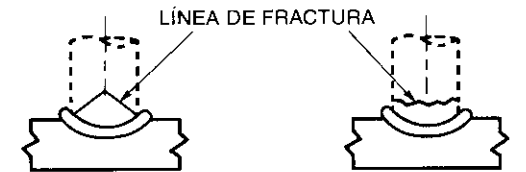
^c Los valores están calculados en una torsión de prueba de ensayo multiplicada por 0,9 del diámetro nominal del perno multiplicado por 0,2 del factor de coeficiente de fricción multiplicado por el promedio efectivo de área de rosca multiplicado por la resistencia de fluencia mínima para los pernos no enchapados en la condición "como se recibió" del fabricante. El enchapado, los recubrimientos, o los depósitos de aceite/grasa modificarán el coeficiente de fricción.

Figura 7.3—Disposición de ensayo de torsión y tabla de ensayos de torsión (véase 7.6.6.2)

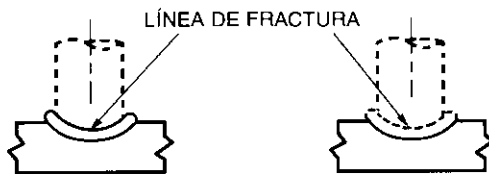


Notas:

1. El dispositivo sujeta la probeta y el perno se dobla 30° en direcciones opuestas en forma alternada.
2. Se puede aplicar carga con un cilindro hidráulico (como en la figura) o con un dispositivo adaptado para usar con la máquina para ensayos de tracción.



FRACTURAS TÍPICAS EN EL VÁSTAGO DEL PERNO



Nota: fractura en la soldadura cerca del perno, filete permanece en la placa.

Nota: fractura por rebaba desgarrada de la placa.

FALLAS TÍPICAS DE SOLDADURA

**Figura 7.4—Dispositivo de ensayo de doblado
(véase 7.9.7.2)**

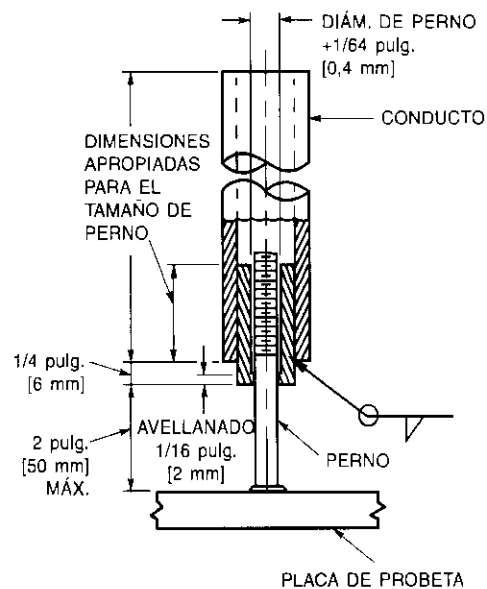


**Figura 7.5—Tipo de dispositivo sugerido para el ensayo de calificación de pernos pequeños
(véase 7.9.7.2)**

8. Refuerzo y reparación de estructuras existentes.

8.1 Generalidades

El refuerzo o la reparación de una estructura existente debe consistir en las modificaciones para cumplir con los requisitos de diseño especificados por el ingeniero. El ingeniero debe preparar un plan integral para el trabajo. Dichos planes deben incluir, pero no están limitados al, diseño, mano de obra, inspección y documentación. Excepto según lo modificado en esta sección, todas las disposiciones de este código se deben aplicar de igual modo al refuerzo y a la reparación de estructuras existentes, incluyendo el enderezamiento por calor de miembros distorsionados.

8.2 Metal base

8.2.1 Investigación. Antes de preparar planos y especificaciones para reforzar o reparar estructuras existentes, se deben determinar los tipos de metal base usados en la estructura original, ya sea a partir de los planos y especificaciones existentes o por medio de ensayos representativos del metal base.

8.2.2 Idoneidad para la soldadura. Se debe establecer la idoneidad del metal base para la soldadura (consulte la Tabla C-8.1 como guía).

8.2.3 Otros metales base. Cuando se deban unir metales base distintos de los indicados en la Tabla 3.1, el ingeniero debe prestar especial atención a la selección del metal de aporte y a las WPS.

8.3 Diseño para refuerzo y reparación

8.3.1 Proceso de diseño. El diseño del proceso debe considerar las disposiciones aplicables del código rector y otras partes de las especificaciones generales. El ingeniero debe especificar el tipo y el alcance del estudio necesario para identificar las condiciones existentes que requieren el refuerzo o la reparación para cumplir con los criterios aplicables.

8.3.2 Análisis de esfuerzo. Se debe realizar un análisis de esfuerzos en el área afectada por el refuerzo o la reparación. Deben establecerse los niveles de esfuerzo para

todos los casos de carga permanente y sobrecarga de uso en el sitio. Se debe considerar el daño acumulado que los miembros puedan haber sufrido en el servicio pasado.

8.3.3 Historial de fatiga. Los miembros sometidos a cargas cíclicas deben estar diseñados de acuerdo con los requisitos de los esfuerzos de fatiga. En el diseño se debe considerar el historial anterior de carga. Cuando el historial de carga no esté disponible, deberá estimarse.

8.3.4 Restauración o reemplazo. Se debe determinar si las reparaciones deberían consistir en la restauración de las partes corroídas o dañadas o en el reemplazo de los miembros completos.

8.3.5 Carga durante las operaciones. El ingeniero debe determinar en qué medida se permitirá que un miembro esté cargado mientras se realizan el calentamiento, la soldadura o el corte térmico. Cuando sea necesario se deben reducir las cargas. Se debe investigar la estabilidad local y general del miembro, considerando el efecto de la temperatura elevada extendiéndose sobre las partes del área transversal.

8.3.6 Conexiones existentes. Se debe evaluar si el diseño es adecuado para las conexiones existentes de las estructuras que requieren refuerzo o reparación y reforzarlas según sea necesario.

8.3.7 Uso de sujetadores existentes. Cuando los cálculos del diseño muestren que los remaches o pernos estarían sometidos a esfuerzos excesivos por efecto de la nueva carga total, solamente deberán soportar la carga permanente ya existente. Si los remaches o pernos están sometidos a esfuerzo excesivo solamente por la carga permanente o están sometidos a carga cíclica, se debe agregar suficiente metal base y soldadura para sostener la carga total.

8.4 Mejora de la vida útil en fatiga

8.4.1 Métodos. Se pueden utilizar los siguientes métodos de reacondicionamiento de detalles críticos de soldadura cuando los procedimientos escritos hayan sido aprobados por el ingeniero:

(1) *Mejora de la soldadura.* Modificación de la cara de soldadura mediante esmerilado con una fresa de car-

buro para obtener un perfil cóncavo con una transición suave desde el material base a la soldadura.

(2) *Esmerilado del pie*. Modificación de solo los pies de la soldadura con una fresa o torno de mano.

(3) *Martillado*. Granallado de la superficie soldada o martillado de los pies de la soldadura.

(4) *Rectificado TIG*. Modificación del pie de la soldadura por refusión del metal de soldadura existente con calor del arco GTAW (no se usa metal de aporte).

(5) *Esmerilado del pie más martillado*. Cuando se utilizan juntos los beneficios son acumulativos.

8.4.2 Incremento del rango de esfuerzo. El ingeniero debe establecer el incremento apropiado en el rango de esfuerzo admisible.

8.5 Mano de obra y técnica

8.5.1 Condición del metal base. Se deberá limpiar la tierra, el óxido y cualquier otra sustancia ajena del metal base que se vaya a reparar y de las superficies existentes del metal base en contacto con el nuevo metal base, excepto la película de pintura adherente según SSPC SP2 (Surface Preparation Specification #2—Hand Tool Cleaning [Especificación de preparación de superficies n.º 2: limpieza con herramientas manuales]). Las partes de las superficies que vayan a ser soldadas deben limpiarse meticulosamente de todo material extraño, incluyendo pintura, al menos en 2 pulg. [50 mm] desde la raíz de la soldadura.

8.5.2 Discontinuidades de los miembros. Cuando así lo requiera el ingeniero, las discontinuidades inaceptables del miembro que esté siendo reparado o reforzado deben ser corregidas antes del enderezamiento por calor, el curvado por calor o la soldadura.

8.5.3 Reparaciones de soldadura. Si se requieren reparaciones de soldadura, estas deben realizarse según 5.25, según corresponda.

8.5.4 Metal base de espesor insuficiente. El metal base con un espesor insuficiente para alcanzar el tamaño de la soldadura requerido o la capacidad requerida debe ser, según lo determine el ingeniero: (1) armado con metal de soldadura hasta el espesor requerido, (2) recortado hasta encontrar el espesor adecuado, (3) reforzado con metal base adicional o (4) retirado y reemplazado por un metal base de espesor y resistencia adecuada.

8.5.5 Enderezamiento por calor. Cuando se utilicen métodos para enderezar o curvar por calor, la temperatura máxima de las áreas calentadas, medida utilizando tizas sensibles a la temperatura o algún otro medio positivo, no debe exceder de 1100 °F [600 °C] para acero revenido y templado ni 1200 °F [650 °C] para otros aceros. Se debe prohibir el enfriamiento acelerado de aceros por encima de 600 °F [315 °C].

8.5.6 Secuencia de soldadura. Al reforzar o reparar miembros mediante el agregado de metal base o metal soldado, o ambos, la soldadura y la secuencia de soldadura deben generar una entrada de calor equilibrada, tanto como sea posible, cerca el eje neutral para minimizar la distorsión y las tensiones residuales.

8.6 Calidad

8.6.1 Inspección visual. Todos los miembros y soldaduras afectados por el trabajo deben inspeccionarse visualmente según el plan integral del ingeniero.

8.6.2 NDT. El método, el alcance y los criterios de aceptación del NDT deben estar especificados en los documentos del contrato.

9. Estructuras tubulares

9.1 Generalidades

Esta Sección complementa las secciones 1-8. Los requisitos específicos de la Sección 9 se aplican únicamente a las conexiones tubulares. A los fines de diseño, esta sección se utilizará con los requisitos aplicables de la Sección 2, Parte A. Todas las disposiciones de la Sección 9 se aplican a las aplicaciones estáticas y cíclicas, con excepción de las disposiciones de fatiga de 9.2.7, las cuales son únicas para las aplicaciones cíclicas.

Esta sección se divide en partes, como sigue:

- Parte A— Diseño de conexiones tubulares
- Parte B— Precalificación de especificaciones del procedimiento de soldadura (WPSs)
- Parte C— Precalificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS)
- Parte D— Calificación del desempeño
- Parte E— Fabricación
- Parte F— Inspección

Parte A *Diseño de conexiones tubulares*

9.2 Esfuerzos admisibles

9.2.1 Excentricidad. Se proveerán momentos provocados por una desviación significativa de las conexiones concéntricas en el análisis y diseño [véase Figura 9.2(H) para una ilustración de una conexión excéntrica].

9.2.2 Esfuerzos del metal base. Estas estipulaciones podrán ser utilizadas en conjunto con especificaciones de diseño aplicables, ya sea en los formatos de diseño por resistencia admisible (ASD) o de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). A menos que la especificación de diseño aplicable disponga otra cosa, el diseño de la conexión tubular debe ser el que se describe en 9.2.6, 9.2.7 y 9.6. Los esfuerzos del metal base serán aquellos indicados en las especificaciones de diseño aplicables, con las limitaciones de 9.2.3.

9.2.3 Limitaciones de la sección tubular. Deben considerarse las limitaciones en cuanto al diámetro/espesor para las secciones circulares, y la relación ancho/espesor más plano para las secciones rectangulares, más allá de las cuales, el pandeo local u otros modos de falla local deben estar en conformidad con el código de diseño pertinente. Los límites de aplicabilidad para los criterios dados en 9.6 deben observarse como sigue a continuación:

(1) Tubos circulares: $D/t < 3300/F_y$ [para F_y en ksi], $22\,800/F_y$ (para F_y en MPa)

(2) Conexiones con separación de la sección rectangular: $D/t \leq 210/\sqrt{F_y}$ [para F_y en ksi], $550/\sqrt{F_y}$ (para F_y en MPa) pero no más de 35

(3) Conexiones con separación de la sección rectangular: $D/t \leq 190/\sqrt{F_y}$ [para F_y en ksi], $500/\sqrt{F_y}$ (para F_y en MPa)

9.2.4 Esfuerzos de soldadura. Los esfuerzos admisibles en soldaduras no deben exceder los indicados en la Tabla 9.2, o de acuerdo con lo permitido en 2.6.4, excepto lo modificado en 9.2.6, 9.2.7, y 9.6.

9.2.5 Esfuerzos de fibra. Los esfuerzos de la fibra debido al doblado no deben exceder los valores descritos para tensión y compresión, a menos que los componentes sean secciones compactas (capaces de desarrollar un momento plástico completo) y se proporcione cualquier soldadura transversal para desarrollar completamente el esfuerzo de las secciones unidas.

9.2.6 Diseño por factores de carga y resistencia. Los factores de resistencia, Φ , dados en otra parte de esta sección, pueden utilizarse en el contexto de los cálculos del diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) en el siguiente formato:

$$\Phi \times (P_u \text{ o } M_u) = \Sigma (LF \times \text{Carga})$$

donde P_u o M_u es la carga o el momento último como se menciona aquí y LF es el factor de carga como se define en el código de diseño LRFD adoptado, por. ej., ANSI/AISC 360, *Especificación para construcciones de acero estructural*.

9.2.7 Fatiga de conexiones de tubos circulares

9.2.7.1 Rango de esfuerzo y tipo de miembro. En el diseño de miembros y conexiones sujetas a variaciones repetidas en esfuerzo de carga viva, se debe dar conside-

ración a la cantidad de ciclos de esfuerzo, el rango esperado de esfuerzo, y el tipo y ubicación del miembro o detalle.

9.2.7.2 Categorías de esfuerzo de fatiga. El tipo y ubicación del material debe categorizarse como se muestra en las Tablas 9.1 y 9.3.

9.2.7.3 Limitación de esfuerzo admisible básico. Donde la especificación de diseño aplicable tenga un requerimiento de fatiga, el esfuerzo máximo no debe exceder el esfuerzo admisible básico proporcionado en otra parte, y el rango de esfuerzo para una cantidad dada de ciclos no debe exceder los valores dados en la Figura 9.1.

9.2.7.4 Daño Acumulado. Donde el ambiente de fatiga involucre rangos de esfuerzo de magnitud variable y números variables de aplicaciones, la razón del daño acumulado de fatiga, D , sumada a todas las cargas diversas, no debe exceder la unidad, donde

$$D = \sum \frac{n}{N}$$

donde

n = número de ciclos aplicados a un rango de esfuerzo dado

N = número de ciclos para los cuales el rango de esfuerzo dado sería permitido en la Figura 9.1

9.2.7.5 Miembros críticos Para los miembros críticos cuyo único modo de falla sería catastrófico, D (véase 9.2.7.4) debe estar limitado a un valor fraccional de 1/3.

9.2.7.6 Mejora del comportamiento a la fatiga Con el propósito de mejorar el comportamiento de fatiga, y cuando se especifique en los documentos del contrato, las siguientes mejoras de perfil pueden llevarse a cabo para soldaduras en conexiones tubulares T-, Y-, o K-:

(1) Puede aplicarse una capa de nivelación de tal forma que la superficie soldada se una suavemente con el metal base adyacente, y se aproxime al perfil mostrado en la Figura 9.16. Las muescas en el perfil no deben ser más profundas que 0,04 pulg. o 1 mm, en relación a un disco que tenga un diámetro igual o mayor que el espesor del miembro secundario.

(2) La superficie de soldadura puede ser esmerilada al perfil mostrado en la Figura 9.16. Las marcas de esmerilado final deben ser transversales al eje de la soldadura.

(3) El pie de la soldadura puede ser martillado con un instrumento romo, a fin de producir una deformación plástica local que suavice la transición entre la soldadura y el metal base, y a la vez induzca un esfuerzo residual compresivo. Dicho martillado siempre debe hacerse después de una inspección visual, y seguido por MT, como se describe más abajo. Debe considerarse la posibilidad de una tenacidad a la muesca localmente degradada debido al martillado.

Para calificar las categorías de fatiga X1 y K1, soldaduras representativas (todas las soldaduras donde se haya aplicado el martillado), deben recibir MT para discontinuidades de la superficie o cerca de la superficie. Cualquier indicación que no pueda ser resuelta por medio de

un esmerilado ligero debe repararse en conformidad con 5.25.1.4.

9.2.7.7 Efectos del tamaño y del perfil. La aplicabilidad de las soldaduras a las categorías de fatiga enumeradas abajo está limitada a los siguientes tamaños de la soldadura o espesores del metal base:

C1	2 pulgadas [50 mm] miembro más delgado en transición
C2	1 pulgada [25 mm] accesorio
D	1 pulg. [25 mm] accesorio
E	1 pulg. [25 mm] accesorio
ET	1,5 pulgada [38 mm] rama
F	0,7 pulg. [18 mm] tamaño de la soldadura
FT	1 pulg. [25 mm] tamaño de la soldadura

Para las aplicaciones que excedan estos límites, debe considerarse reducir los esfuerzos admisibles o mejorar el perfil de soldadura (véase Comentario). Para conexiones T-, Y-, y K-, se proporcionan dos niveles de comportamiento de fatiga en la Tabla 9.4. El diseñador debe designar cuando se aplica el Nivel I; en la ausencia de dicha designación, y para aplicaciones donde la fatiga no sea una consideración, el Nivel II debe ser el estándar mínimo aceptable.

9.3 Identificación

Los miembros en estructuras tubulares deben ser identificados como se muestran en la Figura 9.2.

9.4 Símbolos

Los símbolos utilizados en esta sección son aquellos que se muestran en el Anexo I.

9.5 Diseño de la soldadura

9.5.1 Soldaduras en filete

9.5.1.1 Área efectiva. El área efectiva debe cumplir con 2.4.2.10 y lo siguiente:

La longitud efectiva de las soldaduras en filete en conexiones estructurales T-, Y-, y K- debe calcularse en conformidad con 9.5.4 o 9.5.5, utilizando el radio o las dimensiones de la superficie del miembro secundario medido en la línea central de la soldadura.

9.5.1.2 Limitación beta para detalles precalificados. Los detalles para soldaduras en filete precalificadas en las conexiones tubulares T-, Y-, y K- se describen en la Figura 9.10. Estos detalles están limitados a $\beta \leq 1/3$ para conexiones circulares, y $\beta \leq 0,8$ para secciones rectangulares. También están sujetas a las limitaciones de 9.9.1. Para una sección rectangular con radios de esquina grandes, puede requerirse un límite de β más pequeño para mantener el miembro secundario y la soldadura en la cara plana.

9.5.1.3 Juntas traslapadas. Las juntas traslapadas de los tubos telescópicos (opuestas a la junta “slip-on” de interferencia que se utiliza en los postes cónicos) a las cuales se transfiere la carga a través de la soldadura, pueden ser soldadas con filete simple de conformidad con la Figura 9.3.

9.5.2 Soldaduras en ranura. El área efectiva debe cumplir con 2.4.2.5 y lo siguiente: la longitud efectiva de las soldaduras en ranura en las conexiones estructurales T-, Y-, y K- debe calcularse en conformidad con 9.5.4 o 9.5.5, utilizando el radio medio r_m o las dimensiones de la superficie del miembro secundario.

9.5.2.1 Detalles de soldadura en ranura con PJP precalificada. Las soldaduras en ranura con PJP precalificadas en las conexiones tubulares T-, Y-, o K- deben ser conformes a la Figura 9.11. El Ingeniero debe utilizar la figura en conjunto con la Tabla 9.5 para calcular el tamaño mínimo de la soldadura a fin de determinar el esfuerzo máximo de la soldadura, excepto cuando dichos cálculos sean eximidos por 9.6.1.3(2).

La dimensión de pérdida Z debe ser deducida de la distancia desde el punto de trabajo hasta la cara de soldadura teórica para encontrar el tamaño mínimo de soldadura.

9.5.2.2 Detalles de soldadura en ranura con CJP precalificada soldado de un lado sin respaldo en conexiones T-, Y-, y K-. véase 9.11.2 para las opciones de detalle. Si se requiere de la mejora del comportamiento de la fatiga, los detalles seleccionados deben estar basados en los requerimientos de perfil de 9.2.7.6 y la Tabla 9.4.

9.5.3 Esfuerzos en las soldaduras. Cuando se requieren cálculos de esfuerzos admisibles en soldaduras para secciones circulares, el esfuerzo nominal en la derivación de conexión de soldadura en una conexión simple en T-, Y-, o K- debe ser computado de esta manera:

$$f_{\text{soldadura}} = \frac{t_b}{t_w} \left[\frac{f_a}{K_a} \left(\frac{r_m}{r_w} \right) + \left(\frac{f_b}{K_b} \right) \frac{r_m^2}{r_w^2} \right]$$

donde

t_b = espesor del miembro secundario

t_w = garganta efectiva de la soldadura

f_a y f_b = esfuerzos nominales axiales y de doblado en la derivación

Para r_m y r_w , véase Figura 9.4.

K_a y K_b son factores de longitud y sección efectivas en 9.5.4 y 9.5.5.

En el esfuerzo último o el formato LRFD, debe aplicarse la siguiente expresión para la capacidad de carga axial del miembro secundario P tanto para las secciones circulares como para las secciones rectangulares:

$$P_u = Q_w \cdot L_{\text{eff}}$$

donde

Q_w = capacidad de carga de línea de soldadura (kips/pulg.)

L_{eff} = longitud efectiva de soldadura

Para soldaduras en filete,

$$Q_w = 0,6 t_w F_{\text{EXX}}$$

con $\Phi = 0,8$

donde F_{EXX} = resistencia a la tracción mínima clasificada del depósito de soldadura.

9.5.4 Longitudes de conexiones circulares. La longitud de las soldaduras y la longitud de la intersección en las conexiones T-, Y-, y K- deben ser determinadas como $2\pi r K_a$ donde r es el radio efectivo de la intersección [véase 9.5.2, 9.5.1.1, y 9.6.1.3(4)].

$$K_a = x + y + 3 \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$x = 1/(2 \pi \sin \theta)$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{3 - \beta^2}{2 - \beta^2} \right)$$

donde

θ = el ángulo agudo entre los dos ejes miembros

β = relación del diámetro, miembro secundario/principal, como se definió previamente

NOTA: Lo siguiente puede utilizarse como aproximaciones conservadoras:

$$K_a = \frac{1 + 1/\sin \theta}{2} \text{ para carga axial}$$

$$K_b = \frac{3 + 1/\sin \theta}{4 \sin \theta} \text{ para doblado en plano}$$

$$K_b = \frac{1 + 3/\sin \theta}{4} \text{ para doblado fuera de plano}$$

9.5.5 Longitudes de conexiones de sección rectangular.

9.5.5.1 Conexiones K- y N-. La longitud efectiva de las soldaduras de miembros secundarios en conexiones estructurales, planas y ranuras K- y N- entre secciones rectangulares, sujetas a la carga axial predominantemente estática, debe tomarse como:

$$2a_x + 2b, \text{ para } \theta \leq 50^\circ$$

$$2a_x + b, \text{ para } \theta \geq 60^\circ$$

Por lo tanto, para $\theta \leq 50^\circ$ el talón, el pie y los lados del miembro secundario pueden considerarse totalmente efectivos. Para $\theta \geq 60^\circ$, el talón se considera inefectivo debido a la distribución despareja de la carga. Para $50^\circ < \theta < 60^\circ$, interpolar.

9.5.5.2 Conexiones T-, Y- y X-. La longitud efectiva de las soldaduras de miembros secundarios en conexiones estructurales, planas y T, Y y X entre secciones rectangulares, sujetas a la carga axial predominantemente estática, debe tomarse como:

$2a_x + b$, para $\theta \leq 50^\circ$

$2a_x$, para $\theta \geq 60^\circ$

Para $50^\circ < \theta < 60^\circ$, interpolar.

9.6 Limitaciones de la resistencia de las conexiones soldadas

9.6.1 Conexiones circulares tipo T-, Y-, y K- (véase 9.8.1.1)

9.6.1.1 Falla local. Cuando se realiza una conexión en T-, Y-, o K- soldando simplemente el miembro o miembros secundarios en forma individual al miembro principal, las tensiones locales en la superficie de la falla potencial a través de la pared del miembro principal pueden limitar la resistencia utilizable de la junta soldada. El esfuerzo de cizallamiento en el que ocurre tal falla depende no solo de la resistencia del acero del miembro principal, sino también de la geometría de la conexión. Dichas conexiones deben ser proporcionadas sobre la base, ya sea de:

(1) el cizallamiento por punzonado, o

(2) los cálculos máximos de carga como se indica a continuación. El cizallamiento por punzonado es una norma de diseño de esfuerzo admisible (ASD) e incluye el factor de seguridad. El formato de carga máxima puede ser utilizado en el diseño del factor de carga y resistencia (LRFD), con el factor de resistencia Φ incluido por el diseñador, véase 9.2.6.

(1) **Formato del cizallamiento por punzonado.** El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante sobre la superficie potencial de falla (véase Figura 9.5) no debe exceder el esfuerzo de cizallamiento por punzonado admisible.

El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante es dado por

$$\text{actuante } V_p = \tau f_n \sin \theta$$

El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante es dado por

$$\text{permitir } V_p = Q_q \cdot Q_f \cdot F_{yo} / (0,6 \gamma)$$

El V_p admisible también debe estar limitado por el esfuerzo de cizallamiento admisible en la especificación del diseño aplicable (por ej., $0,4 F_{yo}$).

Los términos utilizados en las siguientes ecuaciones se definen como sigue:

τ , θ , γ , β y otros parámetros de geometría de conexión se definen en la Figura 9.2(M).

f_n es el esfuerzo axial (f_a) o de doblado (f_b) nominal en el miembro secundario (el cizallamiento por punzonado para cada uno se mantiene por separado).

F_{yo} = La carga de fluencia mínima especificada del carrete del miembro principal, pero no mayor a 2/3 de la resistencia a la tracción.

Q_q , Q_f son los modificadores geométricos y términos de interacción del esfuerzo, respectivamente, que se dan en la Tabla 9.6.

Para el doblado sobre dos ejes (Ej. y y z), el esfuerzo de doblado resultante efectivo en las secciones circulares y rectangulares puede tomarse como sigue

$$f_b = \sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}$$

Para los esfuerzos combinados axiales y de doblado, debe cumplirse la siguiente fórmula:

$$\left[\frac{\text{Actuante } V_p}{\text{permitir } V_p} \right]_{\text{axial}}^{1.75} + \left[\frac{\text{actuante } V_p}{\text{permitir } V_p} \right]_{\text{doblado}} \leq 1.0$$

(2) **Formato LRFD** (cargas factorizadas hasta la condición máxima—véase 9.2.6)

Las cargas del miembro secundario en las cuales ocurre una falla plástica en las caras del miembro principal se dan mediante:

$$\text{carga axial: } P_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} [6 \pi \beta Q_q] Q_f$$

momento de doblado:

$$M_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} [d_b/4] [6 \pi \beta Q_q] Q_f$$

con factor de resistencia $\Phi = 0,8$.

Q_f debe ser computado con $\bar{U}^2$ redefinido como $(P_c/AF_{yo})^2 + (M_c/SF_{yo})^2$ donde P_c y M_c son la carga y el momento del carrete factorizado, A es el área, S es el módulo de sección.

Estas cargas también están sujetas a los límites de resistencia de cizallamiento del material del cordón:

$$P_u \sin \theta \leq \pi d_b t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

$$M_u \sin \theta \leq d_b^2 t_c F_{yo} / \sqrt{3}$$

con $\Phi = 0,95$

donde

t_c = espesor de la pared del cordón

d_b = el diámetro del miembro secundario y otros términos se definen en 9.6.1.1(1).

El estado límite para combinaciones de carga axial P y momento de doblado M es dado por:

$$(P/P_u)^{1.75} + M/M_u \leq 1.0$$

9.6.1.2 Colapso general. La resistencia y estabilidad de un miembro principal en una conexión tubular, con algún refuerzo, debe ser investigada utilizando la tecnología disponible en conformidad con el código de diseño aplicable. El colapso general es particularmente grave en las conexiones transversales y en las conexiones sujetas a cargas de compresión [véase Figura 9.2(G) y (J)]. Dichas conexiones pueden reforzarse aumentando el espesor del miembro principal, o mediante el uso de diafragmas, anillos o pasadores.

(1) En caso de conexiones transversales circulares no reforzadas, la carga admisible del cordón transversal, debido a la carga axial del miembro secundario de compresión, no debe exceder

$$P \sin \theta - t_c^2 F_y (1.9 + 7.2 \beta) Q_\beta Q_r$$

(2) En caso de conexiones transversales circulares reforzadas por un niple o manguito de unión, que tienen aumentados el espesor t_c , y la longitud, L , la carga axial admisible, P , del miembro secundario puede ser aplicada como:

$$P = P_{(1)} + [P_{(2)} - P_{(1)}]L/2.5D \quad \text{for } L < 2.5/D$$

$$P = P_{(2)} \quad \text{para } L \geq 2.5/D$$

donde $P_{(1)}$ se obtiene usando el espesor nominal del miembro principal en la ecuación (1); y $P_{(2)}$ se obtiene usando el espesor de la "lata de junta" en la misma ecuación.

El estado límite máximo puede tomarse como 1.8 veces el valor ASD admisible, con $\Phi = 0.8$.

(3) En caso de conexiones circulares en K, en las cuales el espesor del miembro principal que se requiere para cumplir con las estipulaciones locales de cizallamiento de 9.6.1.1 se extiende al menos $D/4$ más allá de las soldaduras del miembro secundario conector; no es necesario verificar el colapso general.

9.6.1.3 Distribución dispareja de la carga (Dimensionamiento de la soldadura)

(1) Debido a las diferencias en las flexibilidades relativas del miembro principal cargado normal a su superficie, y al miembro secundario que lleva esfuerzos de membrana paralelos a su superficie, la transferencia de la carga a través de la soldadura tiene una distribución no uniforme, en consecuencia se puede esperar fluencia local antes de que la conexión alcance su carga de diseño. Para prevenir la falla progresiva o "unzipping" de la soldadura y asegurar el comportamiento dúctil de la junta, los tamaños mínimos de las soldaduras en las conexiones simples T-, Y-, o K- deberán ser capaces de desarrollar, en su resistencia máxima a la rotura, la tensión de fluencia del miembro secundario o la tensión local (cizallamiento por punzonado) del miembro principal, la que resulte menor. La resistencia máxima a la rotura de las soldaduras en filete y las soldaduras en ranura con PJP, debe calcularse como 2,67 veces el esfuerzo básico admisible para una resistencia a la tracción de 60 ksi [415 MPa] o 70 ksi [485 MPa] y a 2,2 veces el esfuerzo básico admisible para niveles de resistencia superiores. El cizallamiento por punzonado máximo debe tomarse como 1,8 veces el V_p admisible de 9.6.1.1.

(2) Puede presumirse que este requerimiento cumpla con los detalles precalificados de la junta de la Figura 9.14 (CJP) y 9.10.1 (PJP), cuando se utilizan materiales compatibles (Tabla 3.1).

(3) También puede presumirse la resistencia compatible de las soldaduras con los detalles precalificados de la soldadura en filete de la Figura 9.10, cuando se cumplen los siguientes requerimientos de garganta efectiva:

(a) $E = 0,7 t_b$ para el diseño por esfuerzo de trabajo elástico de los tubos circulares de acero dulce ($F_y \leq 40$ ksi [280 MPa] unidos con soldaduras sobreajustadas (resistencia clasificada $F_{EXX} = 70$ ksi [485 MPa])

(b) $E = 1,0 t_b$ para el diseño de resistencia última (LRFD) de conexiones circulares o de tubo de sección rectangular de acero dulce, $F_y \leq 40$ ksi [280 MPa], con soldaduras que cumplan los requerimientos de resistencia correspondientes de las Tablas 3.1 y 3.2.

(c) $E =$ el menor de e o $1,07 t_b$ para todos los demás casos

(4) Las soldaduras en filete más pequeñas que aquellas requeridas en la Figura 9.10 para corresponder con la resistencia de conexión, pero dimensionadas solo para resistir las cargas de diseño, deben ser al menos dimensionadas para el múltiple de los siguientes esfuerzos, calculados según 9.5.3, para representar la distribución no uniforme de la carga:

ASD	LRFD
E60XX and E70XX—1,35	1,5
Resistencias más altas—1,6	1,8

9.6.1.4 Transiciones. Las conexiones ensanchadas y las transiciones de tamaño de tubo no exceptuadas a continuación, serán evaluadas con respecto a los esfuerzos locales provocados por el cambio de dirección en la transición (véase la Nota d de la Tabla 9.3). Excepción para cargas estáticas:

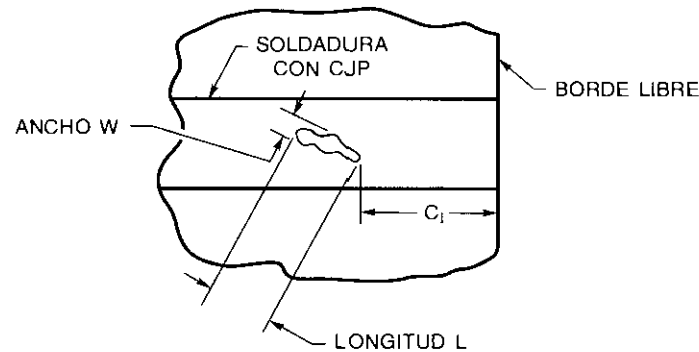
Tubos circulares que tengan D/t inferior a 30 e

Inclinación de la transición inferior a 1:4.

9.6.1.5 Otras configuraciones y cargas

(1) El término "Conexiones en T-, Y-, y K-" a menudo se utiliza genéricamente para describir conexiones tubulares en las que los miembros secundarios están soldados a un miembro principal o cordón, en un modo estructural. También se proporcionan criterios específicos para las conexiones transversales (X) (también denominadas doble T) en 9.6.1.1 y 9.6.1.2. Las conexiones en N son un caso especial de las conexiones en K, donde uno de los miembros secundarios es perpendicular al cordón y, en consecuencia, se aplican los mismos criterios (véase Comentario para las conexiones multiplanares).

(2) Las clasificaciones de las conexiones en T-, Y-, y K- o transversales deberían aplicarse a los miembros secundarios individuales, de acuerdo con el patrón de carga para cada caso. Para ser considerada una conexión en K, la carga por punzonado en un miembro secundario debería estar esencialmente equilibrada por las cargas en otros refuerzos en el mismo plano sobre el mismo lado de la junta. En las conexiones en T y en Y, la carga de punzonado reacciona como el cizallamiento de una viga en el cordón. En las conexiones transversales, la carga de punzonado es llevada a través del cordón hasta los refuerzos en el lado opuesto. Para los miembros secundarios que soportan parte de su carga como conexiones en K, y parte como conexiones en T, en Y o transversales, se interpola sobre la base de la porción de cada uno en el total, o se utiliza el alfa calculado (véase Comentario).

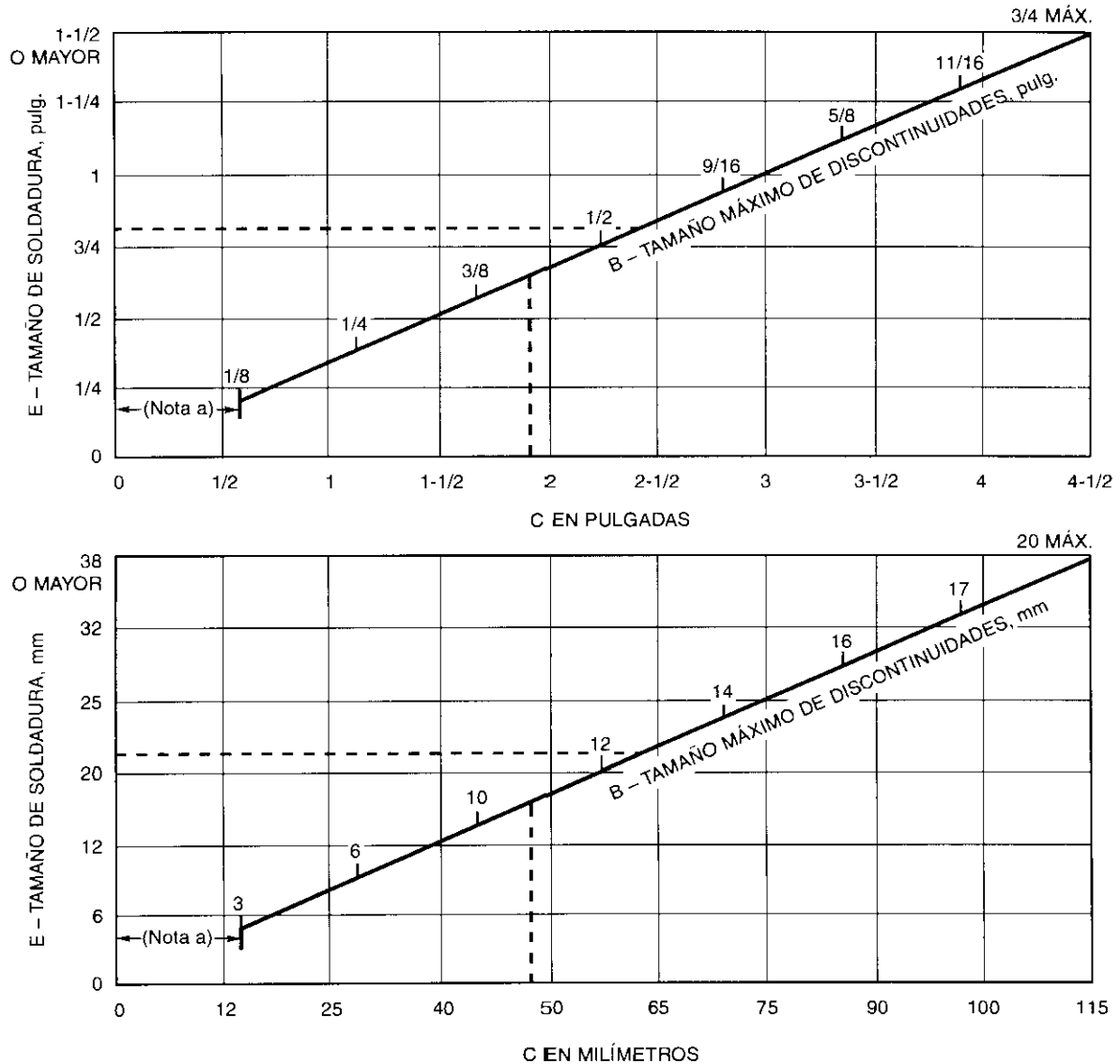


CASO IV LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/16$ pulg. [2 mm]
C ₁	VER GRÁFICO FIGURA 6.2 (DIMENSIÓN C)	—

Caso IV—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (limitaciones de porosidad y discontinuidades de fusión) (véase 6.12.2.1)



^a El tamaño máximo de una discontinuidad ubicada dentro de esta distancia desde un borde de placa debe ser de 1/8 pulg. [3 mm], pero una discontinuidad de 1/8 pulg. [3 mm] debe estar 1/4 pulg. [6 mm] o más alejada del borde. La suma de las discontinuidades menores de 1/8 pulg. [3 mm] de tamaño y ubicadas dentro de esta distancia desde el borde no debe exceder 3/16 pulg. [5 mm]. Las discontinuidades de 1/16 pulg. [2 mm] hasta menos de 1/8 pulg. [3 mm] no se deben restringir en otras ubicaciones excepto que estén separadas por menos de 2L (siendo L la longitud de la discontinuidad más grande), en cuyo caso, las discontinuidades deben ser medidas como una longitud igual a la longitud total de las discontinuidades y espacio y evaluadas conforme se muestra en esta figura.

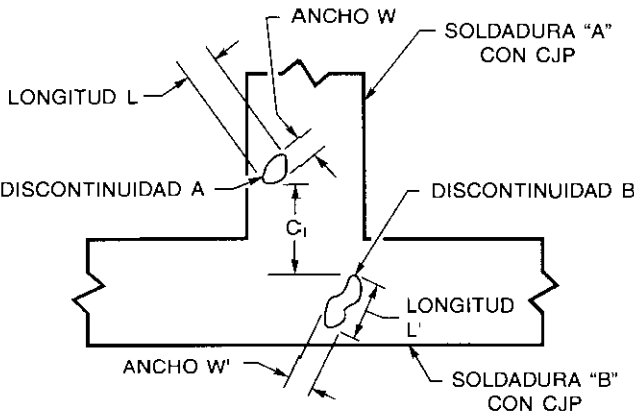
Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad admisible en cualquier tamaño de la soldadura o de junta, proyectar E horizontalmente hacia B.
2. Para determinar la holgura mínima admisible entre los bordes de discontinuidades de cualquier tamaño, proyectar B verticalmente hacia C.
3. véase las definiciones en la leyenda en la página 217.

Figura 6.3—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

CLAVE PARA FIGURA 6.3, CASOS I, II, III, IV, Y V

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA A
DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ELONGADA UBICADA EN LA SOLDADURA B
L Y W = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD A
L' Y W' = DIMENSIONES MÁS GRANDES Y MÁS PEQUEÑAS, RESPECTIVAMENTE, QUE LA DISCONTINUIDAD B
E = TAMAÑO DE SOLDADURA
C₁ = DISTANCIA MÁS CORTA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS BORDES MÁS CERCANOS DE LA DISCONTINUIDAD



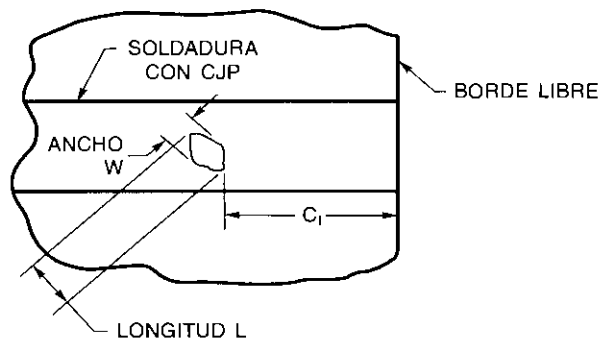
CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD^a

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8 \text{ pulg. [3 mm]}$
C ₁	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_1 \geq 2L \text{ o } 2L'$, LA QUE SEA MAYOR

^a La discontinuidad elongada puede estar ubicada ya sea en la soldadura “A” o en la “B”. Para los fines de esta ilustración la discontinuidad elongada “B” fue ubicada en la soldadura “B”.

Caso I—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

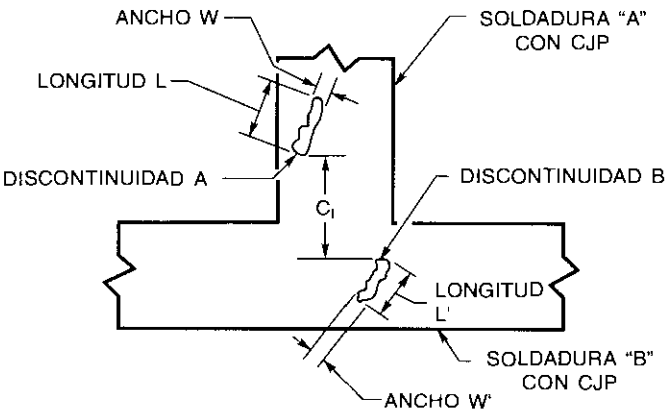


CASO II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8 \text{ pulg. [3 mm]}$
C ₁	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_1 \geq 5/8 \text{ pulg. [16 mm]}$

Caso II—Discontinuidades en el borde libre de la soldadura en ranura con CJP

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

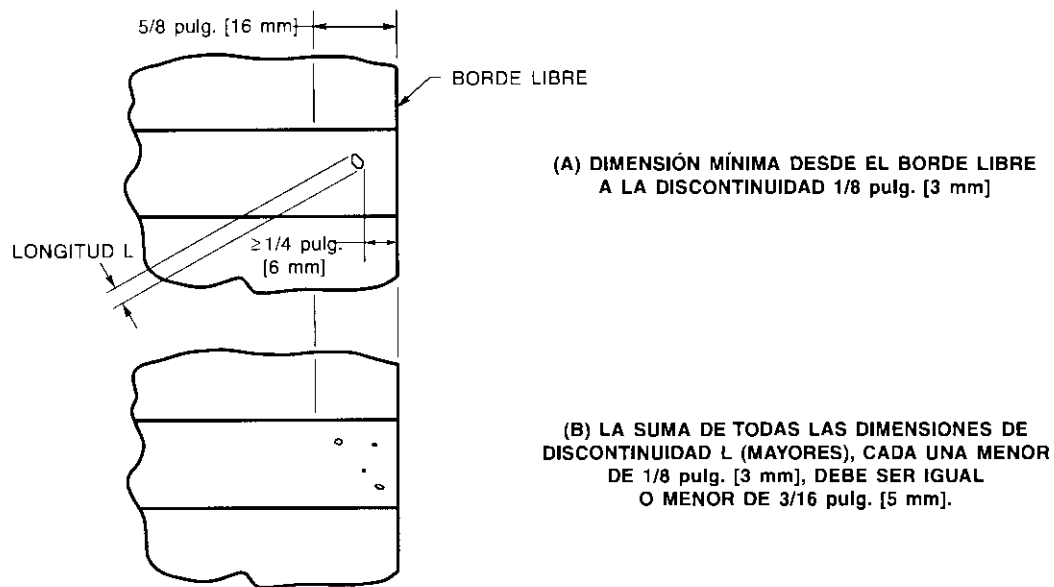


CASO III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDAD

DIMENSIÓN DE DISCONTINUIDAD	LIMITACIONES	CONDICIONES
L	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B)	$L \geq 1/8 \text{ pulg. [3 mm]}$
C ₁	VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C)	$C_1 \geq 2L \text{ o } 2L', \text{ LA QUE SEA MAYOR}$

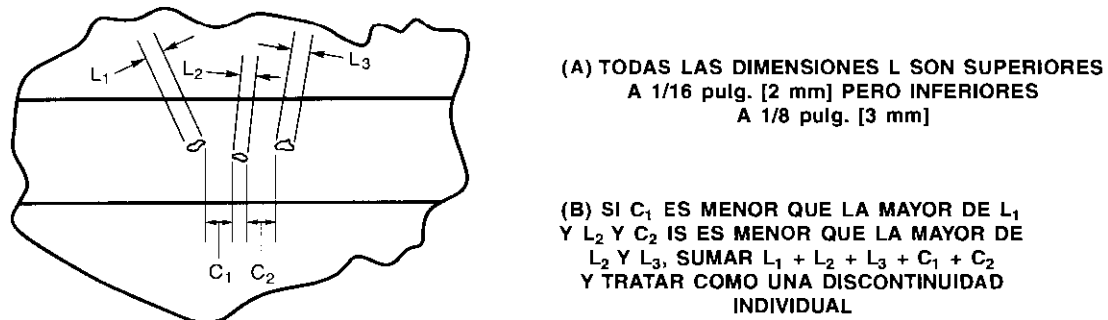
Caso III—Discontinuidad en la intersección de la soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)



Nota: todas las dimensiones entre las discontinuidades $\geq 2L$ (L siendo la más grande de las dos).

Caso IV—Discontinuidades dentro de 5/8 pulg. [16 mm] de un borde libre



Nota: la soldadura que se muestra arriba es solamente para fines ilustrativos. Estas limitaciones se aplican a todas las ubicaciones o intersecciones. La cantidad de ilustraciones es también solo para fines ilustrativos.

Caso V—Discontinuidades separadas por menos de $2L$ en cualquier lugar en la soldadura (Usar Figura 6.3 Gráfico “B” Dimensión para defecto único)

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión (limitaciones de porosidad y discontinuidades de tipo de fusión) (véase 6.12.2.2)

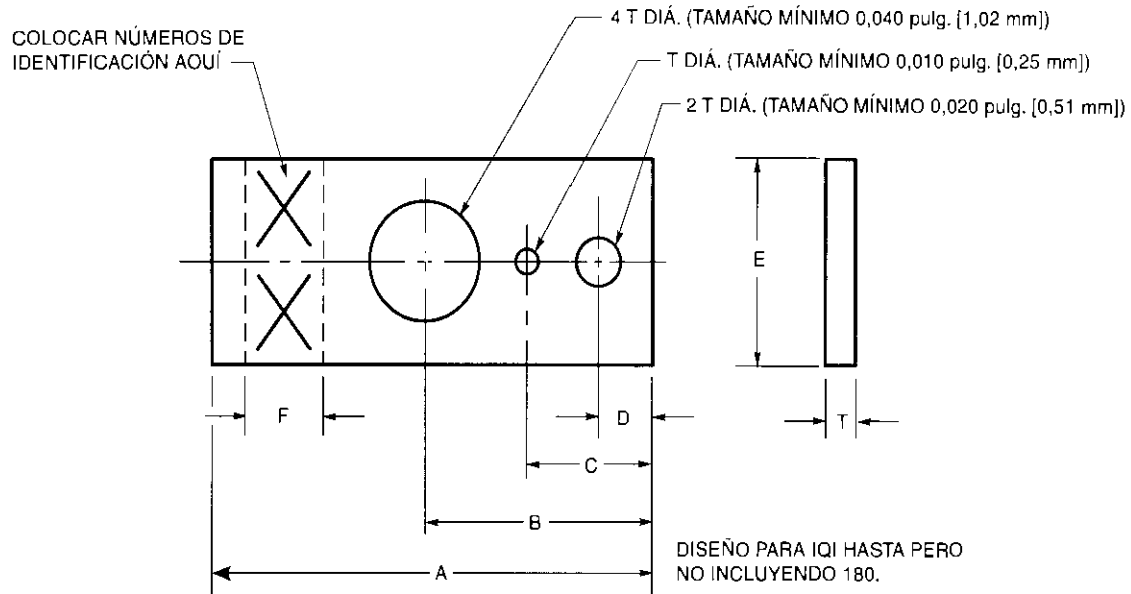


Tabla de dimensiones de IQI
(pulg.)

Número ^a	A	B	C	D	E	F	Tolerancias de espesor y diámetro de orificio de IQI
5–20	1,500 ± 0,015	0,750 ± 0,015	0,438 ± 0,015	0,250 ± 0,015	0,500 ± 0,015	0,250 ± 0,030	± 0,0005
21–59	1,500 ± 0,015	0,750 ± 0,015	0,438 ± 0,015	0,250 ± 0,015	0,500 ± 0,015	0,250 ± 0,030	± 0,0025
60–179	2,250 ± 0,030	1,375 ± 0,030	0,750 ± 0,030	0,375 ± 0,030	1,000 ± 0,030	0,375 ± 0,030	± 0,005

Tabla de dimensiones de IQI
(mm)

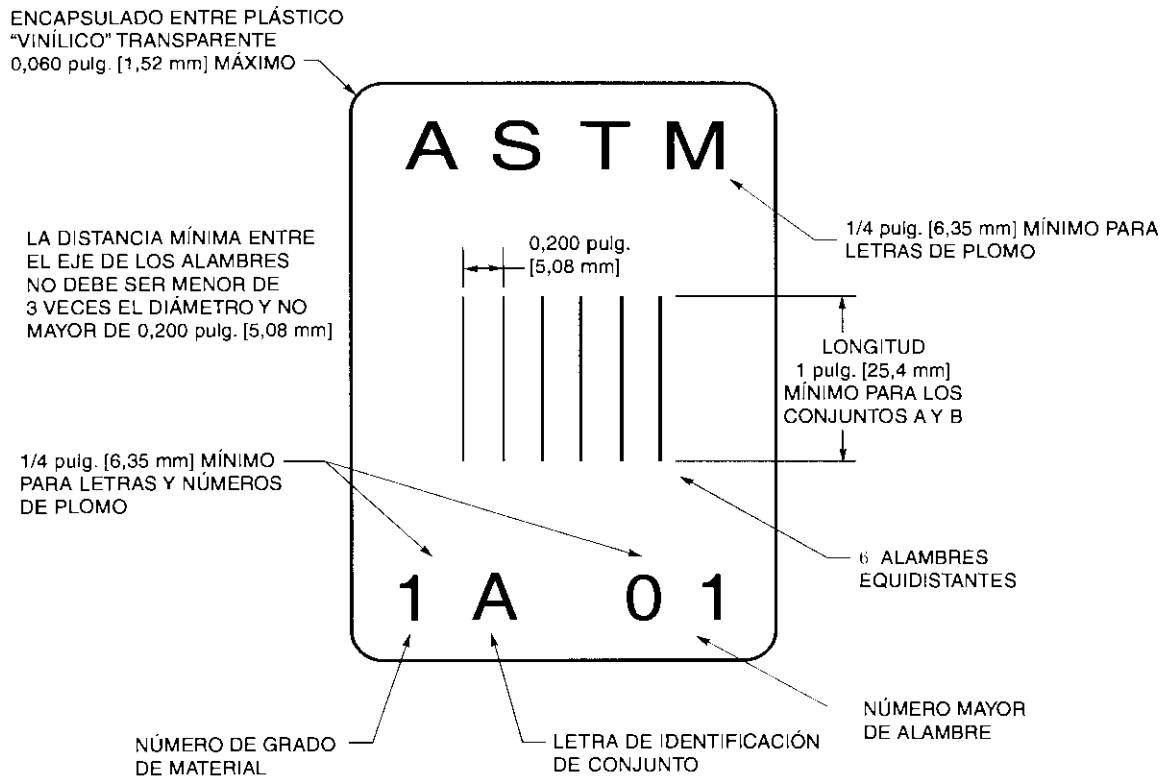
Número ^a	A	B	C	D	E	F	Tolerancias de espesor y diámetro de orificio de IQI
5–20	38,10 ± 0,38	19,05 ± 0,38	11,13 ± 0,38	6,35 ± 0,38	12,70 ± 0,38	6,35 ± 0,80	± 0,013
21–59	38,10 ± 0,38	19,05 ± 0,38	11,13 ± 0,38	6,35 ± 0,38	12,70 ± 0,38	6,35 ± 0,80	± 0,06
60–179	57,15 ± 0,80	34,92 ± 0,80	19,05 ± 0,80	9,52 ± 0,80	25,40 ± 0,80	9,525 ± 0,80	± 0,13

^a Los IQI n.º 5 a 9 no son 1T, 2T y 4T.

Nota: Los orificios deben ser precisos y normales para el IQI. No biselar.

Figura 6.4—IQI tipo orificio (véase 6.17.1 y 9.28.1)

(Reimpresión autorizada por la American Society for Testing and Materials, con derecho de autor.)

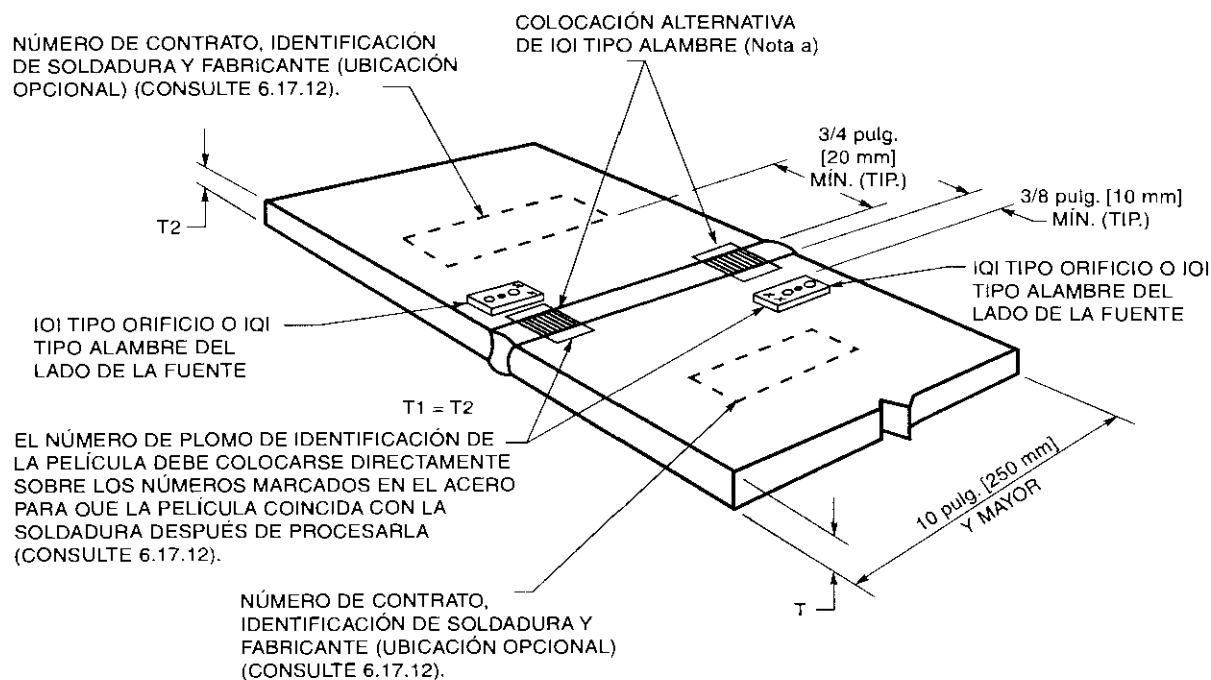


Tamaños del indicador de calidad de imagen (penetrómetro de alambre)

Diámetro de alambre, pulg. [mm]			
Conjunto A	Conjunto B	Conjunto C	Conjunto D
0,0032 [0,08]	0,010 [0,25]	0,032 [0,81]	0,10 [2,5]
0,004 [0,1]	0,013 [0,33]	0,040 [1,02]	0,125 [3,2]
0,005 [0,13]	0,016 [0,4]	0,050 [1,27]	0,160 [4,06]
0,0063 [0,16]	0,020 [0,51]	0,063 [1,6]	0,20 [5,1]
0,008 [0,2]	0,025 [0,64]	0,080 [2,03]	0,25 [6,4]
0,010 [0,25]	0,032 [0,81]	0,100 [2,5]	0,32 [8]

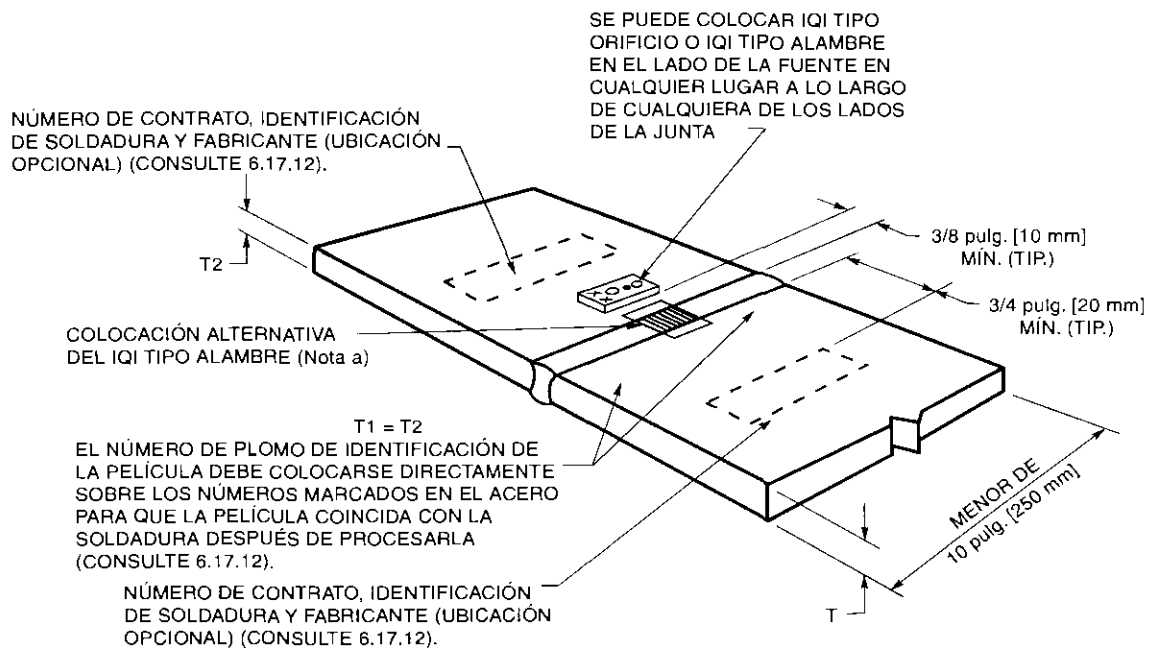
Figura 6.5—IQI tipo alambre (véase 6.17.1 y 9.28.1)

(Reimpresión autorizada por la American Society for Testing and Materials, con derecho de autor.)



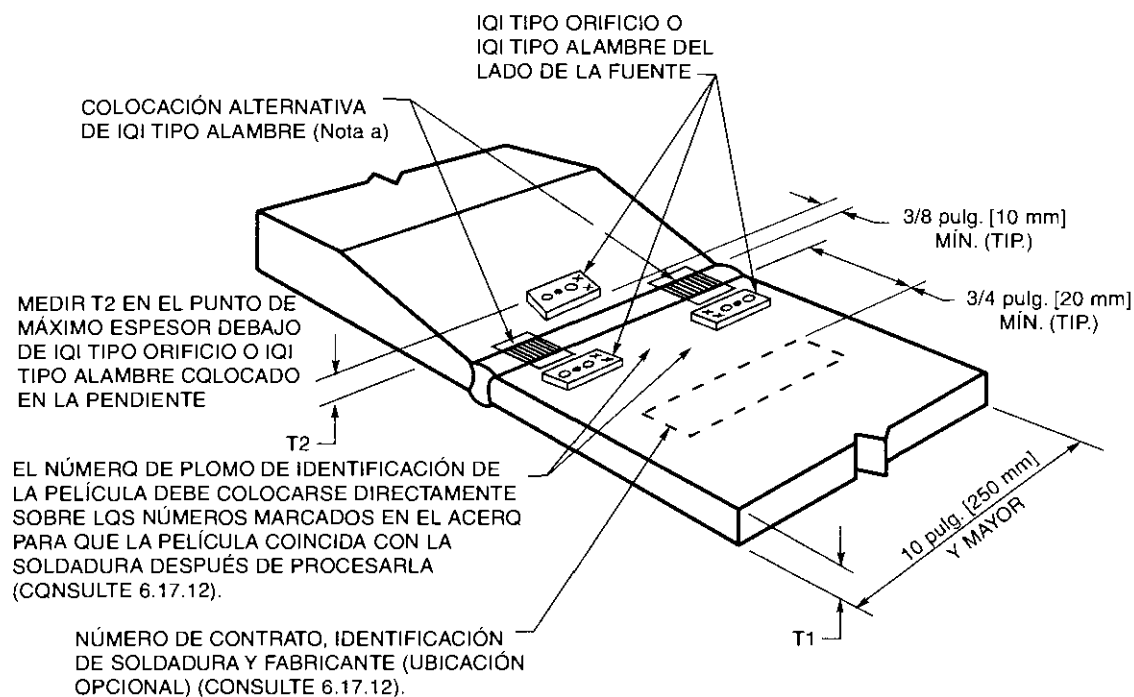
^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.6—Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales y longitudes de 10 pulg. [250 mm] y mayores (véase 6.17.7 y 9.28.2)



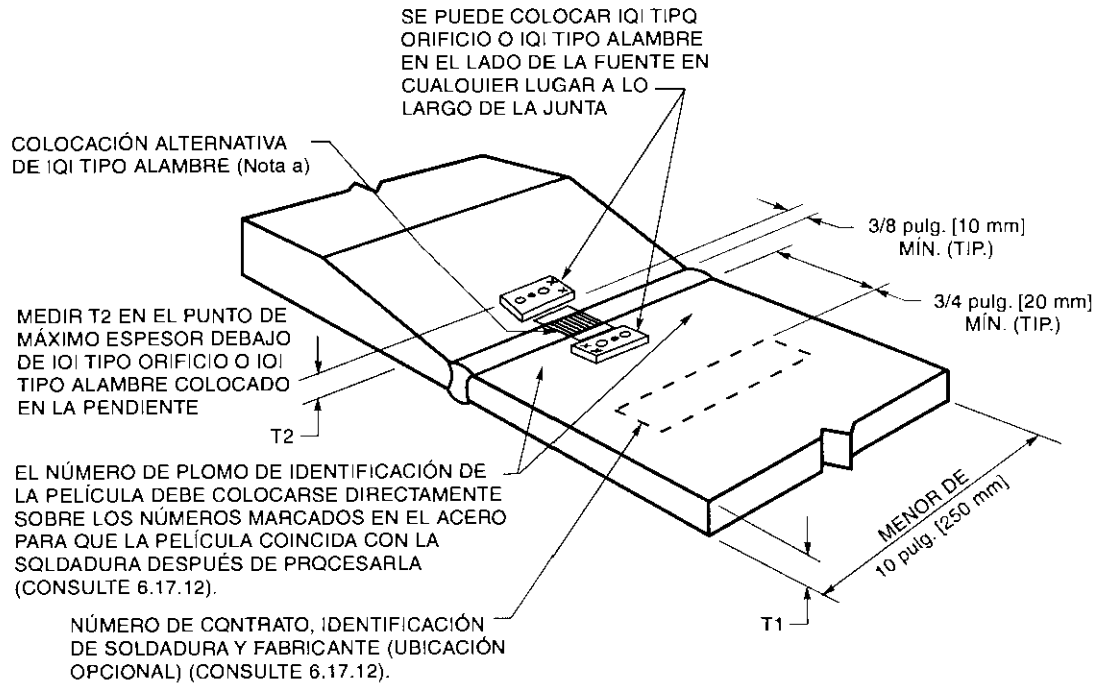
^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.7—Identificación por RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de espesores aproximadamente iguales y longitudes menores de 10 pulg. [250 mm] (véase 6.17.7 y 9.28.2)



^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.8—Identificación del RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición de 10 pulg. [250 mm] de longitud y mayores (véase 6.17.7 y 9.28.2)



^a Colocación alternativa del IQI del lado de la fuente permitida para aplicaciones tubulares y otras aplicaciones cuando sea aprobada por el ingeniero.

Figura 6.9—Identificación del RT y ubicaciones del IQI tipo orificio o alambre en juntas de transición menores de 10 pulg. [250 mm] de longitud (véase 6.17.7 y 9.28.2)

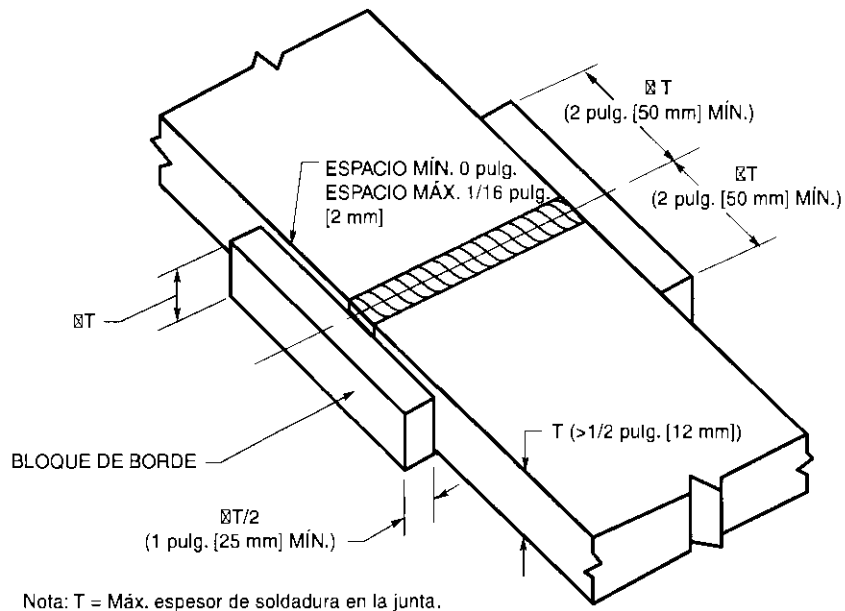


Figura 6.10—Bloques de borde para RT (véase 6.17.13)

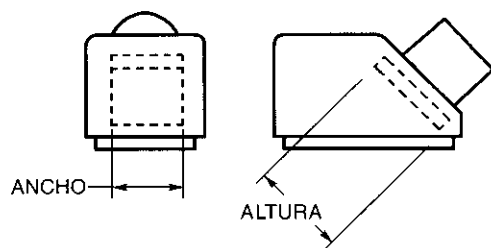


Figura 6.11—Cristal de transductor
(véase 6.21.7.2)

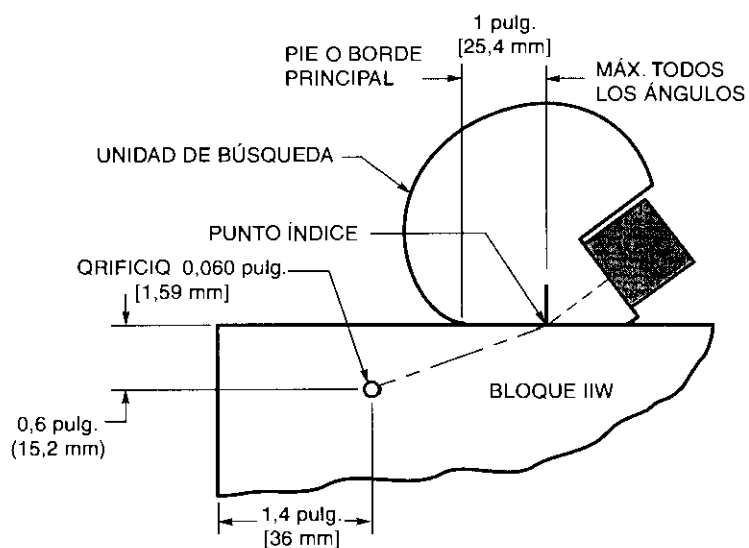
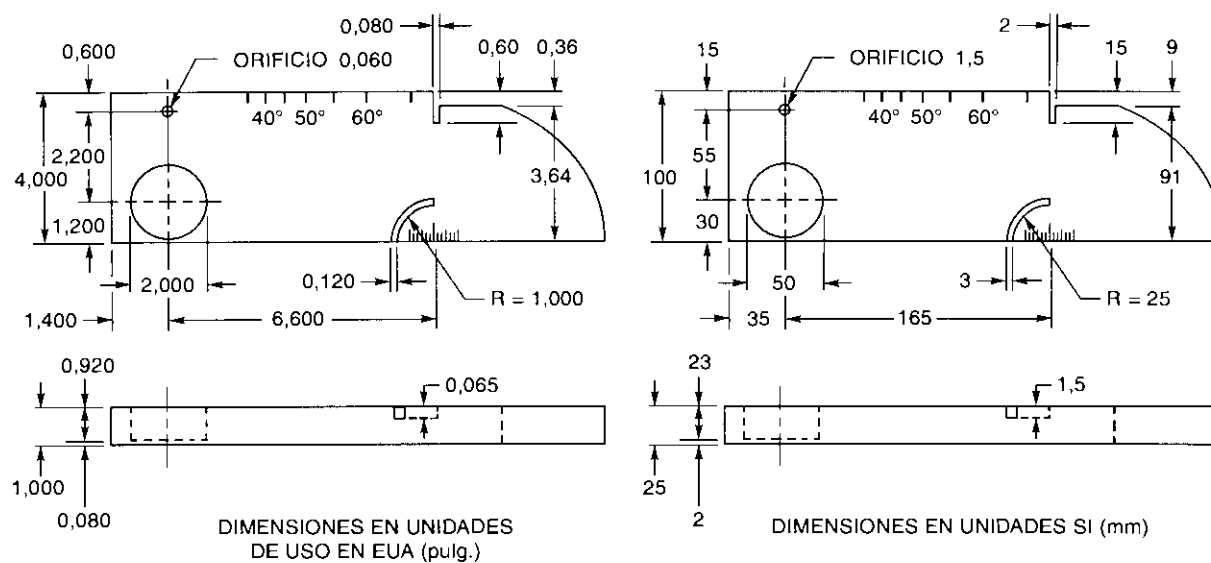


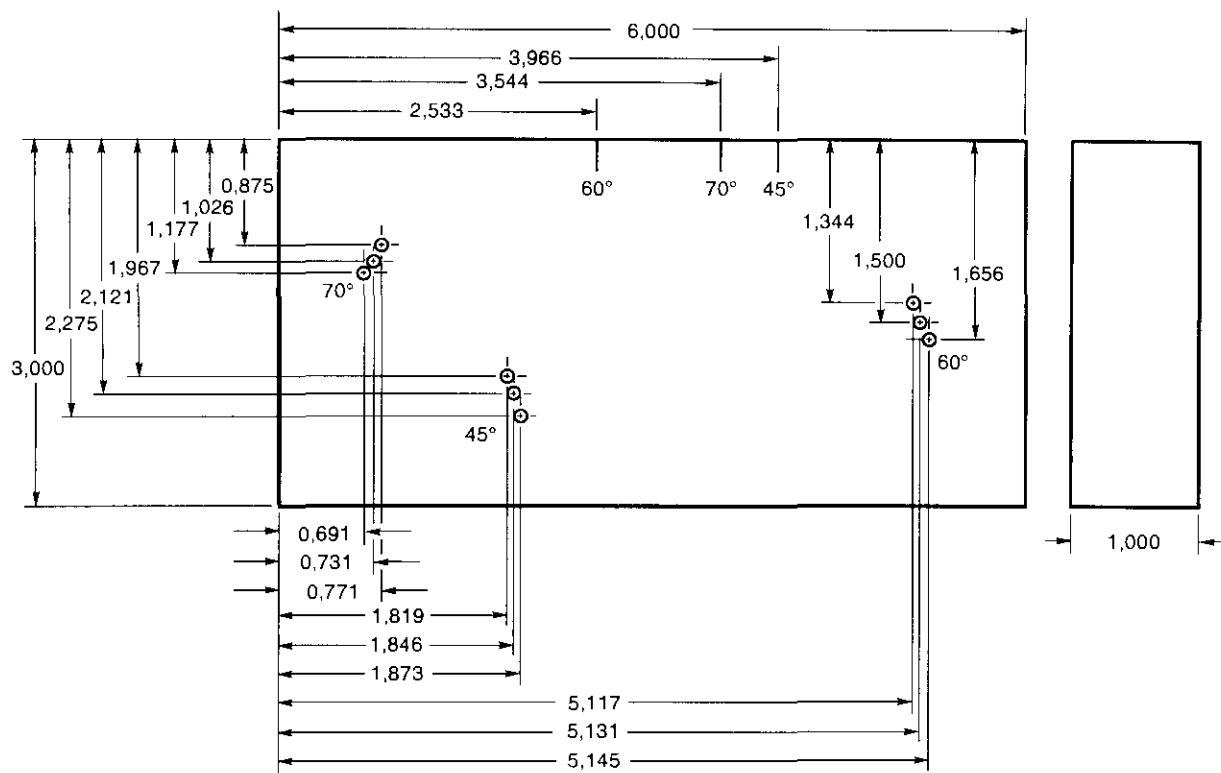
Figura 6.12—Procedimiento de calificación de la unidad de búsqueda
utilizando el bloque de referencia IIW (véase 6.21.7.7)



Notas:

1. La tolerancia dimensional entre todas las superficies involucradas como referencia o para calibrar deben estar dentro de ± 0.005 pulg. [0.13 mm] de la dimensión detallada.
2. El acabado de todas las superficies a las que se les aplica sonido o desde las que se refleja sonido debe tener un máximo de 125 μ pulg. [3.17 μ m] r.m.s.
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno liso y estar perforados a 90° de la superficie del material.
5. Las líneas de grados y las marcas de identificación deben estar grabadas en la superficie del material para mantener una orientación permanente.
6. Estas notas deben aplicarse a todos los esquemas en las Figuras 6.13 y 6.14.

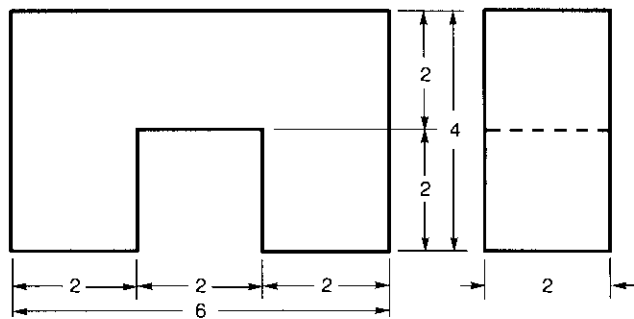
Figura 6.13—Bloque típico tipo IIW (véase 6.22.1)



Nota: todos los orificios tienen 1/16 pulg. de diámetro.

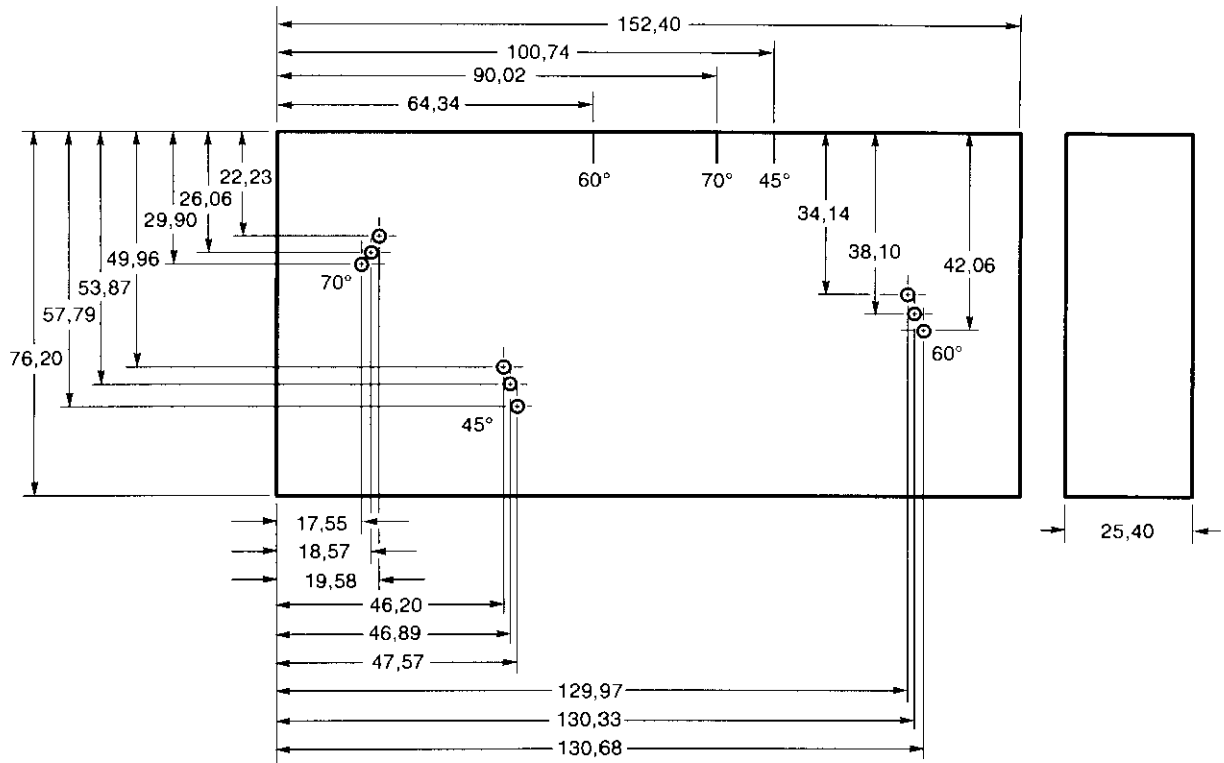
DIMENSIONES EN PULGADAS

RC - RESOLUCIÓN BLOQUE DE REFERENCIA



TIPO - BLOQUE DE REFERENCIA DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

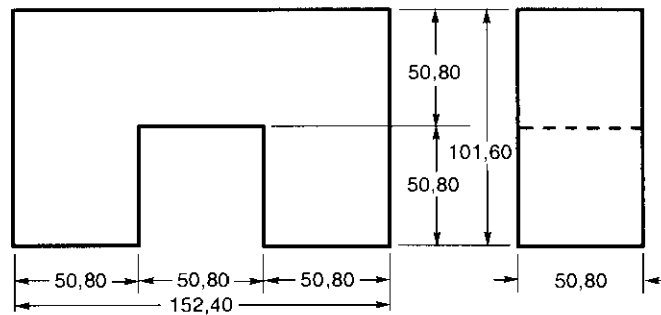
Figura 6.14—Bloques de calificación (véase 6.22.3 y 6.27)



Nota: todos los orificios tienen 1,59 mm de diámetro.

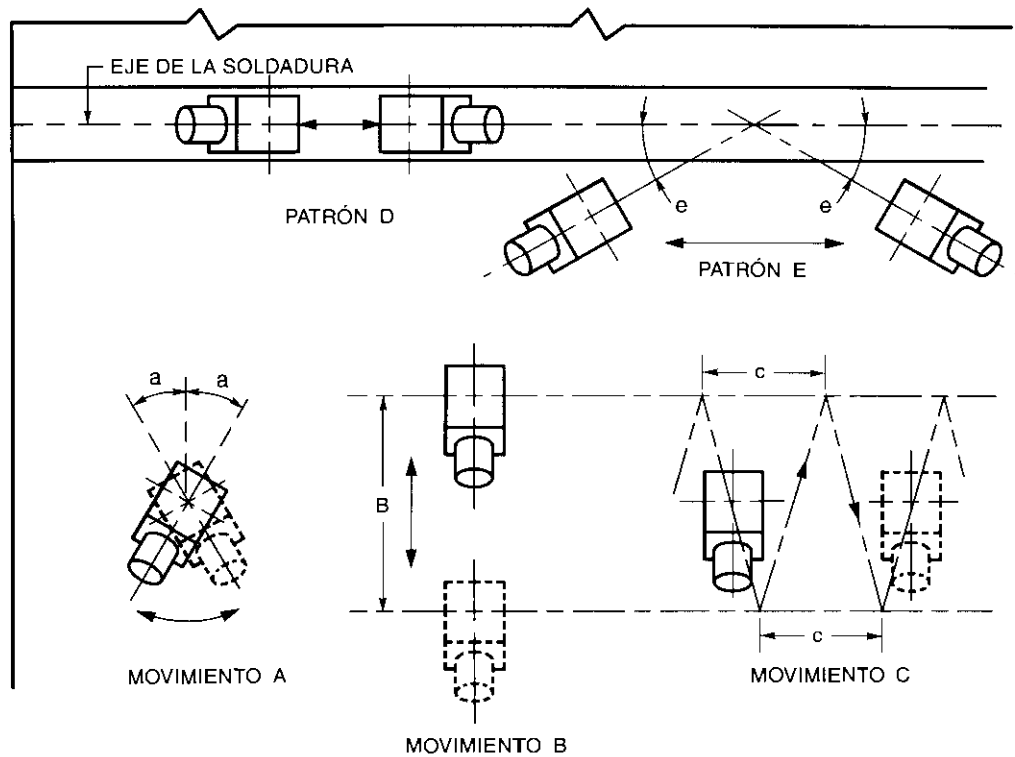
DIMENSIONES EN MILÍMETROS

RC – RESOLUCIÓN BLOQUE DE REFERENCIA



TIPO - BLOQUE DE REFERENCIA DISTANCIA Y SENSIBILIDAD

Figura 6.14 (Continuación)—Bloques de calificación (véase 6.22.3 y 6.27) (Métrico)



Notas:

1. Los patrones de ensayo son todos simétricos alrededor del eje de soldadura con la excepción del patrón D, que debe ser conducido directamente sobre el eje de la soldadura.
2. Se deben realizar ensayos de ambos lados del eje de la soldadura siempre que sea mecánicamente posible.

Figura 6.15—Vista en planta de los patrones de escaneo de UT (véase 6.30)

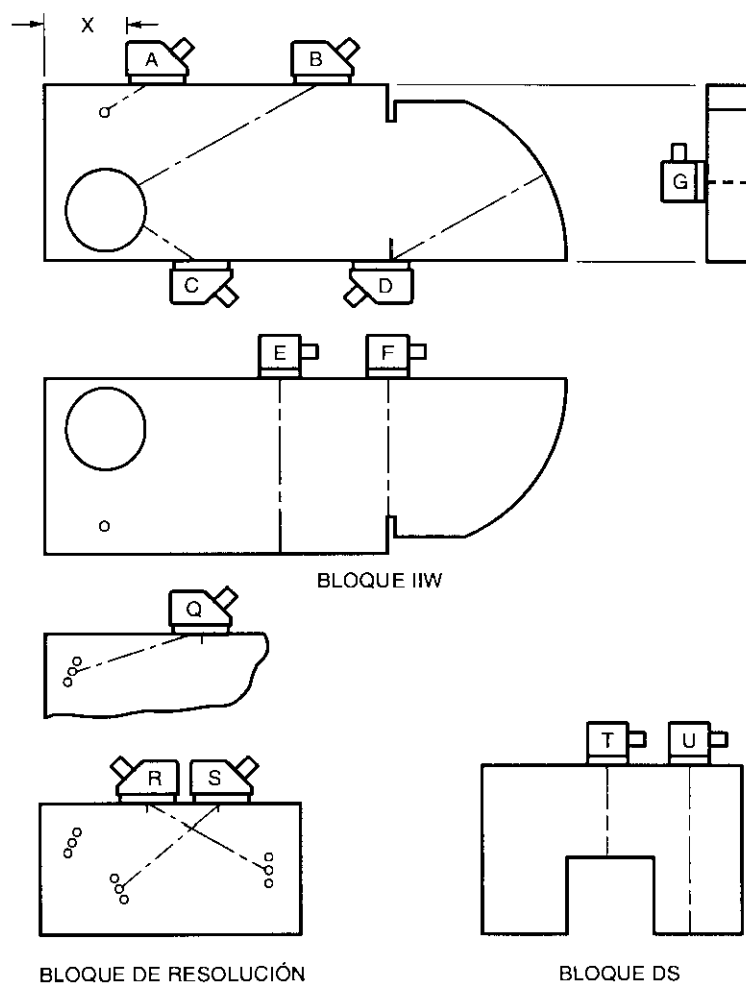


Figura 6.16—Posiciones del transductor (Típicas) (véase 6.22, 6.27 y 6.28)

7. Soldadura de pernos

7.1 Alcance

La Sección 7 contiene requisitos generales para la soldadura de pernos de acero en acero, y establece requisitos específicos:

- (1) Para propiedades mecánicas y materiales de los pernos de acero, y los requisitos para la calificación de bases de pernos.
- (2) Para ensayos de calificación de aplicaciones, calificación de operadores, ensayos de preproducción y mano de obra.
- (3) Para soldadura de pernos durante la producción, fabricación/montaje e inspección.
- (4) Para la certificación de la soldabilidad de las bases de pernos por parte del fabricante de pernos.

NOTA: Aceros aprobados; para pernos, véase 7.2.6; para metales base, véase Tabla 3.1 (Grupos I y II). Para orientación, véase C-7.6.1.

7.2 Requisitos generales

7.2.1 Diseño de pernos. Los pernos deben tener un diseño adecuado para la soldadura por arco en componentes de acero con el uso de equipo de soldadura de pernos con sincronización automática. El tipo y tamaño de los pernos debe especificarse en los planos, las especificaciones, o en disposiciones especiales. Para pernos con cabeza, véase Figura 7.1. Se pueden usar otras configuraciones de cabeza con evidencia de ensayos mecánicos y de encastado que confirme el desarrollo de resistencia completa del diseño y con la aprobación del Ingeniero.

7.2.2 Revestimientos de arco. Se debe proveer un revestimiento de arco (férula) de cerámica refractaria o de otro material adecuado en cada perno.

7.2.3 Fundente. Se debe proveer un fundente estabilizador de arco y desoxidante adecuado para la soldadura en cada perno de 5/16 pulgada [8 mm] de diámetro o más. Los pernos de menos de 5/16 pulgada [8 mm] de diámetro pueden ser provistos con o sin fundente.

7.2.4 Bases de pernos. Para que una base de perno califique como tal debe haber aprobado el ensayo descrito en 7.9. Solamente se deben usar pernos con bases de pernos calificadas. La calificación de las bases de pernos en

conformidad con 7.9 correrá por cuenta del fabricante. El revestimiento de arco usado en la producción debe ser el mismo que se usó en los ensayos de calificación o el recomendado por el fabricante. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista debe proporcionar la siguiente información:

- (1) Descripción del perno y del revestimiento de arco
- (2) Certificación por parte del fabricante de la calificación de la base de perno en conformidad con 7.9.
- (3) Información de los ensayos de calificación

7.2.5 Acabado de pernos

7.2.5.1 El acabado de pernos debe ser producido por estampado de cabezas, roscado o maquinado. Los pernos acabados deben ser de calidad y condición uniforme, no deben tener defectos que puedan afectar la calidad de la soldadura, la idoneidad para la aplicación que se pretende, o el ajuste de los pernos en los revestimientos de arcos de cerámica (férulas) especificados. Dichos defectos incluyen traslapes, aletas, costuras, grietas, distorsiones, curvas, defectos de rosca, discontinuidades, o materiales extraños (véase 7.4.1 y 7.4.2).

7.2.5.2 Los pernos con cabeza están sujetos a grietas o rupturas en la cabeza del perno lo cual es una interrupción abrupta de la periferia causada por la separación radial del metal que se extiende desde la cabeza hacia adentro del vástago del perno. No es necesario que los pernos sean rechazados si dichas grietas o rupturas no exceden la mitad de la distancia desde la cabeza del perno al vástago, según se determine mediante la inspección visual (véase Figura C-7.1.) Los pernos deben ser rechazados si las grietas o rupturas son de tal cantidad o ancho que no permiten que la cabeza se ajuste al mandril de la soldadora o producen la formación de arcos entre la cabeza del perno y el mandril, afectando la vida útil del mandril o la calidad de la soldadura.

7.2.6 Material de los pernos. Los pernos deben estar hechos de barras estiradas en frío conforme a los requisitos de la Norma ASTM A29/A29M-12e1, *Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought* (Especificación para requisitos generales de barras de acero, al carbono y de aleación, forjado en caliente), Grados 1010 a 1020, in-

cluyendo acero calmado o semicalmado con desoxidación de aluminio o silicio.

7.2.7 Espesor del metal base. Cuando se suelda directamente a un metal base, el metal base no debe tener un espesor inferior a 1/3 del diámetro del perno. Cuando se suelda mediante encofrado, el diámetro del perno no debe ser mayor que 2,5 veces el espesor del material de base. Los pernos nunca deben soldarse mediante más de dos láminas de encofrado de metal.

7.3 Requisitos mecánicos

7.3.1 Requisitos mecánicos de la norma. El fabricante tiene la opción de determinar las propiedades mecánicas de los pernos realizando ensayos en el acero después del acabado en frío o en los pernos acabados de diámetro completo. En ambos casos, los pernos deben cumplir las propiedades estándar que se indican en la Tabla 7.1.

7.3.2 Ensayos. Las propiedades mecánicas deben ser determinadas en conformidad con las secciones aplicables de la Norma ASTM A370, *Mechanical Testing of Steel Products* (Ensayos mecánicos para productos de acero). Se usa un dispositivo de ensayo típico, similar al que se muestra en la Figura 7.2.

7.3.3 Solicitud del Ingeniero. Cuando el Ingeniero lo solicite, el Contratista debe proporcionar:

(1) La certificación del fabricante de que los pernos, tal como fueron entregados, cumplen los requisitos aplicables de 7.2 y 7.3.

(2) Copias certificadas de los informes de ensayos del fabricante de pernos que cubran el último conjunto completo de ensayos mecánicos de control de calidad en la fábrica, según los requisitos de 7.3 para cada diámetro entregado.

(3) Informes de ensayo de material certificado (CMTR) del proveedor de acero indicando el diámetro, las propiedades químicas y el grado de cada número de colada entregada.

7.3.4 Ausencia de ensayos de control de calidad. Cuando no se disponga de ensayos de calidad, el Contratista debe proporcionar un informe de ensayo químico conforme a 7.2.6 y un informe de ensayo mecánico conforme a los requisitos de 7.3 para cada número de lote. Los pernos que no pueden ser identificados ni rastreados no deben ser utilizados.

7.3.5 Pernos adicionales. El Contratista tiene la responsabilidad de proporcionar pernos adicionales de cada tipo y tamaño, a solicitud del Ingeniero, para comprobar los requisitos establecidos en 7.2 y 7.3. Los ensayos correrán por cuenta del Propietario.

7.4 Mano de obra/Fabricación

7.4.1 Limpieza. Al momento de soldar, los pernos no deben estar oxidados, tener marcas de óxido, escamas,

aceite, humedad ni otros materiales dañinos que pudieran tener un efecto adverso para la soldadura.

7.4.2 Restricciones de recubrimiento. La base del perno no debe estar pintada, galvanizada ni enchapada con cadmio antes de la soldadura.

7.4.3 Preparación del metal base. Las áreas donde se soldarán los pernos no deben tener escamas, óxido, humedad, pintura ni otros materiales perjudiciales en la medida necesaria para obtener soldaduras satisfactorias y prevenir vapores inaceptables. Dichas áreas pueden ser limpiadas con cepillo de alambre o mediante raspado, punzado o esmerilado.

7.4.4 Humedad. Los revestimientos de arcos o férulas deben mantenerse secos. Todo revestimiento de arco que muestre indicios de humedad en la superficie por rocío o lluvia deben ser secados mediante horneado a 250 °F [120 °C] durante dos horas antes de usar.

7.4.5 Requisitos de espaciado. Los espaciamientos longitudinales y laterales de la conexión de cizallamiento de pernos (tipo B) pueden variar en un máximo de 1 pulg. [25 mm] de la ubicación indicada en los planos. La distancia mínima desde el borde de una base de perno al borde del ala debe ser el diámetro del perno más 1/8 pulg. [3 mm], pero preferentemente no menos de 1-1/2 pulg. [40 mm].

7.4.6 Retiro de los revestimientos de arco. Después de la soldadura, se deben soltar los revestimientos de arco de los pernos que se van a incrustar en concreto, y, cuando sea posible, de todos los demás pernos.

7.4.7 Criterios de aceptación. Los pernos, después de la soldadura, no deben tener discontinuidades ni sustancias que pudieran interferir con la función prevista y deben tener una rebaba completa de 360°. No obstante, es aceptable la falta de fusión sobre las patas de la rebaba y las pequeñas fisuras de contracción. Los perfiles de soldadura en filete mostrados en la Figura 5.4 no deben aplicarse a la rebaba de soldaduras de pernos con sincronización automática.

7.5 Técnica

7.5.1 Soldadura automática mecanizada. Los pernos deben ser soldados con equipo de soldadura de pernos con sincronización automática conectada a una fuente adecuada de electrodo negativo de corriente directa. El voltaje, la corriente, el tiempo de soldadura y la configuración de la pistola para elevación e inmersión deben estar fijados en la configuración óptima, en base a la experiencia anterior, las recomendaciones del fabricante de pernos y del equipo, o ambos. También se debe usar AWS C5.4, *Recommended Practices for Stud Welding* (Prácticas recomendadas para la soldadura de pernos) como guía técnica.

7.5.2 Pistolas múltiples para soldadura. Si se van a operar dos o más pistolas de soldadura de pernos desde la misma fuente de alimentación, las pistolas deben estar interconectadas de modo que solamente pueda operar una pistola por vez, para que la fuente de energía se haya re-

cuperado totalmente tras efectuar una soldadura antes de comenzar otra soldadura.

7.5.3 Movimiento de la pistola de soldadura. Mientras está en funcionamiento, la pistola de soldadura debe mantenerse fija en el lugar sin moverla hasta que el metal de la soldadura se haya solidificado.

7.5.4 Requisitos de temperatura ambiente y del metal base. La soldadura no debe realizarse cuando la temperatura del metal base sea inferior a 0 °F [-18 °C] o cuando la superficie esté húmeda o expuesta a la lluvia o a la nieve. Cuando la temperatura del metal base sea inferior a 32 °F [0 °C], se debe realizar el ensayo de un perno adicional cada 100 pernos soldados con los métodos descritos en 7.7.1.3 y 7.7.1.4, excepto que el ángulo del ensayo deberá ser de aproximadamente 15°. Esto es además del ensayo que debe realizarse de los dos primeros pernos al comienzo de cada nuevo período de producción o cambio de la configuración. La configuración incluye pistola de pernos, fuente de alimentación, diámetro del perno, elevación e inmersión de la pistola, longitud total del hilo de soldadura, y cambios mayores de $\pm 5\%$ en la corriente (amperaje) y en el tiempo.

7.5.5 Opción de soldadura en filete FCAW, GMAW, SMAW. A opción del Contratista, los pernos pueden ser soldados usando procesos precalificados de FCAW, GMAW, o SMAW, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

7.5.5.1 Superficies. Las superficies que se soldarán y las superficies adyacentes a una soldadura deben estar libres de escamas sueltas o gruesas, escoria, óxido, humedad, grasa o cualquier otro material extraño que pudiera impedir una soldadura correcta o pudiera producir vapores inaceptables.

7.5.5.2 Extremo del perno. Para soldaduras en filete, el extremo del perno también debe estar limpio.

7.5.5.3 Ajuste del perno (soldaduras en filete). Para soldaduras en filete, se debe preparar la base del perno de modo que la base del perno se ajuste al metal base.

7.5.5.4 Tamaño mínimo de las soldaduras en filete. Cuando se deban usar soldaduras en filete, el tamaño mínimo debe ser mayor a los requeridos en la Tabla 5.7 o en la Tabla 7.2.

7.5.5.5 Requisitos de precalentamiento. Se debe precalentar el metal base al que se soldarán los pernos en conformidad con los requisitos de la Tabla 3.3.

7.5.5.6 Electrodo de SMAW. La soldadura por SMAW debe realizarse usando electrodos de bajo hidrógeno de 5/32 pulg. o 3/16 pulg. [4,0 mm o 4,8 mm] de diámetro, excepto que se pueden usar electrodos de menor diámetro en pernos de 7/16 pulg. [11,1 mm] de diámetro o menos para las soldaduras fuera de posición.

7.5.5.7 Inspección visual. Todos los pernos soldados por FCAW, GMAW y SMAW deben ser inspeccionados visualmente en conformidad con 6.9.

7.6 Requisitos de calificación de aplicación de pernos

7.6.1 Propósito. Los pernos aplicados en taller o en campo en posición plana (horizontal) a una superficie plana y horizontal deben ser considerados precalificados en virtud de los ensayos de las bases de pernos del fabricante (véase 7.9), y no se requiere ningún otro ensayo de aplicación. El límite de la posición plana se define como una inclinación de 0°–15° en la superficie en la que se aplica el perno.

Los siguientes son ejemplos de aplicaciones de pernos que requieren ensayos de esta sección:

(1) Pernos que se aplican a superficies no planas o a una superficie plana en posición vertical o sobrecabeza.

(2) Pernos que se sueldan mediante encofrado. Los ensayos deben ser con materiales representativos de la condición a usarse en la construcción.

(3) Pernos soldados a aceros diferentes a los del Grupo I o II indicados en la Tabla 3.1.

7.6.2 Responsables de los ensayos. El Contratista será responsable de la realización de dichos ensayos. Los ensayos pueden ser realizados por el Contratista, el fabricante de pernos, o cualquier otra agencia de ensayos que resulte satisfactoria para todas las partes involucradas.

7.6.3 Preparación de probetas

7.6.3.1 Probetas de ensayo. Para calificar aplicaciones que involucren los materiales indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II: las probetas pueden ser preparadas usando materiales base de acero de ASTM A36 o materiales base indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II.

7.6.3.2 Registro de la información. Para calificar aplicaciones que involucren materiales distintos de los indicados en la Tabla 3.1, Grupos I y II, el material base de la probeta de ensayo debe cumplir las especificaciones químicas, físicas y de grado que se usarán en la producción.

7.6.4 Cantidad de probetas. Se deben soldar diez probetas en forma consecutiva usando los procedimientos y las configuraciones recomendados para cada diámetro, posición y geometría de superficie.

7.6.5 Ensayo requerido. Se debe realizar el ensayo de las diez probetas usando uno o más de los siguientes métodos: doblado, torsión o tracción.

7.6.6 Métodos de ensayo

7.6.6.1 Ensayo de doblado. Se debe realizar el ensayo de los pernos doblando 30° en direcciones opuestas alternadamente en un dispositivo de ensayo típico, tal y como se muestra en la Figura 7.4 hasta que ocurra la falla. Alternativamente, los pernos se pueden doblar 90° de sus ejes originales. Para doblar 90° los pernos tipo C, los pernos deben doblarse sobre una barra de 4 veces el diámetro del perno. En ambos casos, se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si los pernos se doblan 90° y la fractura ocurre en la placa o en el material de forma o en el vástago del perno pero no en la soldadura.

7.6.6.2 Ensayo de torsión. Se debe realizar el ensayo de torsión de los pernos usando una disposición de ensayo cumpla considerablemente con la Figura 7.3. Se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si todas las probetas de ensayo son torsionadas hasta su destrucción sin fallo en la soldadura.

7.6.6.3 Ensayo de tracción. Se debe realizar el ensayo de tracción del perno hasta su destrucción usando cualquier máquina capaz de ejercer la fuerza requerida. Se debe considerar que la aplicación del perno es calificada si las probetas de ensayo no fallan en la soldadura.

7.6.7 Información de ensayos de calificación para la aplicación. La información de ensayos de calificación para la aplicación debe incluir lo siguiente:

- (1) Planos que muestren los perfiles y las dimensiones de los pernos y de los revestimientos de arco.
- (2) Una descripción completa del perno y de los materiales base, y descripción (número de parte) del revestimiento de arco.
- (3) Posición de soldadura y configuraciones (corriente, tiempo).
- (4) Un registro, el cual se realizará para cada calificación y estará disponible para cada contrato. En el Anexo M, Formulario M-7 se puede encontrar el formulario sugerido de WPS/PQR para aplicación no precalificada.

7.7 Control de producción

7.7.1 Ensayos preproducción

7.7.1.1 Comienzo de turno. Antes de la producción de soldaduras con una configuración particular y con un tamaño y tipo específico de perno, y al comienzo de la producción de cada día o de cada turno, se debe realizar el ensayo de los dos primeros pernos soldados. La técnica del perno puede realizarse en un material similar en espesor y en propiedades al miembro de producción. Si no se dispone del espesor real de producción, el espesor puede variar $\pm 25\%$. Todos los pernos de ensayo deben ser soldados en la misma posición general que la requerida por el miembro de producción (plana, vertical, o de sobrecabeza).

7.7.1.2 Opción de miembro de producción. En lugar de ser soldados en un material separado, los pernos de ensayo pueden ser soldados en el miembro de producción, excepto cuando 7.7.1.5 requiera placas separadas.

7.7.1.3 Requisito de rebaba. Los pernos deben exhibir una rebaba completa de 360° sin evidencia de socavación en la base del perno.

7.7.1.4 Ensayo de doblado. Además del examen visual, el ensayo debe incluir el doblado de los pernos después de dejarlos enfriar, a un ángulo de aproximadamente 30° de sus ejes originales golpeando los pernos con un martillo sobre el extremo no soldado o colocando un tubo u otro dispositivo hueco adecuado sobre el perno y doblando el perno en forma manual o mecánica. A temperaturas inferiores a 50°F [10°C], el doblado se realizará preferentemente mediante la aplicación lenta y constante de carga. Para pernos roscados, el ensayo de torsión de la Figura 7.3 será sustituido por el ensayo de doblado.

7.7.1.5 Evento de fallo. Si en el examen visual los pernos del ensayo no exhiben una rebaba de 360° o, si al realizar el ensayo, ocurre una falla en la zona de soldadura de alguno de los dos pernos, el procedimiento debe ser corregido, y se deben soldar dos pernos más en un material separado o en el miembro de producción y se debe realizar el ensayo en conformidad con lo establecido en 7.7.1.3 y 7.7.1.4. Si alguno de los segundos dos pernos falla, se seguirán realizando soldaduras adicionales en placas separadas hasta que el ensayo de dos pernos consecutivos sea satisfactorio antes de soldar ningún otro perno de producción al miembro.

7.7.2 Soldadura de producción. Después de comenzar la soldadura de producción, si se realiza algún cambio en la configuración de soldadura, como se establece en 7.7.1, se deben realizar los ensayos descritos en 7.7.1.3 y en 7.7.1.4 antes de retomar la soldadura de producción.

7.7.3 Reparaciones de pernos. En la producción, los pernos en los que no se obtenga una rebaba completa de 360° , a opción del Contratista, pueden ser reparados agregando una soldadura en filete mínima según los requisitos de 7.5.5 en lugar de la rebaba faltante. La soldadura reparada tendrá una extensión de al menos $3/8$ pulg. [10 mm] a partir del borde de cada discontinuidad que se está reparando.

7.7.4 Calificación del operario. El ensayo de preproducción requerido por 7.7.1, en caso de ser satisfactorio, también servirá para calificar al operario de soldadura de pernos. Antes de que un operario que no participó en la configuración de preproducción de 7.7.1, comience a soldar pernos de producción, se debe realizar un ensayo de los dos primeros pernos soldados por el operario en conformidad con lo dispuesto en 7.7.1.3 y 7.7.1.4. El operario recién puede comenzar a soldar pernos de producción después de haber realizado el ensayo de dos pernos soldados con resultado satisfactorio.

7.7.5 Reparación del área de extracción. Si se ha extraído un perno inaceptable de un componente sujeto a resistencias de tracción, el área del cual se extrajo el perno debe alisarse y quedar al ras. En áreas en donde durante la extracción del perno se salió el metal base, se deberá usar SMAW con electrodos de bajo hidrógeno en conformidad con los requisitos de este código para llenar los bolsillos, y la superficie de soldadura debe quedar al ras.

En áreas de compresión de los miembros, si los fallos de pernos se restringen a los vástagos o a las zonas de fusión de los pernos, se puede soldar un nuevo perno adyacente a cada área inaceptable en lugar de realizar la reparación y la sustitución del área existente de soldadura (véase 7.4.5). Si al extraer el perno se arranca metal base, las disposiciones para la reparación serán las mismas que para áreas de tracción excepto cuando la profundidad de la discontinuidad sea menor a $1/8$ pulg. [3 mm] o un 7% del espesor del metal base, la discontinuidad puede ser esmerilada en lugar de rellenarla con metal de soldadura. Cuando se deba sustituir un perno, la reparación del metal base debe realizarse antes de soldar el perno de sustitución. Para realizar el ensayo de los pernos de sustitución (salvo para los tipo roscado que deben ser sometidos a ensayo de torsión), los pernos deben ser doblados a un ángulo de aproximadamente 15° de sus ejes originales. Las áreas de componentes expuestos a la vista en estructuras finalizadas donde se extrajo un perno deben alisarse y quedar al ras.

7.8 Requisitos de inspección de fabricación y verificación

7.8.1 Inspección visual. Si en la inspección visual se observa un perno que no muestra una rebaba completa de 360° o un perno que ha sido reparado por soldadura, dicho perno deberá ser doblado a un ángulo de aproximadamente 15° de su eje original. Los pernos roscados deben ser sometidos al ensayo de torsión. El método del doblado debe cumplir con lo establecido en 7.7.1.4. La dirección de doblado de los pernos que tienen una rebaba menor de 360° debe ser opuesta a la porción faltante de la rebaba. El ensayo de torsión debe cumplir con la Figura 7.3.

7.8.2 Ensayos adicionales. Cuando las condiciones lo ameriten, el Inspector de Verificación podrá seleccionar una cantidad razonable de pernos adicionales a fin de someterlos a los ensayos descritos en 7.8.1.

7.8.3 Criterios de aceptación de pernos doblados. La conexión de cizallamiento de pernos doblados (Tipo B) y los anclajes deformados (Tipo C) y demás pernos que se van a incrustar en concreto (Tipo A) que no muestran indicios de fallo serán aceptables para su uso y se dejarán en la posición doblada. Cuando los documentos del contrato exijan que los pernos doblados sean enderezados, la operación de enderezamiento se realizará sin calor, y antes de la finalización de la operación de soldadura de pernos de producción.

7.8.4 Criterios de aceptación del ensayo de torsión. Los pernos roscados (Tipo A) sometidos a ensayo de torsión al nivel de torsión de prueba de carga de la Figura 7.3 que no muestran indicios de fallo serán aceptables para su uso.

7.8.5 Acción correctiva. El Contratista deberá reparar o sustituir los pernos soldados que no cumplan los requisitos del código. El Contratista deberá revisar el procedimiento de soldadura como sea necesario para asegurar que toda soldadura de pernos subsiguiente cumpla con los requisitos del código.

7.8.6 Opción del Propietario. A opción y cuenta del Propietario, se le podría solicitar al Contratista, en cualquier momento, que presente pernos del tipo de los usados conforme al contrato para un control de calificación en conformidad con los procedimientos descritos en 7.9.

7.9 Requisitos de calificación de bases de perno del fabricante

7.9.1 Propósito. El propósito de estos requisitos es prescribir los ensayos para la certificación por parte del fabricante de pernos de la soldabilidad de las bases de pernos.

7.9.2 Responsable de los ensayos. El fabricante de pernos será responsable de la realización del ensayo de calificación. Los ensayos pueden ser realizados por una agencia de ensayos que resulte satisfactoria para el Ingeniero. La agencia que realice los ensayos debe presentar un informe certificado al fabricante de pernos conte-

niendo los procedimientos y los resultados de todos los ensayos incluyendo la información descrita en 7.9.10.

7.9.3 Alcance de la calificación. La calificación de una base de perno constituirá la calificación de las bases de pernos con la misma geometría, fundente y revestimiento de arco, que tengan el mismo diámetro y diámetros inferiores de menos de 1/8 pulg. [3 mm]. Una base de perno calificada con un grado aprobado de acero ASTM A29 y que cumpla con las propiedades mecánicas normales (véase 7.3.1) constituirá la calificación de todos los demás grados aprobados de acero ASTM A29 (véase 7.2.6), siempre que se cumplan todas las demás disposiciones indicadas aquí.

7.9.4 Duración de la calificación. Un tamaño de base de perno con revestimiento de arco, una vez que ha sido calificado, se considerará calificado hasta que el fabricante de pernos realice algún cambio a la geometría, al material, al fundente, o al revestimiento de arco del perno que afecte las características de soldadura.

7.9.5 Preparación de probetas

7.9.5.1 Materiales. Las probetas de ensayo se prepararán soldando pernos de soldadura representativos a placas adecuadas de probeta de acero ASTM A36 o de cualquiera de los demás materiales indicados en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9. Para realizar el ensayo de calificación de las bases de pernos que se van a soldar mediante encofrado de metal, el ensayo se debe hacer con soldadura mediante un encofrado de metal representativo del que se usará en la construcción, galvanizado según la designación G90 de recubrimiento según norma ASTM A653 para un espesor de encofrado o G60 para dos láminas de encofrado. Cuando los pernos se usen para soldadura mediante encofrado, el ensayo de calificación de las bases de pernos debe incluir un encofrado representativo del que se va a usar en la construcción. La soldadura debe realizarse en la posición plana (superficie de placa horizontal). Los ensayos de pernos roscados se realizarán en blancos (pernos sin rosca).

7.9.5.2 Equipo de soldadura. Los pernos deben soldarse con fuente de alimentación, pistola de soldadura y equipo de sincronización automática según la recomendación del fabricante de pernos. El voltaje, la corriente y el tiempo de soldadura (véase 7.9.6) se medirá y documentará para cada probeta. La elevación e inmersión se fijará en la configuración óptima recomendada por el fabricante.

7.9.6 Cantidad de probetas de ensayo

7.9.6.1 Corriente alta. Para pernos con diámetro de 7/8 pulg. [22 mm] o menos, se soldarán 30 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente 10% por encima de la óptima. Para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm], se soldarán 10 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante. El tiempo y la corriente óptimos será el punto medio del rango normalmente recomendado por el fabricante para soldaduras de producción.

7.9.6.2 Corriente baja. Para pernos con diámetro de 7/8 pulg. [22 mm] o menos, se soldarán 30 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente 10% por debajo de la óptima. Para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm], se

soldarán 10 probetas de ensayo en forma consecutiva con tiempo óptimo constante, pero con corriente a 5% por debajo de la óptima.

7.9.6.3 Encofrado de metal. Para pernos que se van a soldar mediante encofrado de metal, el rango de diámetros de base de soldadura debe calificarse soldando 10 pernos a corriente y tiempo óptimos según la recomendación del fabricante en conformidad con lo siguiente:

(1) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante un encofrado de un espesor de calibre 16, con una designación G90 de recubrimiento.

(2) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante dos láminas de encofrado de calibre 16, con una designación G60 de recubrimiento.

(3) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante un encofrado G60 de un espesor de calibre 18 encima de un encofrado G60 de un espesor de calibre 16.

(4) Los diámetros máximos y mínimos soldados mediante dos láminas de encofrado de calibre 18, ambas con una designación G60 de recubrimiento.

El rango para diámetros desde máximo a mínimo soldados mediante dos láminas de encofrado de metal de calibre 18 con galvanización G60 será calificado para soldadura mediante una o dos láminas de encofrado de metal de calibre 18 o menos de espesor.

7.9.7 Ensayos

7.9.7.1 Ensayo de tracción. Diez de las probetas soldadas en conformidad con 7.9.6.1 y diez soldadas en conformidad con 7.9.6.2 serán sometidas a un ensayo de tracción en un dispositivo similar al indicado en la Figura 7.2, excepto que los pernos sin cabeza pueden ser sujetados por el extremo sin soldar en las mordazas de la máquina usada para el ensayo de tracción. Una base de perno se considerará calificada si todas las probetas de ensayo tienen una resistencia a la tracción igual o superior a la mínima descrita en 7.3.1.

7.9.7.2 Ensayos de doblado (pernos de 7/8 pulg. [22 mm] o menos de diámetro). Veinte de las probetas soldadas en conformidad con 7.9.6.1 y veinte soldadas en conformidad con 7.9.6.2 serán sometidas a un ensayo de doblado, doblando las probetas 30° del eje original en direcciones opuestas alternadamente hasta que ocurra la falla. Los pernos deberán doblarse en un dispositivo de ensayo de doblado como el que se muestra en la Figura 7.4, excepto que los pernos de menos de 1/2 pulgada [12 mm] pueden doblarse usando un dispositivo como el que se muestra en la Figura 7.5. Una base de perno se considerará calificada si, en todas las probetas de ensayo, la fractura ocurre en el material de la placa o en el vástago del perno pero no en la soldadura ni en la HAZ. Todas las probetas de ensayo para pernos con diámetro de más de 7/8 pulg. [22 mm] serán sometidas a ensayos de tracción.

7.9.7.3 Ensayos de soldadura mediante encofrado. Se debe realizar el ensayo de todas las 10 probetas de soldaduras de pernos mediante encofrado doblando 30° en direcciones opuestas en un dispositivo de ensayo de doblado como se muestra en la Figura 7.4, o sometiendo a ensayo de doblado a 90° del eje original o a ensayo de tracción hasta la destrucción en una máquina capaz de ejercer la fuerza requerida. Cualquiera sea el método usado, el rango de diámetros de pernos de máximo a mínimo se considerará como bases de soldadura calificada para soldadura mediante encofrado si, en todas las probetas de ensayo, la fractura ocurre en el material de la placa o en el vástago del perno pero no en la soldadura ni en la HAZ.

7.9.8 Repeticiones de ensayos. Si el fallo ocurre en una soldadura o en la HAZ en cualquiera de los grupos del ensayo de doblado descrito en 7.9.7.2 o a una resistencia a la tracción menor a la mínima especificada en cualquiera de los grupos de tracción en 7.9.7.1, se debe preparar y realizar el ensayo a un nuevo grupo de ensayo (descrito en 7.9.6.1 o 7.9.6.2, según corresponda). Si los fallos se repiten, no se aprobará la calificación de la base de perno.

7.9.9 Aceptación. Para que la combinación de la base de perno y el revestimiento de arco de un fabricante sea calificada, cada perno de cada grupo de 30 pernos deberá, mediante ensayo o repetición de ensayo, cumplir con los requisitos descritos en 7.9.7. La calificación de un diámetro dado de una base de perno será considerada como la calificación de las bases de pernos con el mismo diámetro nominal (véase 7.9.3, geometría, material, fundente y revestimiento de arco).

7.9.10 Información de los ensayos de calificación por parte del fabricante. La información de ensayos debe incluir lo siguiente:

(1) Planos que muestren los perfiles y las dimensiones con tolerancias de los pernos, los revestimientos de arco y el fundente;

(2) Descripción completa de los materiales usados en los pernos, incluyendo la cantidad y el tipo de fundente, y descripción de los revestimientos de arco; y

(3) Resultados certificados de los ensayos.

Tabla 7.1
Requisitos de propiedades mecánicas
para pernos (véase 7.3.1)

		Tipo A ^a	Tipo B ^b	Tipo C ^c
Resistencia a la tracción	psi mín.	61 000	65 000	80 000
	MPa mín.	420	450	552
Carga de fluencia	psi mín.	49 000	51 000	—
(desviación del 0,2%)	MPa mín.	340	350	—
(desviación del 0,5%)	psi mín.	—	—	70 000
	MPa mín.	—	—	485
Alargamiento	% en mín. de 2	—	—	—
	pulgadas	17%	20%	—
	% en mín. de diámetro x5	14%	15%	—
Reducción del área	% mín.	50%	50%	—

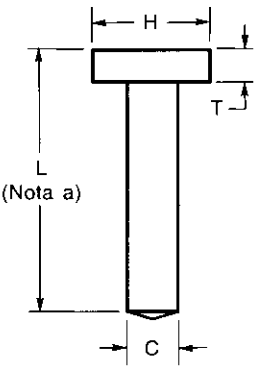
^a Los pernos Tipo A serán de propósito general de cualquier tipo y tamaño para otros propósitos que no sean la transferencia de cizallamiento en el diseño y construcción de haz compuesto.

^b Los pernos Tipo B serán pernos con cabeza, doblados, o de otra configuración en 3/8 pulg. [10 mm], 1/2 pulg. [12 mm], 5/8 pulg. [16 mm], 3/4 pulgada [20 mm], 7/8 pulg. [22 mm], y 1 pulg. [25 mm] de diámetro que se usen como componente esencial en el diseño del haz y en el diseño del anclaje en concreto.

^c Los pernos Tipo C serán barras de acero deformadas en frío y fabricadas en conformidad con la especificación ASTM A496 con un diámetro nominal equivalente al diámetro de un alambre simple del mismo peso por pie que el alambre deformado. ASTM A496 especifica un diámetro máximo de 0,628 pulg. [16 mm]. Toda barra proporcionada por encima de ese diámetro debe tener las mismas características físicas respecto de las deformaciones que requiere ASTM A496.

Tabla 7.2
Tamaño mínimo de la soldadura en filete
para pernos de diámetro pequeño
(véase 7.5.5.4)

Diámetro del perno		tamaño mínimo de filete	
pulgadas	mm	pulgadas	mm
1/4 a 7/16	6 a 11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4, 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10



^a Longitud de fabricación antes de la soldadura.

Dimensiones normales, pulgadas				
Diámetro del vástago (C)	Tolerancias de longitud (L)	Diámetro de la cabeza (H)	Altura mínima de la cabeza (T)	
3/8	+0,010 -0,010	±1/16	3/4 ± 1/64	9/32
1/2	+0,010 -0,010	±1/16	1 ± 1/64	9/32
5/8	+0,010 -0,010	±1/16	1-1/4 ± 1/64	9/32
3/4	+0,015 -0,015	±1/16	1-1/4 ± 1/64	3/8
7/8	+0,015 -0,015	±1/16	1-3/8 ± 1/64	3/8
1	+0,020 -0,020	±1/16	1-5/8 ± 1/64	1/2

Dimensiones normales, mm				
10	+0,25 -0,25	± 1,6	19 ± 0,40	7,1
13	+0,25 -0,25	± 1,6	25 ± 0,40	7,1
16	+0,25 -0,25	± 1,6	32 ± 0,40	7,1
19	+0,40 -0,40	± 1,6	32 ± 0,40	9,5
22	+0,40 -0,40	± 1,6	35 ± 0,40	9,5
25	+0,40 -0,40	± 1,6	41 ± 0,40	12,7

Figura 7.1—Dimensiones y tolerancias de pernos con cabeza de tipo estándar (véase 7.2.1)

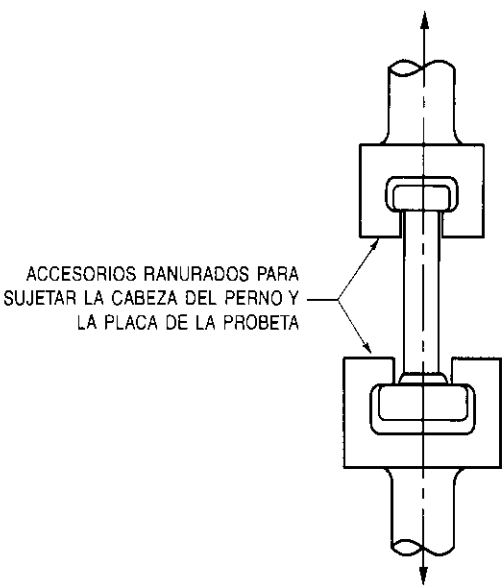
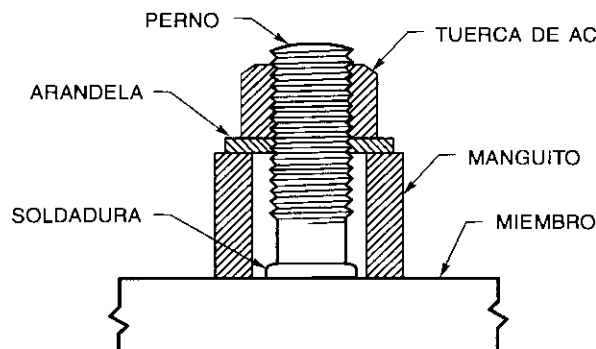


Figura 7.2—Dispositivo típico de ensayo de tracción (véase 7.3.2)



Nota: Los detalles de las dimensiones del dispositivo de ensayo deben adecuarse al tamaño del perno. Las rosas del perno deben estar limpias y sin otro lubricante que no sea el lubricante residual del corte/la formación en frío en la condición “como se recibió” del fabricante.

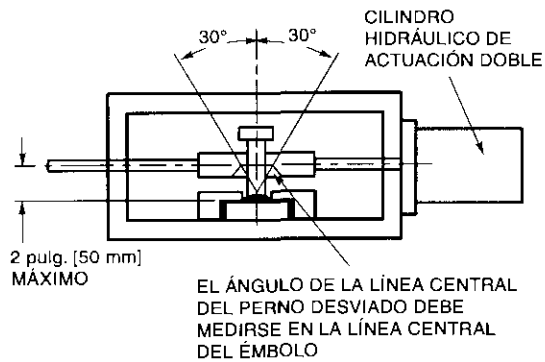
Torsión requerida de prueba para los ensayos de pernos roscados ^a								
Diámetro nominal		M.E.T.A. ^b		Rosca		Serie	Torsión de prueba para ensayo ^c	
pulgadas	mm	pulgadas ²	mm ²	no./pulgadas	emisión-mm		libras-pies	Joule
0,236	M6	0,031	20,1		1,0	ISO-724	5,4	7,4
1/4	6,4	0,036	23,2	28		UNF	6,6	9,0
		0,032	20,6	20		UNC	5,9	7,8
5/16	7,9	0,058	37,4	24		UNF	13,3	18,1
		0,052	33,5	18		UNC	11,9	16,1
0,315	M8	0,057	36,6		1,25	ISO-724	13,2	17,9
3/8	9,5	0,088	56,8	24		UNF	24,3	32,9
		0,078	50,3	16		UNC	21,5	29,2
0,394	M10	0,090	58,0		1,5	ISO-724	26,2	35,5
7/16	11,1	0,118	76,1	20		UNF	37,9	51,4
		0,106	68,4	14		UNC	34,8	47,2
0,472	M12	0,131	84,3		1,75	ISO-724	45,7	61,9
1/2	12,7	0,160	103,2	20		UNF	58,8	79,7
		0,142	91,6	13		UNC	52,2	70,8
0,551	M14	0,178	115,0		2,0	ISO-724	72,7	98,5
9/16	14,3	0,203	131,0	18		UNF	83,9	113,8
		0,182	117,4	12		UNC	75,2	102,0
5/8	15,9	0,255	164,5	18		UNF	117,1	158,8
		0,226	145,8	11		UNC	103,8	140,8
0,630	M16	0,243	157,0		2,0	ISO-724	113,4	153,7
3/4	19,1	0,372	240,0	16		UNF	205,0	278,0
		0,334	215,5	10		UNC	184,1	249,7
0,787	M20	0,380	245,0		2,5	ISO-724	221,2	299,9
0,866	M22	0,470	303,0		2,5	ISO-724	300,9	408,0
7/8	22,2	0,509	328,4	14		UNF	327,3	443,9
		0,462	298,1	9		UNC	297,1	402,9
0,945	M24	0,547	353,0		3,0	ISO-724	382,4	518,5
1	25,4	0,678	437,4	12		UNF	498,3	675,7
		0,606	391,0	8		UNC	445,4	604,0

^a Las cifras de torsión se basan en pernos roscados Tipo A con una resistencia de fluencia mínima de 49 000 psi [340 MPa].

^b M.E.T.A. (promedio efectivo de área de rosca) se define como el área de resistencia efectiva en base a un diámetro promedio tomado aproximadamente del punto medio entre el diámetro menor y el diámetro de emisión.

^c Los valores están calculados en una torsión de prueba de ensayo multiplicada por 0,9 del diámetro nominal del perno multiplicado por 0,2 del factor de coeficiente de fricción multiplicado por el promedio efectivo de área de rosca multiplicado por la resistencia de fluencia mínima para los pernos no enchapados en la condición “como se recibió” del fabricante. El enchapado, los recubrimientos, o los depósitos de aceite/grasa modificarán el coeficiente de fricción.

Figura 7.3—Disposición de ensayo de torsión y tabla de ensayos de torsión (véase 7.6.6.2)



Notas:

1. El dispositivo sujeta la probeta y el perno se dobla 30° en direcciones opuestas en forma alternada.
2. Se puede aplicar carga con un cilindro hidráulico (como en la figura) o con un dispositivo adaptado para usar con la máquina para ensayos de tracción.

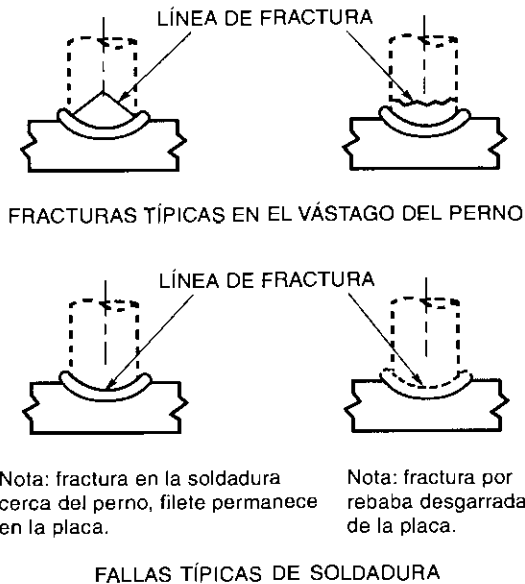


**Figura 7.4—Dispositivo de ensayo de doblado
(véase 7.9.7.2)**

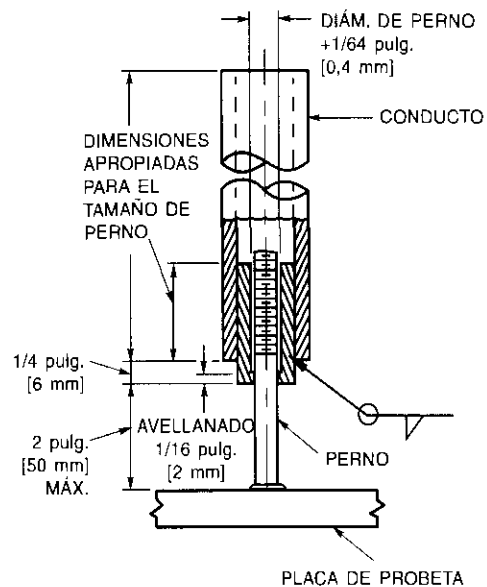


**Figura 7.5—Tipo de dispositivo sugerido para el ensayo de calificación de pernos pequeños
(véase 7.9.7.2)**

8. Refuerzo y reparación de estructuras existentes.

8.1 Generalidades

El refuerzo o la reparación de una estructura existente debe consistir en las modificaciones para cumplir con los requisitos de diseño especificados por el ingeniero. El ingeniero debe preparar un plan integral para el trabajo. Dichos planes deben incluir, pero no están limitados al, diseño, mano de obra, inspección y documentación. Excepto según lo modificado en esta sección, todas las disposiciones de este código se deben aplicar de igual modo al refuerzo y a la reparación de estructuras existentes, incluyendo el enderezamiento por calor de miembros distorsionados.

8.2 Metal base

8.2.1 Investigación. Antes de preparar planos y especificaciones para reforzar o reparar estructuras existentes, se deben determinar los tipos de metal base usados en la estructura original, ya sea a partir de los planos y especificaciones existentes o por medio de ensayos representativos del metal base.

8.2.2 Idoneidad para la soldadura. Se debe establecer la idoneidad del metal base para la soldadura (consulte la Tabla C-8.1 como guía).

8.2.3 Otros metales base. Cuando se deban unir metales base distintos de los indicados en la Tabla 3.1, el ingeniero debe prestar especial atención a la selección del metal de aporte y a las WPS.

8.3 Diseño para refuerzo y reparación

8.3.1 Proceso de diseño. El diseño del proceso debe considerar las disposiciones aplicables del código rector y otras partes de las especificaciones generales. El ingeniero debe especificar el tipo y el alcance del estudio necesario para identificar las condiciones existentes que requieren el refuerzo o la reparación para cumplir con los criterios aplicables.

8.3.2 Análisis de esfuerzo. Se debe realizar un análisis de esfuerzos en el área afectada por el refuerzo o la reparación. Deben establecerse los niveles de esfuerzo para

todos los casos de carga permanente y sobrecarga de uso en el sitio. Se debe considerar el daño acumulado que los miembros puedan haber sufrido en el servicio pasado.

8.3.3 Historial de fatiga. Los miembros sometidos a cargas cíclicas deben estar diseñados de acuerdo con los requisitos de los esfuerzos de fatiga. En el diseño se debe considerar el historial anterior de carga. Cuando el historial de carga no esté disponible, deberá estimarse.

8.3.4 Restauración o reemplazo. Se debe determinar si las reparaciones deberían consistir en la restauración de las partes corroídas o dañadas o en el reemplazo de los miembros completos.

8.3.5 Carga durante las operaciones. El ingeniero debe determinar en qué medida se permitirá que un miembro esté cargado mientras se realizan el calentamiento, la soldadura o el corte térmico. Cuando sea necesario se deben reducir las cargas. Se debe investigar la estabilidad local y general del miembro, considerando el efecto de la temperatura elevada extendiéndose sobre las partes del área transversal.

8.3.6 Conexiones existentes. Se debe evaluar si el diseño es adecuado para las conexiones existentes de las estructuras que requieren refuerzo o reparación y reforzarlas según sea necesario.

8.3.7 Uso de sujetadores existentes. Cuando los cálculos del diseño muestren que los remaches o pernos estarían sometidos a esfuerzos excesivos por efecto de la nueva carga total, solamente deberán soportar la carga permanente ya existente. Si los remaches o pernos están sometidos a esfuerzo excesivo solamente por la carga permanente o están sometidos a carga cíclica, se debe agregar suficiente metal base y soldadura para sostener la carga total.

8.4 Mejora de la vida útil en fatiga

8.4.1 Métodos. Se pueden utilizar los siguientes métodos de reacondicionamiento de detalles críticos de soldadura cuando los procedimientos escritos hayan sido aprobados por el ingeniero:

(1) *Mejora de la soldadura.* Modificación de la cara de soldadura mediante esmerilado con una fresa de car-

buro para obtener un perfil cóncavo con una transición suave desde el material base a la soldadura.

(2) *Esmerilado del pie*. Modificación de solo los pies de la soldadura con una fresa o torno de mano.

(3) *Martillado*. Granallado de la superficie soldada o martillado de los pies de la soldadura.

(4) *Rectificado TIG*. Modificación del pie de la soldadura por refusión del metal de soldadura existente con calor del arco GTAW (no se usa metal de aporte).

(5) *Esmerilado del pie más martillado*. Cuando se utilizan juntos los beneficios son acumulativos.

8.4.2 Incremento del rango de esfuerzo. El ingeniero debe establecer el incremento apropiado en el rango de esfuerzo admisible.

8.5 Mano de obra y técnica

8.5.1 Condición del metal base. Se deberá limpiar la tierra, el óxido y cualquier otra sustancia ajena del metal base que se vaya a reparar y de las superficies existentes del metal base en contacto con el nuevo metal base, excepto la película de pintura adherente según SSPC SP2 (Surface Preparation Specification #2—Hand Tool Cleaning [Especificación de preparación de superficies n.º 2: limpieza con herramientas manuales]). Las partes de las superficies que vayan a ser soldadas deben limpiarse meticulosamente de todo material extraño, incluyendo pintura, al menos en 2 pulg. [50 mm] desde la raíz de la soldadura.

8.5.2 Discontinuidades de los miembros. Cuando así lo requiera el ingeniero, las discontinuidades inaceptables del miembro que esté siendo reparado o reforzado deben ser corregidas antes del enderezamiento por calor, el curvado por calor o la soldadura.

8.5.3 Reparaciones de soldadura. Si se requieren reparaciones de soldadura, estas deben realizarse según 5.25, según corresponda.

8.5.4 Metal base de espesor insuficiente. El metal base con un espesor insuficiente para alcanzar el tamaño de la soldadura requerido o la capacidad requerida debe ser, según lo determine el ingeniero: (1) armado con metal de soldadura hasta el espesor requerido, (2) recortado hasta encontrar el espesor adecuado, (3) reforzado con metal base adicional o (4) retirado y reemplazado por un metal base de espesor y resistencia adecuada.

8.5.5 Enderezamiento por calor. Cuando se utilicen métodos para enderezar o curvar por calor, la temperatura máxima de las áreas calentadas, medida utilizando tizas sensibles a la temperatura o algún otro medio positivo, no debe exceder de 1100 °F [600 °C] para acero revenido y templado ni 1200 °F [650 °C] para otros aceros. Se debe prohibir el enfriamiento acelerado de aceros por encima de 600 °F [315 °C].

8.5.6 Secuencia de soldadura. Al reforzar o reparar miembros mediante el agregado de metal base o metal soldado, o ambos, la soldadura y la secuencia de soldadura deben generar una entrada de calor equilibrada, tanto como sea posible, cerca el eje neutral para minimizar la distorsión y las tensiones residuales.

8.6 Calidad

8.6.1 Inspección visual. Todos los miembros y soldaduras afectados por el trabajo deben inspeccionarse visualmente según el plan integral del ingeniero.

8.6.2 NDT. El método, el alcance y los criterios de aceptación del NDT deben estar especificados en los documentos del contrato.

9. Estructuras tubulares

9.1 Generalidades

Esta Sección complementa las secciones 1-8. Los requisitos específicos de la Sección 9 se aplican únicamente a las conexiones tubulares. A los fines de diseño, esta sección se utilizará con los requisitos aplicables de la Sección 2, Parte A. Todas las disposiciones de la Sección 9 se aplican a las aplicaciones estáticas y cíclicas, con excepción de las disposiciones de fatiga de 9.2.7, las cuales son únicas para las aplicaciones cíclicas.

Esta sección se divide en partes, como sigue:

- Parte A— **Diseño de conexiones tubulares**
- Parte B— **Precalificación de especificaciones del procedimiento de soldadura (WPSs)**
- Parte C— **Precalificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS)**
- Parte D— **Calificación del desempeño**
- Parte E— **Fabricación**
- Parte F— **Inspección**

Parte A *Diseño de conexiones tubulares*

9.2 Esfuerzos admisibles

9.2.1 Excentricidad. Se proveerán momentos provocados por una desviación significativa de las conexiones concéntricas en el análisis y diseño [véase Figura 9.2(H) para una ilustración de una conexión excéntrica].

9.2.2 Esfuerzos del metal base. Estas estipulaciones podrán ser utilizadas en conjunto con especificaciones de diseño aplicables, ya sea en los formatos de diseño por resistencia admisible (ASD) o de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD). A menos que la especificación de diseño aplicable disponga otra cosa, el diseño de la conexión tubular debe ser el que se describe en 9.2.6, 9.2.7 y 9.6. Los esfuerzos del metal base serán aquellos indicados en las especificaciones de diseño aplicables, con las limitaciones de 9.2.3.

9.2.3 Limitaciones de la sección tubular. Deben considerarse las limitaciones en cuanto al diámetro/espesor para las secciones circulares, y la relación ancho/espesor más plano para las secciones rectangulares, más allá de las cuales, el pandeo local u otros modos de falla local deben estar en conformidad con el código de diseño pertinente. Los límites de aplicabilidad para los criterios dados en 9.6 deben observarse como sigue a continuación:

(1) Tubos circulares: $D/t < 3300/F_y$ [para F_y en ksi], $22\,800/F_y$ (para F_y en MPa)

(2) Conexiones con separación de la sección rectangular: $D/t \leq 210/\sqrt{F_y}$ [para F_y en ksi], $550/\sqrt{F_y}$ (para F_y en MPa) pero no más de 35

(3) Conexiones con separación de la sección rectangular: $D/t \leq 190/\sqrt{F_y}$ [para F_y en ksi], $500/\sqrt{F_y}$ (para F_y en MPa)

9.2.4 Esfuerzos de soldadura. Los esfuerzos admisibles en soldaduras no deben exceder los indicados en la Tabla 9.2, o de acuerdo con lo permitido en 2.6.4, excepto lo modificado en 9.2.6, 9.2.7, y 9.6.

9.2.5 Esfuerzos de fibra. Los esfuerzos de la fibra debido al doblado no deben exceder los valores descritos para tensión y compresión, a menos que los componentes sean secciones compactas (capaces de desarrollar un momento plástico completo) y se proporcione cualquier soldadura transversal para desarrollar completamente el esfuerzo de las secciones unidas.

9.2.6 Diseño por factores de carga y resistencia. Los factores de resistencia, Φ , dados en otra parte de esta sección, pueden utilizarse en el contexto de los cálculos del diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) en el siguiente formato:

$$\Phi \times (P_u \text{ o } M_u) = \Sigma(LF \times \text{Carga})$$

donde P_u o M_u es la carga o el momento último como se menciona aquí y LF es el factor de carga como se define en el código de diseño LRFD adoptado, por. ej., ANSI/AISC 360, *Especificación para construcciones de acero estructural*.

9.2.7 Fatiga de conexiones de tubos circulares

9.2.7.1 Rango de esfuerzo y tipo de miembro. En el diseño de miembros y conexiones sujetas a variaciones repetidas en esfuerzo de carga viva, se debe dar conside-

ración a la cantidad de ciclos de esfuerzo, el rango esperado de esfuerzo, y el tipo y ubicación del miembro o detalle.

9.2.7.2 Categorías de esfuerzo de fatiga. El tipo y ubicación del material debe categorizarse como se muestra en las Tablas 9.1 y 9.3.

9.2.7.3 Limitación de esfuerzo admisible básico. Donde la especificación de diseño aplicable tenga un requerimiento de fatiga, el esfuerzo máximo no debe exceder el esfuerzo admisible básico proporcionado en otra parte, y el rango de esfuerzo para una cantidad dada de ciclos no debe exceder los valores dados en la Figura 9.1.

9.2.7.4 Daño Acumulado. Donde el ambiente de fatiga involucre rangos de esfuerzo de magnitud variable y números variables de aplicaciones, la razón del daño acumulado de fatiga, D , sumada a todas las cargas diversas, no debe exceder la unidad, donde

$$D = \sum \frac{n}{N}$$

donde

n = número de ciclos aplicados a un rango de esfuerzo dado

N = número de ciclos para los cuales el rango de esfuerzo dado sería permitido en la Figura 9.1

9.2.7.5 Miembros críticos Para los miembros críticos cuyo único modo de falla sería catastrófico, D (véase 9.2.7.4) debe estar limitado a un valor fraccional de 1/3.

9.2.7.6 Mejora del comportamiento a la fatiga Con el propósito de mejorar el comportamiento de fatiga, y cuando se especifique en los documentos del contrato, las siguientes mejoras de perfil pueden llevarse a cabo para soldaduras en conexiones tubulares T-, Y-, o K-:

(1) Puede aplicarse una capa de nivelación de tal forma que la superficie soldada se una suavemente con el metal base adyacente, y se aproxime al perfil mostrado en la Figura 9.16. Las muescas en el perfil no deben ser más profundas que 0,04 pulg. o 1 mm, en relación a un disco que tenga un diámetro igual o mayor que el espesor del miembro secundario.

(2) La superficie de soldadura puede ser esmerilada al perfil mostrado en la Figura 9.16. Las marcas de esmerilado final deben ser transversales al eje de la soldadura.

(3) El pie de la soldadura puede ser martillado con un instrumento romo, a fin de producir una deformación plástica local que suavice la transición entre la soldadura y el metal base, y a la vez induzca un esfuerzo residual compresivo. Dicho martillado siempre debe hacerse después de una inspección visual, y seguido por MT, como se describe más abajo. Debe considerarse la posibilidad de una tenacidad a la muesca localmente degradada debido al martillado.

Para calificar las categorías de fatiga X1 y K1, soldaduras representativas (todas las soldaduras donde se haya aplicado el martillado), deben recibir MT para discontinuidades de la superficie o cerca de la superficie. Cualquier indicación que no pueda ser resuelta por medio de

un esmerilado ligero debe repararse en conformidad con 5.25.1.4.

9.2.7.7 Efectos del tamaño y del perfil. La aplicabilidad de las soldaduras a las categorías de fatiga enumeradas abajo está limitada a los siguientes tamaños de la soldadura o espesores del metal base:

C1	2 pulgadas [50 mm] miembro más delgado en transición
C2	1 pulgada [25 mm] accesorio
D	1 pulg. [25 mm] accesorio
E	1 pulg. [25 mm] accesorio
ET	1,5 pulgada [38 mm] rama
F	0,7 pulg. [18 mm] tamaño de la soldadura
FT	1 pulg. [25 mm] tamaño de la soldadura

Para las aplicaciones que excedan estos límites, debe considerarse reducir los esfuerzos admisibles o mejorar el perfil de soldadura (véase Comentario). Para conexiones T-, Y-, y K-, se proporcionan dos niveles de comportamiento de fatiga en la Tabla 9.4. El diseñador debe designar cuando se aplica el Nivel I; en la ausencia de dicha designación, y para aplicaciones donde la fatiga no sea una consideración, el Nivel II debe ser el estándar mínimo aceptable.

9.3 Identificación

Los miembros en estructuras tubulares deben ser identificados como se muestran en la Figura 9.2.

9.4 Símbolos

Los símbolos utilizados en esta sección son aquellos que se muestran en el Anexo I.

9.5 Diseño de la soldadura

9.5.1 Soldaduras en filete

9.5.1.1 Área efectiva. El área efectiva debe cumplir con 2.4.2.10 y lo siguiente:

La longitud efectiva de las soldaduras en filete en conexiones estructurales T-, Y-, y K- debe calcularse en conformidad con 9.5.4 o 9.5.5, utilizando el radio o las dimensiones de la superficie del miembro secundario medido en la línea central de la soldadura.

9.5.1.2 Limitación beta para detalles precalificados. Los detalles para soldaduras en filete precalificados en las conexiones tubulares T-, Y-, y K- se describen en la Figura 9.10. Estos detalles están limitados a $\beta \leq 1/3$ para conexiones circulares, y $\beta \leq 0,8$ para secciones rectangulares. También están sujetas a las limitaciones de 9.9.1. Para una sección rectangular con radios de esquina grandes, puede requerirse un límite de β más pequeño para mantener el miembro secundario y la soldadura en la cara plana.

9.5.1.3 Juntas traslapadas. Las juntas traslapadas de los tubos telescópicos (opuestas a la junta “slip-on” de interferencia que se utiliza en los postes cónicos) a las cuales se transfiere la carga a través de la soldadura, pueden ser soldadas con filete simple de conformidad con la Figura 9.3.

9.5.2 Soldaduras en ranura. El área efectiva debe cumplir con 2.4.2.5 y lo siguiente: la longitud efectiva de las soldaduras en ranura en las conexiones estructurales T-, Y-, y K- debe calcularse en conformidad con 9.5.4 o 9.5.5, utilizando el radio medio r_m o las dimensiones de la superficie del miembro secundario.

9.5.2.1 Detalles de soldadura en ranura con PJP precalificada. Las soldaduras en ranura con PJP precalificadas en las conexiones tubulares T-, Y-, o K- deben ser conformes a la Figura 9.11. El Ingeniero debe utilizar la figura en conjunto con la Tabla 9.5 para calcular el tamaño mínimo de la soldadura a fin de determinar el esfuerzo máximo de la soldadura, excepto cuando dichos cálculos sean eximidos por 9.6.1.3(2).

La dimensión de pérdida Z debe ser deducida de la distancia desde el punto de trabajo hasta la cara de soldadura teórica para encontrar el tamaño mínimo de soldadura.

9.5.2.2 Detalles de soldadura en ranura con CJP precalificada soldado de un lado sin respaldo en conexiones T-, Y-, y K-. véase 9.11.2 para las opciones de detalle. Si se requiere de la mejora del comportamiento de la fatiga, los detalles seleccionados deben estar basados en los requerimientos de perfil de 9.2.7.6 y la Tabla 9.4.

9.5.3 Esfuerzos en las soldaduras. Cuando se requieren cálculos de esfuerzos admisibles en soldaduras para secciones circulares, el esfuerzo nominal en la derivación de conexión de soldadura en una conexión simple en T-, Y-, o K- debe ser computado de esta manera:

$$f_{\text{soldadura}} = \frac{t_b}{t_w} \left[\frac{f_a}{K_a} \left(\frac{r_m}{r_w} \right) + \left(\frac{f_b}{K_b} \right) \frac{r_m^2}{r_w^2} \right]$$

donde

t_b = espesor del miembro secundario

t_w = garganta efectiva de la soldadura

f_a y f_b = esfuerzos nominales axiales y de doblado en la derivación

Para r_m y r_w , véase Figura 9.4.

K_a y K_b son factores de longitud y sección efectivas en 9.5.4 y 9.5.5.

En el esfuerzo último o el formato LRFD, debe aplicarse la siguiente expresión para la capacidad de carga axial del miembro secundario P tanto para las secciones circulares como para las secciones rectangulares:

$$P_u = Q_w \cdot L_{\text{eff}}$$

donde

Q_w = capacidad de carga de línea de soldadura (kips/pulg.)

L_{eff} = longitud efectiva de soldadura

Para soldaduras en filete,

$$Q_w = 0,6 t_w F_{\text{EXX}}$$

con $\Phi = 0,8$

donde F_{EXX} = resistencia a la tracción mínima clasificada del depósito de soldadura.

9.5.4 Longitudes de conexiones circulares. La longitud de las soldaduras y la longitud de la intersección en las conexiones T-, Y-, y K- deben ser determinadas como $2\pi r K_a$ donde r es el radio efectivo de la intersección [véase 9.5.2, 9.5.1.1, y 9.6.1.3(4)].

$$K_a = x + y + 3 \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$x = 1/(2 \pi \sin \theta)$$

$$y = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{3 - \beta^2}{2 - \beta^2} \right)$$

donde

θ = el ángulo agudo entre los dos ejes miembros

β = relación del diámetro, miembro secundario/principal, como se definió previamente

NOTA: Lo siguiente puede utilizarse como aproximaciones conservadoras:

$$K_a = \frac{1 + 1/\sin \theta}{2} \text{ para carga axial}$$

$$K_b = \frac{3 + 1/\sin \theta}{4 \sin \theta} \text{ para doblado en plano}$$

$$K_b = \frac{1 + 3/\sin \theta}{4} \text{ para doblado fuera de plano}$$

9.5.5 Longitudes de conexiones de sección rectangular.

9.5.5.1 Conexiones K- y N-. La longitud efectiva de las soldaduras de miembros secundarios en conexiones estructurales, planas y ranuras K- y N- entre secciones rectangulares, sujetas a la carga axial predominantemente estática, debe tomarse como:

$$2a_x + 2b, \text{ para } \theta \leq 50^\circ$$

$$2a_x + b, \text{ para } \theta \geq 60^\circ$$

Por lo tanto, para $\theta \leq 50^\circ$ el talón, el pie y los lados del miembro secundario pueden considerarse totalmente efectivos. Para $\theta \geq 60^\circ$, el talón se considera inefectivo debido a la distribución despareja de la carga. Para $50^\circ < \theta < 60^\circ$, interpolar.

9.5.5.2 Conexiones T-, Y- y X-. La longitud efectiva de las soldaduras de miembros secundarios en conexiones estructurales, planas y T, Y y X entre secciones rectangulares, sujetas a la carga axial predominantemente estática, debe tomarse como:

$2a_x + b$, para $\theta \leq 50^\circ$

$2a_x$, para $\theta \geq 60^\circ$

Para $50^\circ < \theta < 60^\circ$, interpolar.

9.6 Limitaciones de la resistencia de las conexiones soldadas

9.6.1 Conexiones circulares tipo T-, Y-, y K- (véase 9.8.1.1)

9.6.1.1 Falla local. Cuando se realiza una conexión en T-, Y-, o K- soldando simplemente el miembro o miembros secundarios en forma individual al miembro principal, las tensiones locales en la superficie de la falla potencial a través de la pared del miembro principal pueden limitar la resistencia utilizable de la junta soldada. El esfuerzo de cizallamiento en el que ocurre tal falla depende no solo de la resistencia del acero del miembro principal, sino también de la geometría de la conexión. Dichas conexiones deben ser proporcionadas sobre la base, ya sea de:

(1) el cizallamiento por punzonado, o

(2) los cálculos máximos de carga como se indica a continuación. El cizallamiento por punzonado es una norma de diseño de esfuerzo admisible (ASD) e incluye el factor de seguridad. El formato de carga máxima puede ser utilizado en el diseño del factor de carga y resistencia (LRFD), con el factor de resistencia Φ incluido por el diseñador, véase 9.2.6.

(1) **Formato del cizallamiento por punzonado.** El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante sobre la superficie potencial de falla (véase Figura 9.5) no debe exceder el esfuerzo de cizallamiento por punzonado admisible.

El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante es dado por

$$\text{actuante } V_p = \tau f_n \sin \theta$$

El esfuerzo de cizallamiento por punzonado actuante es dado por

$$\text{permitir } V_p = Q_f \cdot Q_r \cdot F_{y0} / (0,6 \gamma)$$

El V_p admisible también debe estar limitado por el esfuerzo de cizallamiento admisible en la especificación del diseño aplicable (por ej., $0,4 F_{y0}$).

Los términos utilizados en las siguientes ecuaciones se definen como sigue:

τ , θ , γ , β y otros parámetros de geometría de conexión se definen en la Figura 9.2(M).

f_n es el esfuerzo axial (f_a) o de doblado (f_b) nominal en el miembro secundario (el cizallamiento por punzonado para cada uno se mantiene por separado).

F_{y0} = La carga de fluencia mínima especificada del carrete del miembro principal, pero no mayor a 2/3 de la resistencia a la tracción.

Q_q , Q_r son los modificadores geométricos y términos de interacción del esfuerzo, respectivamente, que se dan en la Tabla 9.6.

Para el doblado sobre dos ejes (Ej. y y z), el esfuerzo de doblado resultante efectivo en las secciones circulares y rectangulares puede tomarse como sigue

$$f_b = \sqrt{f_{by}^2 + f_{bz}^2}$$

Para los esfuerzos combinados axiales y de doblado, debe cumplirse la siguiente fórmula:

$$\left[\frac{\text{Actuante } V_p}{\text{permitir } V_p} \right]_{\text{axial}}^{1.75} + \left[\frac{\text{actuante } V_p}{\text{permitir } V_p} \right]_{\text{doblado}} \leq 1.0$$

(2) **Formato LRFD** (cargas factorizadas hasta la condición máxima—véase 9.2.6)

Las cargas del miembro secundario en las cuales ocurre una falla plástica en las caras del miembro principal se dan mediante:

$$\text{carga axial: } P_u \sin \theta = t_c^2 F_{y0} [6 \pi \beta Q_q] Q_r$$

momento de doblado:

$$M_u \sin \theta = t_c^2 F_{y0} [d_b/4] [6 \pi \beta Q_q] Q_r$$

con factor de resistencia $\Phi = 0,8$.

Q_r debe ser computado con $\bar{U}^2$ redefinido como $(P_c/AF_{y0})^2 + (M_c/SF_{y0})^2$ donde P_c y M_c son la carga y el momento del carrete factorizado, A es el área, S es el módulo de sección.

Estas cargas también están sujetas a los límites de resistencia de cizallamiento del material del cordón:

$$P_u \sin \theta < \pi d_b t_c F_{y0} / \sqrt{3}$$

$$M_u \sin \theta \leq d_b^2 t_c F_{y0} / \sqrt{3}$$

con $\Phi = 0,95$

donde

t_c = espesor de la pared del cordón

d_b = el diámetro del miembro secundario y otros términos se definen en 9.6.1.1(1).

El estado límite para combinaciones de carga axial P y momento de doblado M es dado por:

$$(P/P_u)^{1.75} + M/M_u \leq 1.0$$

9.6.1.2 Colapso general. La resistencia y estabilidad de un miembro principal en una conexión tubular, con algún refuerzo, debe ser investigada utilizando la tecnología disponible en conformidad con el código de diseño aplicable. El colapso general es particularmente grave en las conexiones transversales y en las conexiones sujetas a cargas de compresión [véase Figura 9.2(G) y (J)]. Dichas conexiones pueden reforzarse aumentando el espesor del miembro principal, o mediante el uso de diafragmas, anillos o pasadores.

(1) En caso de conexiones transversales circulares no reforzadas, la carga admisible del cordón transversal, debido a la carga axial del miembro secundario de compresión, no debe exceder

$$P \sin \theta = t_c^2 F_y (1,9 + 7,2 \beta) Q_p Q_f$$

(2) En caso de conexiones transversales circulares reforzadas por un niple o manguito de unión, que tienen aumentados el espesor t_c , y la longitud, L , la carga axial admisible, P , del miembro secundario puede ser aplicada como:

$$P = P_{(1)} + [P_{(2)} - P_{(1)}] L / 2,5D \quad \text{for } L < 2,5/D$$

$$P = P_{(2)} \quad \text{para } L \geq 2,5/D$$

donde $P_{(1)}$ se obtiene usando el espesor nominal del miembro principal en la ecuación (1); y $P_{(2)}$ se obtiene usando el espesor de la "lata de junta" en la misma ecuación.

El estado límite máximo puede tomarse como 1.8 veces el valor ASD admisible, con $\Phi = 0.8$.

(3) En caso de conexiones circulares en K, en las cuales el espesor del miembro principal que se requiere para cumplir con las estipulaciones locales de cizallamiento de 9.6.1.1 se extiende al menos $D/4$ más allá de las soldaduras del miembro secundario conector; no es necesario verificar el colapso general.

9.6.1.3 Distribución dispereja de la carga (Dimensionamiento de la soldadura)

(1) Debido a las diferencias en las flexibilidades relativas del miembro principal cargado normal a su superficie, y al miembro secundario que lleva esfuerzos de membrana paralelos a su superficie, la transferencia de la carga a través de la soldadura tiene una distribución no uniforme, en consecuencia se puede esperar fluencia local antes de que la conexión alcance su carga de diseño. Para prevenir la falla progresiva o "unzipping" de la soldadura y asegurar el comportamiento dúctil de la junta, los tamaños mínimos de las soldaduras en las conexiones simples T-, Y-, o K- deberán ser capaces de desarrollar, en su resistencia máxima a la rotura, la tensión de fluencia del miembro secundario o la tensión local (cizallamiento por punzonado) del miembro principal, la que resulte menor. La resistencia máxima a la rotura de las soldaduras en filete y las soldaduras en ranura con PJP, debe calcularse como 2,67 veces el esfuerzo básico admisible para una resistencia a la tracción de 60 ksi [415 MPa] o 70 ksi [485 MPa] y a 2,2 veces el esfuerzo básico admisible para niveles de resistencia superiores. El cizallamiento por punzonado máximo debe tomarse como 1,8 veces el V_p admisible de 9.6.1.1.

(2) Puede presumirse que este requerimiento cumpla con los detalles precalificados de la junta de la Figura 9.14 (CJP) y 9.10.1 (PJP), cuando se utilizan materiales compatibles (Tabla 3.1).

(3) También puede presumirse la resistencia compatible de las soldaduras con los detalles precalificados de la soldadura en filete de la Figura 9.10, cuando se cumplen los siguientes requerimientos de garganta efectiva:

(a) $E = 0,7 t_b$ para el diseño por esfuerzo de trabajo elástico de los tubos circulares de acero dulce ($F_y \leq 40$ ksi [280 MPa] unidos con soldaduras sobreajustadas (resistencia clasificada $F_{EXX} = 70$ ksi [485 MPa])

(b) $E = 1,0 t_b$ para el diseño de resistencia última (LRFD) de conexiones circulares o de tubo de sección rectangular de acero dulce, $F_y \leq 40$ ksi [280 MPa], con soldaduras que cumplan los requerimientos de resistencia correspondientes de las Tablas 3.1 y 3.2.

(c) $E =$ el menor de e o $1,07 t_b$ para todos los demás casos

(4) Las soldaduras en filete más pequeñas que aquellas requeridas en la Figura 9.10 para corresponder con la resistencia de conexión, pero dimensionadas solo para resistir las cargas de diseño, deben ser al menos dimensionadas para el múltiple de los siguientes esfuerzos, calculados según 9.5.3, para representar la distribución no uniforme de la carga:

ASD	LRFD
E60XX and E70XX—1,35	1,5
Resistencias más altas—1,6	1,8

9.6.1.4 Transiciones. Las conexiones ensanchadas y las transiciones de tamaño de tubo no exceptuadas a continuación, serán evaluadas con respecto a los esfuerzos locales provocados por el cambio de dirección en la transición (véase la Nota d de la Tabla 9.3). Excepción para cargas estáticas:

Tubos circulares que tengan D/t inferior a 30 e

Inclinación de la transición inferior a 1:4.

9.6.1.5 Otras configuraciones y cargas

(1) El término "Conexiones en T-, Y-, y K-" a menudo se utiliza genéricamente para describir conexiones tubulares en las que los miembros secundarios están soldados a un miembro principal o cordón, en un modo estructural. También se proporcionan criterios específicos para las conexiones transversales (X) (también denominadas doble T) en 9.6.1.1 y 9.6.1.2. Las conexiones en N son un caso especial de las conexiones en K, donde uno de los miembros secundarios es perpendicular al cordón y, en consecuencia, se aplican los mismos criterios (véase Comentario para las conexiones multiplanares).

(2) Las clasificaciones de las conexiones en T-, Y-, y K- o transversales deberían aplicarse a los miembros secundarios individuales, de acuerdo con el patrón de carga para cada caso. Para ser considerada una conexión en K, la carga por punzonado en un miembro secundario debería estar esencialmente equilibrada por las cargas en otros refuerzos en el mismo plano sobre el mismo lado de la junta. En las conexiones en T y en Y, la carga de punzonado reacciona como el cizallamiento de una viga en el cordón. En las conexiones transversales, la carga de punzonado es llevada a través del cordón hasta los refuerzos en el lado opuesto. Para los miembros secundarios que soportan parte de su carga como conexiones en K, y parte como conexiones en T, en Y o transversales, se interpola sobre la base de la porción de cada uno en el total, o se utiliza el alfa calculado (véase Comentario).

(3) Para conexiones multiplanares, puede utilizarse alfa calculado como se indica en el Anexo R, para estimar el efecto beneficioso o dañino de las diversas cargas del miembro secundario en el miembro principal ovalizante. Sin embargo, para conexiones cargadas en forma similar en planos adyacentes, por ejemplo, en conexiones pareadas en TT y en KK en refuerzos delta, no debe considerarse el aumento de la capacidad por sobre la que corresponde a conexiones de un solo plano.

9.6.1.6 Conexiones traslapadas. Las juntas traslapadas, en las cuales parte de la carga se transfiere directamente desde un miembro secundario a otro a través de una soldadura común, deben incluir las siguientes verificaciones:

(1) El componente de carga *admisible* del miembro individual, $P_{\perp}$ perpendicular al eje del miembro principal, será tomado como $P_{\perp} = (V_p t_c l_1) + (2V_w t'_w l_2)$ donde V_p es el cizallamiento por punzonado admisible como se define en 9.6.1.1, y

t_c = el espesor del miembro principal

l_1 = la longitud real de la soldadura para aquella porción del miembro secundario que está en contacto con el miembro principal

V_p = el esfuerzo admisible de cizallamiento por punzonado para el miembro principal como la conexión K ($\alpha = 1,0$)

V_w = el esfuerzo de cizallamiento admisible para la soldadura entre los miembros secundarios (Tabla 9.2)

t'_w = el tamaño de la soldadura (garganta efectiva) o el espesor t_b del miembro secundario más delgado, el que resulte menor

l_2 = la longitud del cordón proyectada (un lado) de la soldadura de traslape, medida perpendicularmente con respecto al miembro principal.

Estos términos se ilustran en la Figura 9.6.

El estado límite *máximo* puede tomarse como 1,8 veces el valor ASD siguiente admisible, con $\Phi = 0,8$.

(2) El componente de carga combinada admisible paralelo al eje del miembro principal no debe exceder $V_w t_w \Sigma l_1$, donde Σl_1 es la suma de las longitudes reales de la soldadura para todos los refuerzos en contacto con el miembro principal.

(3) El traslape debe ser de preferencia proporcionado al menos para el 50% de $P_{\perp}$ actuante. En ningún caso el espesor de la pared del miembro secundario debe exceder el espesor de la pared del miembro principal.

(4) Donde los miembros secundario lleven cargas sustancialmente diferentes, o un miembro secundario tenga un espesor de pared mayor que otro, o ambos, el miembro secundario más grueso o con mayor carga debe ser de preferencia el miembro pasante con toda su circunferencia soldada al miembro principal.

(5) La carga transversal neta en la huella combinada debe cumplir con 9.6.1.1 y 9.6.1.2.

(6) El tamaño mínimo de soldadura para las soldaduras en filete debe proporcionar una garganta efectiva de

1,0 t_b para $F_y < 40$ ksi [280 MPa], 1,2 t_b para $F_y > 40$ ksi [280 MPa].

9.6.2 Conexiones rectangulares en T, Y y X (véase 9.8.1.1). Los criterios proporcionados en esta sección están todos en el formato de carga máxima, sin inclusión del factor de seguridad. Los factores de resistencia para LRFD se proporcionan a lo largo de la sección. Para ASD, la capacidad admisible debe ser la capacidad máxima, dividida por un factor de seguridad de 1,44/ Φ . La elección de cargas y factores de carga será de conformidad con la especificación de diseño adoptada; véase 2.6.5 y 9.2.6. Deben verificarse las conexiones de todos los modos de falla descritos a continuación.

Estos criterios corresponden a las conexiones entre secciones rectangulares de espesor de pared uniforme, en refuerzos planos, donde las cargas de los miembros secundarios son más que nada en dirección axial. Si se utilizan secciones compactas, material base dúctil y soldaduras de resistencia compatible, entonces el doblado del miembro secundario podría ser ignorado. (El doblado del miembro secundario se debe a la deformación de la junta, o a la rotación en los refuerzos totalmente triangulados. El doblado del miembro secundario debido a las cargas aplicadas, al desplazamiento lateral de las estructuras no reforzadas, etc., no puede ser ignorado, y debe ser diseñado teniéndolo en cuenta (véase 9.6.2.5).

Los criterios en esta sección están sujetos a las limitaciones que se muestran en la Figura 9.7.

9.6.2.1 Falla local. La carga axial de un miembro secundario P_u para la cual ocurre una falla plástica en la pared del cordón en el miembro principal está dada por:

$$P_u \sin \theta = F_{y0} t_c^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}} \right] Q_f$$

para las conexiones transversales, T e Y con $0,25 \leq \beta < 0,85$ y $\Phi = 1,0$.

También, $P_u \sin \theta = F_{y0} t_c^2 [9,8 p \beta Q_f \sqrt{\gamma}] Q_f$

con $\Phi = 0,9$

para conexiones con separación tipo K y N con al menos

$$\beta_{eff} \geq 0,1 + \frac{\gamma}{50} \text{ y } g/D = \zeta \geq 0,5 (1-\beta)$$

donde F_{y0} es la tensión de fluencia mínima especificada del miembro principal, t_c es el espesor de la pared del cordón, γ es $D/2t_c$ (D = ancho de la cara del cordón); β , η , θ , y ζ son parámetros de topología de la conexión, como se definen en la Figura 9.2(M) y la Figura C-9.3; (β_{eff} es equivalente β definido más abajo); y $Q_f = 1,3 - 0,4U/\beta(Q_f \leq 1,0)$; use $Q_f = 1,0$ (para el cordón en tensión) siendo U la proporción de utilización del cordón.

$$U = \left| \frac{f_a}{F_{y0}} \right| + \left| \frac{f_b}{F_{y0}} \right|$$

$$\beta_{eff} = (b_{compresión} + a_{compresión} + b_{tracción} + a_{tracción})/4D$$

miembro miembro miembro miembro
secundario secundario secundario secundario

Estas cargas también están sujetas a los límites de resistencia de cizallamiento del material del cordón de

$$P_u \sin \theta = (F_{yo}/\sqrt{3}) t_c D [2\eta + 2\beta_{eop}]$$

para las conexiones transversales, T- e Y- con $\beta > 0,85$, usando $\Phi = 0,95$ y

$$P_u \sin \theta = (F_{yo}/\sqrt{3}) t_c D [2\eta + \beta_{eop} + \beta_{gap}]$$

para conexiones con separación tipo K- y N- con $\beta \geq 0,1 + \gamma/50$, usando $\Phi = 0,95$ (esta verificación no es necesaria si los miembros ramales son cuadrados y de igual ancho), donde

$$\beta_{gap} = \beta \text{ para conexiones en K- y N- con } \zeta \leq 1,5 (1-\beta)$$

$$\beta_{gap} = \beta_{eop} \text{ para todas las demás conexiones}$$

$$\beta_{eop} (\text{punzonado exterior efectivo}) = 5\beta/\gamma$$

pero no mayor que β

9.6.2.2 Colapso general. La resistencia y estabilidad de un miembro principal en una conexión tubular, con algún refuerzo, debe ser investigada utilizando la tecnología disponible en conformidad con el código de diseño aplicable.

(1) El colapso general es particularmente grave en las conexiones transversales y en las conexiones sujetas a cargas de aplastamiento. Dichas conexiones pueden ser reforzadas aumentando el espesor del miembro principal, o mediante el uso de diafragmas, anillos o collares.

Para conexiones rectangulares coincidentes no reforzadas, la carga máxima normal al miembro principal (cordón), debido a la carga axial P del miembro ramal, deberá estar limitada a:

$$P_u \sin \theta = 2t_c F_{yo}(a_x + 5 t_c)$$

con $\Phi = 1,0$ para cargas de tracción,

y $\Phi = 0,8$ para compresión.

y

$$P_u \sin \theta = \frac{47 t_c^3}{H - 4t_c} \sqrt{EF_{yo}(Q_f)}$$

con $\Phi = 0,8$ para conexiones transversales, reacciones de poste final, etc., en compresión, y E = módulo de elasticidad

o

$$P_u \sin \theta = 1,5 t_c^2 [1 + 3a_x/H] \sqrt{EF_{yo}(Q_f)}$$

con $\Phi = 0,75$ para todas las otras cargas de compresión del miembro ramal

(2) Para conexiones con separación tipo K- y N-, deberá verificarse si es adecuado el cizallamiento de la viga del miembro principal para soportar cargas transversales a través de la zona de separación, incluyendo la interacción con las fuerzas axiales del cordón. Esta verificación no es requerida para $\bar{U} \leq 0,44$ en conexiones rectangulares escalonadas que tengan $\beta + \eta \leq H/D$ (H es la altura de la sección del miembro principal en el plano de refuerzo).

9.6.2.3 Distribución dispareja de la carga (ancho efectivo). Debido a las diferencias en las flexibilidades relativas del miembro principal cargado normal a su su-

perficie, y del miembro ramal que lleva esfuerzos de membrana paralelos a su superficie, la transferencia de la carga a través de la soldadura tiene una distribución no uniforme, en consecuencia se puede esperar fluencia local antes de que la conexión alcance su carga de diseño. Para prevenir la falla progresiva y asegurar el comportamiento dúctil de la junta, tanto los miembros ramales como las soldaduras se verificarán de la siguiente manera:

(1) **Verificación del miembro ramal.** La capacidad axial del ancho efectivo P_u del miembro ramal será evaluada para todas las juntas con separación del tipo N-, K-, y otras, que tengan $\beta > 0,85$. (Esta verificación no es necesaria si los miembros ramales son rectangulares y de igual ancho).

$$P_u = F_y t_b [2a + b_{gap} + b_{coi} - 4t_b]$$

con $\Phi = 0,95$

donde

F_y = tensión mínima de fluencia especificada del miembro ramal

t_b = espesor de pared del miembro ramal

a, b = dimensiones del miembro ramal [véase Figura 9.2(B)]

$b_{gap} = b$ para conexiones en K- y N- con $\zeta \leq 1,5(1-\beta)$

$b_{gap} = b_{coi}$ para todas las otras conexiones

$$b_{coi} = \left(\frac{5b}{\gamma\tau} \right) \frac{F_{yo}}{F_y} \leq b$$

NOTA: se presumen $\tau \leq 1,0$ y $F_y \leq F_{yo}$.

(2) **Verificaciones de la soldadura.** Las soldaduras mínimas previstas en las conexiones simples en T-, Y-, o K- deben ser capaces de desarrollar en su resistencia máxima a la rotura, la carga de fluencia del miembro ramal o la resistencia local del miembro principal, la que resulte menor.

Puede asumirse que este requisito cumple con los detalles de la junta precalificada de la Figura 9.12 (CJP y PJP), cuando se utilizan materiales compatibles (Tablas 3.1 y 3.2)

(3) Las soldaduras en filete serán verificadas como se describe en 9.5.5.

9.6.2.4 Conexiones traslapadas. Las juntas traslapadas reducen los problemas de diseño en el miembro principal transfiriendo la mayor parte de la carga transversal directamente de un miembro ramal a otro (véase Figura 9.8).

Los criterios de esta sección son aplicables a las conexiones estáticamente cargadas que cumplen con las siguientes limitaciones:

(1) El miembro ramal más grande y de mayor espesor es el miembro pasante.

(2) $\beta \geq 0,25$.

(3) El miembro ramal que solapa es 0,75 a 1,0 veces el tamaño del miembro pasante con al menos el 25 % de sus caras laterales solapando al miembro pasante.

(4) Ambos miembros ramales tienen la misma carga de fluencia.

(5) Todos los miembros ramales y cordón son tubos rectangulares compactos con ancho/espesor ≤ 35 para miembros ramales y ≤ 40 para el cordón.

Se realizarán las siguientes verificaciones:

(1) Capacidad axial P_u del tubo solapado utilizando

$$\Phi = 0,95 \text{ con}$$

$$P_u = F_y t_b [Q_{OL} (2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$$

para 25% a 50% de traslape, con

$$Q_{OL} = \frac{\% \text{ overlap}}{50\%}$$

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b_{eo} + b_{et}]$$

para 50% a 80% de traslape, con

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + b + b_{et}]$$

para 80% a 100% de traslape.

$$P_u = F_y t_b [(2a - 4t_b) + 2b_{et}]$$

para más de 100 % de traslape

donde e_o es el ancho efectivo para la cara soldada al cordón,

$$b_{eo} = \frac{(5b)F_{yo}}{\gamma(\tau)F_y} \leq b$$

y b_{et} es el ancho efectivo para la cara soldada de la riostra pasante,

$$b_{et} = \frac{5b}{\gamma_t \tau_t} \leq b$$

$$\gamma_t = b/(2t_b) \text{ de la riostra pasante}$$

$$\tau_t = t_{\text{traslape}}/t_{\text{pasante}}$$

y otros términos son como se definieron previamente.

(2) Carga transversal neta sobre la forma combinada, tratada como una conexión en T- o Y-.

(3) Para más de 100% de traslape, el cizallamiento longitudinal debe ser verificado, considerando efectivo solamente las paredes laterales de los miembros ramales pasantes.

9.6.2.5 Doblado. El momento de doblado primario, M , debido a la carga aplicada, vigas en voladizo, deslizamiento lateral de las estructuras no reforzadas, etc. serán consideradas en el diseño como una carga axial adicional, P :

$$P = \frac{M}{JD \sin \theta}$$

En lugar de un análisis más racional (véase Comentario), JD puede ser tomado como $\eta D/4$ para doblado en el plano y como $\beta D/4$ para doblado fuera del plano. Los efectos de la carga axial en el doblado dentro del plano y

fuera del plano serán sumados. Los momentos se toman en la huella del miembro ramal.

9.6.2.6 Otras configuraciones. Las conexiones transversales, T-, Y-, K con separación y N- con tubos ramales circulares compactos enmarcando un miembro principal de sección rectangular, pueden ser diseñadas utilizando el 78,5% de la capacidad dada en 9.6.2.1 y 9.6.2.2, reemplazando la dimensión de la sección rectangular "a" y "b" en cada ecuación por el diámetro del miembro ramal d_b (limitado a secciones compactas con $0,4 \leq \beta \leq 0,8$).

9.7 Transición de espesor

Las juntas a tope bajo tensión en miembros principales, axialmente alineados y cíclicamente cargados, de diferentes espesores de material o tamaño, serán hechas de tal manera que la pendiente en la zona de transición no supere 1 en 2-1/2. La transición debe ser efectuada biseando la parte más gruesa, inclinando el metal de soldadura o mediante una combinación de estos métodos (véase Figura 9.9).

9.8 Limitaciones de los materiales

Las conexiones tubulares están sujetas a concentraciones de tensión locales que pueden dar lugar a fluencias locales y deformaciones plásticas locales para la carga de diseño. Durante la vida útil, la carga cíclica puede iniciar fisuras de fatiga, generando demandas adicionales sobre la ductilidad del acero, particularmente bajo cargas dinámicas. Estas demandas son particularmente severas en manguitos de unión de paredes diseñados para cizallamiento por punzonado. (véase Comentario C-9.8.2.2).

9.8.1 Limitaciones

9.8.1.1 Carga de fluencia. Las disposiciones de diseño de 9.6 para conexiones tubulares soldadas no son adecuadas para su uso en tubos circulares que tengan una fluencia mínima especificada, F_y , mayor de 60 ksi [415 MPa] o mayor de 52 ksi [360 MPa] para secciones rectangulares.

9.8.1.2 Fluencia efectiva reducida. La fluencia efectiva reducida será usada como F_{yo} en el diseño de conexiones tubulares con límites de F_{yo} como sigue:

(1) 2/3 de la resistencia a la tracción mínima especificada para secciones circulares (véase Notas en la Tabla 9.6).

(2) 4/5 de la resistencia a la tracción mínima especificada para secciones rectangulares (véase Figura 9.7).

9.8.1.3 Conexiones rectangulares T-, Y-, y K-. El diseñador debe tener en cuenta los requisitos especiales de los aceros utilizados en las conexiones rectangulares T-, Y-, y K-.

9.8.1.4 Precaución con ASTM A500. Los productos fabricados de acuerdo con esta especificación podrían no ser apropiados para aplicaciones tales como elementos bajo cargas dinámicas en estructuras soldadas, etc.,

donde las propiedades de tenacidad a la entalla a baja temperatura resultan importantes. Podría requerirse una investigación especial o un tratamiento térmico si se aplica este producto a conexiones tubulares T-, Y-, y K-.

9.8.2 Tenacidad a la entalla del metal base para conexiones tubulares

9.8.2.1 Requisitos del ensayo CVN. Los miembros tubulares soldados en tensión tendrán que demostrar una energía absorbida en ensayos CVN de 20 ft-lb a 70°F [27 J a 21°C] para las siguientes condiciones:

(1) Espesor de metal base de 2 pulg. [50 mm] o mayor con una carga de fluencia mínima especificada de 40 ksi [280 MPa] o mayor.

El ensayo CVN se realizará de conformidad con ASTM A673. (Frecuencia H, carga térmica). Para los fines de esta subsección, un miembro de tensión es definido como un miembro con un esfuerzo de tracción debido a cargas de diseño superior a 10 ksi [70 MPa].

9.8.2.2 Requisitos LAST. En los elementos tubulares usados como miembro principal en nodos estructurales, cuyo diseño se rige por un régimen de carga cíclico o de fatiga (por ej., el manguito de unión en conexiones T-, Y-, o K-), se exige demostrar una energía absorbida en ensayos CVN de 20 ft-lb [27 J] a la temperatura de servicio más baja prevista (LAST) en las siguientes condiciones:

(1) Espesor del metal base de 2 pulg. [50 mm] o mayor.

(2) Espesor del metal base de 1 pulg. [25 mm] o mayor con una carga de fluencia especificada de 50 ksi [345 MPa] o mayor.

Cuando LAST no está especificada, o la estructura no está bajo un régimen de carga cíclico o de fatiga, el ensayo deberá realizarse a una temperatura no mayor que 40°F [4°C]. El ensayo CVN representa normalmente los elementos tubulares proporcionados y probados de conformidad con la frecuencia H (carga térmica) de ASTM A673.

9.8.2.3 Tenacidad a la entalla alternativa. Se aplicarán requisitos de tenacidad a la entalla alternativos cuando se especifiquen en los documentos contractuales. El comentario brinda una guía adicional para diseñadores. La tenacidad debe ser considerada en relación con la redundancia versus la criticidad de la estructura en una etapa inicial de la planificación y el diseño.

Parte B

Precalificación de soldadura

Especificaciones del procedimiento

(WPS)

9.9 Requisitos de la soldadura en filete

9.9.1 Detalles. En el estado precalificado, las conexiones tubulares soldadas con filete deben cumplir con las siguientes disposiciones:

(1) **WPS precalificadas.** Las conexiones tubulares soldadas con filete realizadas por procesos SMAW, GMAW o FCAW que pueden utilizarse sin realizar los ensayos de calificación de WPS se detallan en la Figura 9.10 (véanse las limitaciones en 9.5.1.2). También se pueden utilizar estos detalles para GMAW-S calificado de conformidad con 9.15.4.3.

(2) **Detalles de las juntas traslapadas** se muestran en la Figura 9.3.

9.10 Requisitos PJP

9.10.1 Detalles. Los detalles de las soldaduras en ranura tubulares con PJP a las que se otorga un estado precalificado deben cumplir con las siguientes disposiciones:

(1) Las soldaduras en ranura tubulares con PJP, aparte de las conexiones en T-, Y-, y K-, pueden ser utilizadas sin realizar los ensayos de calificación de WPS cuando estas se puedan aplicar y deben cumplir con todas las limitaciones de dimensiones de junta conforme se describen en la Figura 3.2.

(2) Las conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con PJP, soldadas solamente mediante los procesos SMAW, GMAW o FCAW, pueden ser utilizadas sin realizar los ensayos de calificación de WPS cuando se puedan aplicar y deben cumplir con todas las limitaciones de dimensiones de junta conforme se describen en la Figura 9.11. También se pueden utilizar estos detalles para GMAW-S calificado de conformidad con 9.15.4.3.

9.10.1.1 Conexiones rectangulares de la misma resistencia. Los detalles para las soldaduras en ranura con PJP de estas conexiones, las dimensiones de esquina y los radios del tubo principal se muestran en la Figura 9.11. Es posible utilizar soldaduras en filete en las zonas de pie y de talón (véase Figura 9.10). Si la dimensión de la esquina o el radio del tubo principal, o ambos, son inferiores a las mostradas en la Figura 9.11, se deberá realizar una junta de muestra del detalle lateral y seccionarla para verificar el tamaño de la soldadura. La soldadura de ensayo debe realizarse en posición horizontal. Este requisito puede ignorarse si la tubería ramal está biselada como se muestra en la Figura 9.12 para las soldaduras en ranura con CJP.

9.11 Requisitos de soldaduras en ranura con CJP

9.11.1 Juntas a tope. Para que las soldaduras en ranura tubulares puedan recibir el estado de precalificado, se deben cumplir las siguientes condiciones:

(1) **WPS precalificadas.** Cuando es posible realizar la soldadura de ambos lados o la soldadura de un lado con respaldo, se puede utilizar cualquier WPS y detalle de ranura que esté adecuadamente precalificado de con-

formidad con la Sección 3, salvo que la SAW esté precalificada solamente para diámetros superiores o iguales a 24 pulg. [600 mm]. Los detalles de la junta soldada deben cumplir con la Sección 3.

(2) **Detalle de junta no precalificado.** No hay detalles de junta precalificados para soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope realizados desde un lado sin respaldo (véase 9.15.2).

9.11.2 Conexiones tubulares T-, Y-, y K-. Los detalles para soldaduras en ranura con CJP, soldadas en un lado sin respaldo en conexiones tubulares T-, Y- y K utilizadas en tubos circulares se describen en esta Sección. El rango aplicable de los Detalles A, B, C y D se describe en las Figuras 9.12 y 9.13, y los rangos de los ángulos diedros locales [Ψ], correspondientes a los descritos en la Tabla 9.7.

Las dimensiones de junta que incluyen los ángulos de ranura se describen en la Tabla 9.8 y la Figura 9.14. Al seleccionar un perfil (compatible con la categoría de fatiga utilizada en el diseño) como función del espesor, se deben observar las pautas de 9.2.7.7. En la Figura 9.15 se describen los perfiles alternativos de soldadura que pueden requerirse para secciones más gruesas. En ausencia de requisitos especiales de fatiga, estos perfiles pueden ser aplicables a espesores de ramales que excedan de 5/8 pulg. [16 mm].

Los perfiles de soldadura mejorados que cumplen con los requisitos de 9.2.7.6 y 9.2.7.7 se describen en la Figura 9.16. En ausencia de requisitos especiales de fatiga, estos perfiles son aplicables a espesores de ramales que excedan de 1-1/2 pulg. [38 mm] (no requerido para carga estática de compresión).

Los detalles precalificados para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K que utilizan secciones rectangulares se describen con más detalle en la Figura 9.12. Los detalles previos están sujetos a la limitación de 9.11.1.

NOTA: Consulte el Comentario (C-9.15.4) para obtener una orientación técnica en la selección de un perfil adecuado.

Las dimensiones de la junta y los ángulos de ranura no deberán variar de los rangos detallados en la Tabla 9.8 y mostrados en la Figura 9.12 y Figuras 9.14–9.16. La cara de la raíz de las juntas debe ser cero excepto que esté dimensionada de otro modo. Puede estar detallada para exceder de cero o la dimensión especificada por no más de 1/16 pulg. [2 mm]. No puede detallarse menos de las dimensiones especificadas.

9.11.2.1 Detalles de la junta. Los detalles para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares T-, Y-, y K- se describen en 9.11.2. Estos detalles están precalificados para los procesos SMAW y FCAW. Estos detalles también se pueden utilizar para el proceso GMAW-S calificado de acuerdo con 9.15.4.3.

Parte C

Calificación de especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

9.12 Requisitos comunes para WPS y calificación de habilidad del personal de soldadura

9.12.1 Posiciones de las soldaduras. Las soldaduras serán clasificadas como plana (F), horizontal (H), vertical (V) y sobrecabeza (OH), de acuerdo con las definiciones que se muestran en las Figuras 4.1 y 4.2.

Las posiciones de montaje del ensayo se muestran en:

- (1) Figura 9.17 (soldaduras en ranura en tubo o tubería)
- (2) Figura 9.18 (soldaduras en filete en tubo o tubería)

9.13 Posiciones calificadas de la soldadura para la producción

Las posiciones de la soldadura para la producción tubular, calificadas por un ensayo tubular, deben cumplir con los requisitos de la Tabla 9.9. Las posiciones de la soldadura para la producción tubular, calificadas por un ensayo de placa, deben cumplir con los requisitos de la Sección 4 y la Tabla 4.1.

9.14 Tipos de ensayos de calificación, métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS

El tipo y la cantidad de ensayos de calificación necesarios para calificar una WPS para un determinado espesor o diámetro o ambos, deben cumplir con la 9.10 (CJP), Tabla 9.11 (PJP), o Tabla 9.12 (Filete). Los detalles de los ensayos mecánicos y NDT individuales se encuentran en 4.5.

Los conjuntos de ensayo soldados tendrán probetas de metal de soldadura preparadas mediante el corte del tubo o tubería como se muestra en la Figura 9.19 o la Figura 9.20. Los métodos de ensayo y los criterios de aceptación estarán de acuerdo con 4.9, con las siguientes excepciones:

- (1) Para conexiones en T-, Y-, y K-, la fusión completa no está limitada.
- (2) Para tubulares, la circunferencia total de la soldadura deberá examinarse con RT o UT en conformidad con la Sección 6, Parte C y Sección 9, Parte F, según proceda.

9.15 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares

Las soldaduras en ranura con CJP deben clasificarse como se indica a continuación:

- (1) Juntas a tope con CJP con respaldo o ranurado del lado opuesto (véase 9.15.1).
- (2) Juntas a tope con CJP sin respaldo soldado desde un solo lado (véase 9.15.2).
- (3) Conexiones en T-, Y-, y K- con respaldo o ranurado del lado opuesto (véase 9.15.3).
- (4) Conexiones en T-, Y-, o K- sin respaldo soldadas desde un solo lado (véase 9.15.4).

9.15.1 Juntas a tope con CJP con respaldo o ranurado del lado opuesto. Una WPS con respaldo o ranurado del lado opuesto se debe calificar utilizando el detalle mostrado en la Figura 9.23(A) (con ranurado del lado opuesto) o la Figura 9.23(B) (con respaldo).

9.15.2 Juntas a tope con CJP sin respaldo soldadas desde un solo lado. Una WPS sin respaldo soldado desde un solo lado se debe calificar utilizando el detalle de junta de la Figura 9.23(A).

9.15.3 Conexiones en T-, Y-, y K- con respaldo o ranurado del lado opuesto. Una WPS para conexiones tubulares en T-, Y-, o K- con respaldo o ranurado del lado opuesto se debe calificar utilizando:

- (1) el OD nominal apropiado del tubo seleccionado en la Tabla 9.10, y
- (2) el detalle de junta de la Figura 9.23(B), o
- (3) en el caso de tubos con OD nominales iguales o superiores a 24 pulg. [600 mm], una calificación de placa en conformidad con 4.9 utilizando el detalle de junta de la Figura 9.23(B).

9.15.4 Conexiones en T-, Y-, o K- sin respaldo soldado desde un solo lado. Cuando se requiere la calificación, una WPS para conexiones en T-, Y-, o K- sin respaldo soldado desde un lado solamente exigirá lo siguiente:

9.15.4.1 WPS sin estado precalificado. En el caso de las WPS cuyas variables esenciales estén fuera del rango precalificado, se exigirá lo siguiente para la calificación de soldaduras en ranura tubular con CJP:

- (1) Calificación según la Figura 9.25 para tubos con diámetros externos superiores o iguales a 4 pulg. [100 mm] o Figura 9.25 y Figura 9.27 para tubos rectangulares. Calificación según la Figura 9.26 para tubos con diámetros externos menores de 4 pulg. [100 mm] o la Figura 9.26 y Figura 9.27 para tubos rectangulares.

- (2) Una junta de muestra o maqueta tubular. Una junta de muestra o maqueta tubular debe proporcionar como mínimo una sección para ensayo de macroataque para cada una de las siguientes condiciones:

- (a) La ranura que combina la mayor profundidad con el ángulo más pequeño de la ranura o la combinación

de las ranuras que serán utilizadas: ensayo con soldadura en posición vertical.

- (b) La abertura de raíz más angosta a ser utilizada con un ángulo de ranura de 37,5°: un ensayo soldado en posición plana y un ensayo soldado en posición sobre cabeza.

- (b) La abertura de raíz más ancha a utilizar con un ángulo de ranura de 37,5°: un ensayo a ser soldado en posición plana y un ensayo a ser soldado en posición sobre cabeza.

- (d) Solo para conexiones rectangulares coincidentes, el ángulo mínimo de ranura, la dimensión de la esquina y el radio de la esquina a ser utilizados en combinación: un ensayo en posición horizontal.

- (3) Las probetas para ensayo de macroataque necesarias para los puntos (1) y (2) anteriores se deben examinar en busca de discontinuidades y deben tener:

- (a) Ausencia de grietas
- (b) Fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base
- (c) Perfiles de soldadura que cumplan con los detalles especificados, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en 5.23.
- (d) Ninguna socavación que exceda los valores permitidos en 6.9.
- (e) Para porosidad de 1/32 pulgadas [1 mm] o mayor, la porosidad acumulada no debe exceder 1/4 de pulgada [6 mm].
- (f) Ninguna escoria acumulada, la suma de la mayor dimensión de la cual no debe exceder de 1/4 pulg. [6 mm]

Las probetas que no cumplan con (a) hasta (f) deben considerarse inaceptables; de (b) hasta (f) no se aplica a la soldadura de respaldo.

9.15.4.2 WPS para soldaduras en ranura con CJP en una conexión T-, Y-, o K- con ángulos diedros menores de 30°. Se debe exigir la junta de muestra descrita en 9.15.4.1(2)(a). Deberán cortarse tres secciones para macroataque de las probetas de ensayo que estarán de acuerdo con los requisitos de 9.15.4.1(3), y verificar la soldadura teórica requerida (con las tolerancias admitidas para las soldaduras de respaldo a descontar, tal como se indican en los Detalles C y D de las Figuras 9.14–9.16) (véase Figura 9.24 para los detalles de la junta de ensayo).

9.15.4.3 WPS para soldaduras en ranura con CJP en una conexión T-, Y-, o K- usando el proceso GMAW-S. En conexiones en T-, Y-, y K-, donde se utiliza el proceso GMAW-S, deberá requerirse la calificación en conformidad con la Sección 4 antes de soldar las configuraciones de las juntas estándares detalladas en 9.11.2. La junta de ensayo debe incorporar una sola ranura biselada de 37,5°, desalineación de la raíz y anillo de restricción tal como se muestra en la Figura 9.25.

9.15.4.4 Soldaduras con requerimiento de tenacidad CVN. Las WPS para juntas a tope (costuras longitu-

dinales o circunferenciales) dentro de 0,5D de miembros ramales adosados, en los manguitos de las juntas de conexión tubular que requieren ensayos CVN, de acuerdo con 9.8.2.2, deberán verificar una energía absorbida para el metal de soldadura durante el ensayo CVN de 20 pie-libra [27 J], a temperatura LAST (más baja temperatura esperada de servicio) o 0°F [-18°C], la que sea más baja. Si las especificaciones de la AWS para los materiales de soldadura a utilizarse no abarcan este requisito, o si la soldadura de producción está fuera del rango cubierto por ensayos previos, por ejemplo, los ensayos de la AWS para las especificaciones de metal de aporte, entonces los ensayos CVN del metal de soldadura deben realizarse durante la calificación de la WPS, según se describe en la Sección 4, Parte D.

9.16 PJP y soldadura en filete para conexiones tubulares T-, Y-, o K-, y juntas a tope

Cuando se especifican soldaduras en ranura con PJP en conexiones T-, Y-, o K- o en soldaduras a tope, la calificación debe cumplir con la Tabla 9.11. Cuando se especifican soldaduras en filete en conexiones T-, Y-, o K-, la calificación debe cumplir con 4.12, la Tabla 9.12 y la Figura 9.21.

PARTE D Calificación del desempeño

9.17 Posiciones de soldadura de producción, espesores y diámetros de producción calificados

9.17.1 Soldadores y operarios de soldadura. Las posiciones de soldadura de producción tubular calificadas por un ensayo tubular para soldadores y operarios de soldadura deben cumplir con la Tabla 9.13. Las posiciones de soldadura de producción tubular calificadas por un ensayo de placa para soldadores y operarios de soldadura deben cumplir con la Sección 4 y la Tabla 4.10.

Para las pruebas en tubulares, el número y tipo de probetas de ensayo y el rango de espesores y diámetros de soldaduras de producción calificadas para las cuales un soldador u operador de soldadura estará calificado, deberán estar en conformidad con la Tabla 9.14. Las probetas para los ensayos mecánicos deberán ser preparadas cortando el tubo o la tubería tal como se muestra en la Figura 9.28 y como se especifica en 4.16.1.2.

Si los ensayos se realizan usando una placa, las limitaciones de calificación deberán estar en conformidad con la Tabla 4.11.

9.17.2 Soldadores punteadores. La calificación para los soldadores punteadores debe ser para espesores ma-

yores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm] y todos los diámetros de tubulares pero no incluye juntas a tope con CJP, y conexiones en T-, Y-, y K- soldadas de un solo lado. La soldadura de punteado en la excepción anterior debe ser realizada por soldadores completamente calificados para el proceso y en la posición en la que se debe realizar la soldadura.

9.18 Tipos de soldadura para la calificación de desempeño de soldadores y operarios de soldadura

A los fines de calificación de soldadores y operarios de soldadura, los tipos de soldadura deberán clasificarse como sigue:

- (1) Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares (véase 9.19)
- (2) Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares (véase 9.20)
- (3) Soldaduras en filete para conexiones tubulares (véase 9.21)

Las soldaduras de placa paralelas a la línea central de la conexión tubular y las soldaduras de cordón longitudinal a la conexión tubular no requieren calificación tubular y pueden ser calificadas usando la Sección 4 (véase Comentario).

9.19 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares

Los ensayos de calificación para soldadores u operarios de soldadura deben utilizar los siguientes detalles:

- (1) Juntas a tope con CJP con respaldo o ranurado del lado opuesto en el tubo. Véase Figura 9.22(B)
- (2) Juntas a tope de ranura con CJP sin respaldo o ranurado del lado opuesto. Véase Figura 9.22(A)
- (3) Juntas a tope de ranura con CJP o conexiones en T-, Y-, y K- con respaldo en tubo de sección rectangular. Utilice la Figura 9.22(B) en tubo (cualquier diámetro), placa o tubo de sección rectangular.
- (4) Conexiones en T-, Y-, y K- en ranura con CJP soldadas de un lado con respaldo en el tubo. Utilice la Figura 9.22(B) en el tubo del diámetro adecuado.
- (5) Conexiones T-, Y-, y K- en ranura con CJP soldadas de un lado sin respaldo en el tubo. Utilice la Figura 9.25 para un diámetro nominal de tubo de ≥ 6 pulg. [150 mm] o la Figura 9.26 para tubo nominal ≤ 4 pulg. [100 mm]
- (6) Conexión T-, Y-, y K- en ranura con CJP soldadas de un lado sin respaldo o ranurado en el lado opuesto en tubo de sección rectangular. Las opciones son las siguientes:

(a) Figura 9.25 para tubo (cualquier diámetro) o tubo de sección rectangular y la Figura 9.27 en tubo de sección rectangular.

(b) Figura 9.25 para tubo de sección rectangular con probetas de macroataque extraídas de las ubicaciones que se muestran en la Figura 9.27.

Vea en la Tabla 9.14 para los rangos de diámetros y espesores calificados para la producción en relación con el conjunto de diámetros y espesores de las probetas de ensayo.

9.19.1 Otros detalles de juntas o WPS. En el caso de detalles de juntas, WPS o profundidad asumida de las soldaduras sólidas que son más difíciles que las descritas aquí, cada soldador debe realizar el ensayo descrito en 9.15.4.2 además de los ensayos 6GR (véase Figuras 9.26 o 9.27). El ensayo debe realizarse en posición vertical.

9.20 Soldaduras en ranura con PJP para conexiones tubulares

La calificación para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares calificará para todas las soldaduras en ranura con PJP.

9.21 Soldaduras en filete para conexiones tubulares

Vea en la Tabla 9.14 los requisitos de calificación de la soldadura en filete.

9.22 Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de soldadores y operarios de soldadura

9.22.1 Ensayo de macroataque para conexiones en T-, Y-, y K-. La junta en esquina para el ensayo de macroataque para conexiones en T-, Y-, y K- en tubos de sección rectangular, en la Figura 9.27, deberá tener cuatro probetas de macroataque cortadas en las esquinas de la soldadura de acuerdo con las ubicaciones que se muestran en la Figura 9.27. Una cara de cada probeta de esquina debe ser pulida para el ataque macrográfico. Si el soldador realiza un ensayo en una probeta 6GR (Figura 9.26) utilizando el tubo de sección rectangular, las cuatro probetas necesarias para el ensayo de macroataque de esquina podrán ser cortadas de las esquinas de la probeta 6GR en forma similar a la Figura 9.27. Una cara de cada probeta de esquina debe ser pulida para el ataque macrográfico.

9.22.1.1 Criterios de aceptación del ensayo de macroataque. Para que la calificación sea aceptable, la probeta de ensayo, al ser inspeccionada visualmente, debe cumplir con la Sección 4 y los siguientes requisitos:

(1) Las soldaduras en filete y la junta de ensayo de macroataque de esquina para las conexiones en T-, Y-, y

K- en tubos de sección rectangular, Figura 9.27, deben tener:

(a) Ausencia de grietas

(b) Fusión completa entre las capas adyacentes de metales de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base

(c) Perfiles de soldadura que cumplan con los detalles previstos, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en 5.23.

(d) Ninguna socavación que exceda de 1/32 pulg. [1 mm]

(e) En el caso de porosidad de 1/32 pulg. [1 mm] o mayor, la porosidad acumulada no debe exceder de 1/4 pulg. [6 mm]

(f) Ninguna escoria acumulada, la suma de las mayores dimensiones no debe exceder de 1/4 pulg. [4 mm]

9.22.2 Procedimiento y técnica del ensayo radiográfico (RT). Los tubos o las tuberías soldados de prueba de 4 pulg. [100 mm] de diámetro o más se deben examinar para que al menos la mitad del perímetro de la soldadura seleccionada incluya una muestra de todas las posiciones de soldadura. Por ejemplo, un tubo para ensayo o tubo soldado en la posición 5G, 6G o 6GR debe ser radiografiado desde la línea central superior hasta la línea central inferior en cualquiera de los lados. Los tubos o tuberías de ensayo de diámetro inferior a 4 pulg. [100 mm] requieren obligatoriamente el 100% de RT.

Parte E Fabricación

9.23 Respaldo

9.23.1 Respaldo de longitud completa. A excepción de lo permitido a continuación, el respaldo de acero deberá hacerse continuo, a través de la longitud completa de la soldadura. Todas las juntas en el respaldo de acero deben ser juntas de soldadura en ranura con CJP que cumplan con todos los requisitos de la Sección 5 de este código.

Para aplicaciones cargadas estáticamente, se permite realizar el respaldo para soldaduras a los extremos de las secciones cerradas, tal como secciones estructurales huecas (HSS), a partir de una o dos piezas con discontinuidades sin empalmes donde se cumplan todas las siguientes condiciones:

(1) El espesor nominal de la pared de la sección cerrada no excede de 5/8 pulg. [16 mm].

(2) El perímetro exterior de la sección cerrada no excede de 64 pulg. [1625 mm].

(3) El respaldo es transversal al eje longitudinal de la sección cerrada.

(4) La interrupción en el respaldo no excede de 1/4 pulg [6 mm].

(5) La soldadura con respaldo discontinuo no está más cerca que el diámetro de la HSS o la dimensión principal de la sección transversal de otros tipos de conexiones.

(6) La interrupción en el respaldo no está localizada en las esquinas.

En el caso de columnas de sección rectangular cargadas estáticamente, se permite el respaldo discontinuo en las esquinas soldadas con CJP, en los empalmes en sitio y en los detalles de conexión. Se permite el respaldo discontinuo en otras secciones cerradas, donde lo apruebe el ingeniero.

NOTA: El respaldo de acero disponible comercialmente para tubos y tuberías es aceptable, siempre que no haya evidencia de fusión en las superficies internas expuestas.

9.24 Tolerancia en las dimensiones de la junta

9.24.1 Alineación de soldadura circunferencial (tubular). Las piezas colindantes que se van a unir mediante soldaduras circunferenciales deben ser cuidadosamente alineadas. No se deben ubicar dos soldaduras circunferenciales a una distancia menor que el diámetro del tubo o 3 pies [1 m], lo que sea menor. No debe haber más de dos soldaduras circunferenciales en cualquier intervalo de 10 pies [3 m] del tubo, a excepción de que lo acuerden el propietario y el contratista. La desalineación radial de bordes colindantes de costuras circunferenciales no debe exceder de $0,2t$ (donde t es el espesor del miembro más delgado) y el máximo admisible debe ser de 1/4 pulg. [6 mm] siempre que cualquier desalineación que exceda de 1/8 pulg. [3 mm] se suelde de ambos lados. Sin embargo, con la aprobación del ingeniero, se podrá admitir una desalineación de $0,3t$ con un máximo de 3/8 pulgada [10 mm]; siempre que la zona localizada tenga menos de $8t$ de longitud. Se deberá agregar metal de aporte a esta región para proporcionar una transición de 4 a 1 y puede agregarse en conjunto al efectuar la soldadura. Las desalineaciones mayores a estas deberán corregirse de acuerdo con lo estipulado en 5.21.3. Las costuras de soldaduras longitudinales de secciones adyacentes deberán desplazarse un mínimo de 90°, a menos que se acuerde un espacio más cercano entre el Propietario y el fabricante.

9.24.2 Dimensiones de la ranura

9.24.2.1 Variaciones de la sección transversal de miembros tubulares. La variación de la dimensión de la sección transversal de las juntas soldadas en ranura con respecto de aquellas mostradas en los planos de detalle, debe cumplir con 5.21.4.1 excepto:

(1) Las tolerancias para conexiones en T-, Y-, y K- están incluidas en los rangos dados en 9.11.2.

(2) Las tolerancias que se muestran en la Tabla 9.15 se aplican a soldaduras tubulares en ranura con CJP con juntas a tope realizadas de un lado solamente, sin respaldo.

PARTE F Inspección

9.25 Inspección visual

Todas las soldaduras deben inspeccionarse visualmente y serán aceptables si cumplen con los criterios de la Tabla 9.16.

9.26 NDT

9.26.1 Alcance. Los criterios de aceptación para inspección de conexiones tubulares se describen en la Parte C de la Sección 6, según proceda, y la Parte F de esta sección. Los criterios de aceptación deben especificarse en los documentos contractuales en la información suministrada a los licitadores.

9.26.2 Requisitos para conexiones tubulares. En juntas de ranura a tope con CJP soldadas de un solo lado sin respaldo, debe examinarse el largo total de todas las soldaduras tubulares de producción finalizadas mediante RT o UT. Los criterios de aceptación deben cumplir con 6.12.1 para RT (véase Figura 6.1) o 9.27.1 para UT, según corresponda.

9.27 UT

9.27.1 Criterios de aceptación para conexiones tubulares. Los criterios de aceptación para UT deben cumplir con lo dispuesto en los documentos del contrato. La Clase R o la Clase X o ambas pueden ser incorporadas según referencia. Los criterios de aceptación basados en la amplitud según se proporcionan en 6.13.1 pueden ser utilizados también para soldaduras en ranura en juntas a tope en tuberías de 24 pulg. [600 mm] de diámetro y más, siempre y cuando se cumpla con todas las disposiciones relevantes de la Sección 6, Parte F. Sin embargo, estos criterios de amplitud no deben aplicarse a conexiones tubulares en T-, Y-, y K-.

9.27.1.1 Clase R (aplicable cuando se utiliza UT como alternativa a RT). Todas las indicaciones que tengan la mitad (6 dB) o menos amplitud que el nivel de sensibilidad estándar (con la debida consideración a 9.30.6) deben ser ignoradas. Las indicaciones que superen el nivel de descarte deben ser evaluadas del siguiente modo:

(1) Se deben aceptar los reflectores esféricos aleatorios aislados, con una separación mínima de 1 pulg. [25 mm] hasta el nivel de sensibilidad estándar. Los reflectores de mayor tamaño deben ser evaluados como reflectores lineales.

(2) Los reflectores esféricos alineados deben ser evaluados como reflectores lineales.

(3) Los reflectores esféricos agrupados con una densidad de más de uno por pulgada cuadrada [645 milímetros cuadrados] con indicaciones superiores a los niveles

de descarte (área proyectada normal a la dirección del esfuerzo aplicado, promediada sobre una longitud de soldadura de 6 pulg. [150 mm]) deben ser rechazados.

(4) Los reflectores lineales o planares cuyas longitudes (extensiones) excedan los límites de la Figura 9.29 deben ser rechazados. Además, los reflectores de raíz no deben exceder los límites de la Clase X.

9.27.1.2 Clase X (criterios de adecuación al servicio basados en la experiencia aplicables a conexiones en T-, Y-, y K- en estructuras con soldaduras con tenacidad a la entalla). Todas las indicaciones con la mitad (6dB) o menos amplitud que el nivel de sensibilidad estándar (con la debida consideración a 9.30.6) deben ser ignoradas. Las indicaciones que superen el nivel de descarte deben ser evaluadas del siguiente modo:

(1) Los reflectores esféricos deben ser como los descritos en la Clase R, excepto que cualquier indicación dentro de los siguientes límites lineales o planares debe ser aceptable.

(2) Los reflectores lineales o planares se deben evaluar por medio de técnicas de límite del haz y aquellos cuyas dimensiones excedan los límites de la Figura 9.30 deben ser rechazados. El área de raíz se debe definir como aquella que se encuentra dentro de 1/4 pulg. [6 mm] o $t_w/4$, la que sea el mayor, de la raíz de la soldadura teórica, como se muestra en la Figura 9.14.

9.28 Procedimientos de RT

9.28.1 Procedimiento. Además de los requisitos de 6.17, la selección IQI deberá estar en conformidad con las Tablas 9.17 y 9.18 y las Figuras 6.4 y 6.5.

9.28.2 Selección y ubicación de los IQI. Los IQI se deben seleccionar y ubicar en el área de interés de la soldadura que esté siendo radiografiada, según se muestra en la Tabla 9.19. Cuando se radiografía una soldadura circunferencial completa de un tubo con una sola exposición y la fuente de radiación se coloca en el centro de la curvatura, se deben utilizar como mínimo tres IQI con la misma distancia entre ellos. El respaldo de acero no debe ser considerado parte de la soldadura ni del refuerzo de la soldadura en la selección del IQI.

9.29 Requisitos complementarios de RT para conexiones tubulares

9.29.1 Soldaduras en ranura circunferenciales en juntas a tope. La técnica utilizada para radiografiar juntas a tope circunferenciales debe ser capaz de cubrir la totalidad de la circunferencia. La técnica será preferentemente de exposición de pared única/vista de pared única. Cuando la accesibilidad o el tamaño del tubo lo impida, la técnica puede ser de exposición de pared doble /vista de pared única o exposición de pared doble /vista de doble pared.

9.29.1.1 Exposición de pared única/vista de pared única. La fuente de la radiación estará ubicada dentro del tubo y la película en el exterior del tubo (véase Figura 9.31). Se puede realizar la exposición panorámica si se cumple con los requisitos de fuente a objeto, de lo contrario se debe realizar un mínimo de 3 exposiciones. Es posible seleccionar el IQI y colocarlo del lado de la fuente del tubo. Si esto no fuera posible, se puede colocar del lado de la película en el tubo.

9.29.1.2 Exposición de pared doble/vista de pared única. Cuando el acceso o las condiciones geométricas impidan una exposición de pared única, la fuente podrá ubicarse en el exterior del tubo y la película en la pared opuesta, exterior, del tubo (véase Figura 9.32). Se debe realizar un mínimo de tres exposiciones para cubrir la circunferencia completa. Es posible seleccionar el IQI y colocarlo sobre el lado de la película del tubo.

9.29.1.3 Exposición de pared doble/vista de pared doble. Cuando el diámetro externo del tubo es de 3-1/2 pulg. [90 mm] o menos, las soldaduras del lado de la fuente y del lado de la película pueden ser proyectadas en la película y observar ambas paredes para su aceptación. La fuente de la radiación debe estar desplazada del tubo una distancia de al menos siete veces el diámetro externo. El haz de radiación debe estar desplazado del plano de la línea central de la soldadura con un ángulo suficiente como para separar las imágenes de las soldaduras del lado de la fuente y del lado de la película. No debe haber traslape de las dos zonas interpretadas. Se requerirá un mínimo de dos exposiciones a 90° una de otra (véase Figura 9.33). La soldadura puede ser radiografiada también superponiendo las dos soldaduras, en cuyo caso debe realizarse un mínimo de tres exposiciones a 60° una de otra (véase Figura 9.34). En cada una de estas dos técnicas, el IQI deberá colocarse sobre el lado de la fuente del tubo.

9.30 UT de conexiones tubulares en T-, Y-, y K-

9.30.1 Procedimiento. Todo UT debe cumplir con un procedimiento escrito que haya sido preparado o aprobado por un individuo certificado como SNT-TC-1A, Nivel III y con experiencia en UT de estructuras tubulares. El procedimiento debe estar basado en los requisitos de esta sección y la Sección 6, Parte F, si corresponde. El procedimiento debe contar, como mínimo, con la siguiente información respecto del método y técnicas UT:

(1) El tipo de configuración de la junta soldada a ser examinada (es decir, el rango aplicable de diámetro, espesor y ángulo diedro local). Las técnicas convencionales están limitadas generalmente a los diámetros de 12-3/4 pulg. [325 mm] y mayores, espesores de 1/2 pulg. [12 mm] y superiores y ángulos diedros locales de 30° o superiores. Es posible utilizar técnicas especiales para lados más pequeños, siempre y cuando estén calificadas conforme se describe en el presente, utilizando el tamaño más pequeño de la aplicación.

(2) Criterios de aceptación para cada tipo y tamaño de soldadura

(3) Tipos de instrumento de UT (marca y modelo)

(4) Frecuencia del transductor (unidad de búsqueda), tamaño y forma del área activa, ángulo del haz y tipo de cuña en sondas con haz angular. Los procedimientos que utilizan transductores con frecuencias de hasta 6 MHz, con tamaño menor que 1/4 pulg. [6 mm] y de formas diferentes a las especificadas en otro lugar, pueden ser utilizados siempre que estén calificados como se describe en el presente.

(5) Preparación de la superficie y acoplamiento (donde se utilice)

(6) Tipo de bloque para ensayo de calibración y reflector de referencia

(7) Método de calibración y precisión requerida para la distancia (barrido), linealidad vertical, dispersión del haz, ángulo, sensibilidad y resolución.

(8) Intervalo de recalibración para cada elemento del punto (7) anterior.

(9) Método para determinar la continuidad acústica del metal base (véase 9.30.4) y para establecer la geometría como una función del ángulo diedro local y el espesor.

(10) Patrón de escaneo y sensibilidad (véase 9.30.5).

(11) Corrección de transferencia para la curvatura y rugosidad de la superficie (donde se utilicen métodos de amplitud) (véase 9.30.3).

(12) Métodos para determinar el ángulo efectivo del haz (en material curvado), indexando el área de la raíz y la ubicación de las discontinuidades

(13) Método de determinación de la longitud y la altura de la discontinuidad

(14) Método de verificación de la discontinuidad durante la remoción y reparación.

9.30.2 Personal. Además de los requisitos de personal de 6.14.6, cuando se realicen exámenes de las conexiones en T-, Y-, y K-, el operador debe demostrar su capacidad para aplicar las técnicas especiales requeridas para tales exámenes. A estos efectos, se deben realizar ensayos prácticos sobre soldaduras modelo que representen el tipo de soldaduras a ser inspeccionadas, incluyendo un rango representativo del ángulo diedro y espesor que se encontrarán en la producción, utilizando los procedimientos aplicables calificados y aprobados. Cada modelo debe contener discontinuidades naturales o artificiales que produzcan indicaciones de UT por encima y por debajo de los criterios de rechazo especificados en el procedimiento aprobado.

El desempeño será juzgado sobre la base de la capacidad del operador para determinar el tamaño y la clasificación de cada discontinuidad con la precisión requerida para aceptar o rechazar cada soldadura y para ubicar con precisión las discontinuidades inaceptables a lo largo de la

soldadura y dentro de la sección transversal de la soldadura. Al menos el 70% de las discontinuidades inaceptables deben identificarse correctamente como inaceptables. Cada discontinuidad que excede sus dimensiones máximas aceptables por un factor de dos o por una amplitud de 6 dB debe ser ubicada e informada.

9.30.3 Calibración. La calificación del equipo de UT y los métodos de calibración deben cumplir con los requisitos del procedimiento aprobado y con la Sección 6, Parte F, con excepción de lo siguiente:

9.30.3.1. Rango. La calibración de rango (distancia) debe incluir, como mínimo, la distancia total de la trayectoria del sonido que será utilizada durante el examen específico. Esto se puede ajustar para que represente el desplazamiento de la trayectoria del sonido, la distancia a la superficie o la profundidad equivalente por debajo de la superficie de contacto, mostrada a lo largo de la escala horizontal del instrumento como se describe en el procedimiento aprobado.

9.30.3.2 Calibración de sensibilidad. La sensibilidad estándar para la evaluación de soldaduras de producción utilizando técnicas de amplitud debe ser: sensibilidad básica + corrección de amplitud por distancia + corrección de transferencia. Esta calibración debe ser realizada como mínimo una vez para cada junta que deba ser evaluada, excepto para pruebas repetitivas del mismo tamaño y configuración, donde se puede utilizar la frecuencia de calibración de 6.24.3.

(1) **Sensibilidad básica.** El nivel de referencia de altura de pantalla obtenido utilizando la reflexión máxima del orificio de 0,060 pulg. [1,5 mm] de diámetro en el bloque tipo IIW (u otro bloque que tenga la misma sensibilidad de calibración básica) conforme se describe en 6.24 (o 6.27).

(2) **Corrección de amplitud por distancia.** El nivel de sensibilidad debe ser ajustado para prepararse para una pérdida por atenuación a lo largo del rango de la trayectoria del sonido a utilizar ya sea por las curvas de corrección de la amplitud por distancia, medios electrónicos o conforme se describe en 6.25.6.4. Cuando se utilizan transductores de alta frecuencia, se debe considerar la mayor atenuación. Podrá utilizarse la corrección de transferencia para adaptar el UT a través de delgadas capas de pintura que no excedan las 10 milésimas de pulgada [0,25 mm] de espesor

9.30.4 Examen del metal base. Toda el área sometida al escaneo UT debe examinarse por medio de la técnica de onda longitudinal para detectar deflectores laminares que podrían interferir con la propagación dirigida prevista de la onda de sonido. Todas las zonas que contengan reflectores laminares deberán ser marcadas para la identificación previa a la evaluación de la soldadura y se deben considerar las consecuencias en la selección de los ángulos de la unidad de escaneo y las técnicas de evaluación para las soldaduras en esa zona. Se debe notificar al ingeniero sobre las discontinuidades del material base que excedan los límites de 5.14.5.1.

9.30.5 Escaneo de la soldadura. El escaneo de las conexiones en T-, Y-, y K- debe realizarse desde la superfi-

cie del miembro ramal (véase Figura 9.35). Todas las evaluaciones deben realizarse en las piernas I y II cuando sea posible. Para el escaneo inicial, se debe aumentar la sensibilidad 12 dB por encima de lo establecido en 9.30.3 para la máxima trayectoria del sonido. La evaluación de la indicación debe realizarse con referencia a la sensibilidad estándar.

9.30.6 Ángulo óptimo. Las indicaciones encontradas en las áreas de la raíz de las soldaduras en ranura en juntas a tope y a lo largo de la cara de fusión de todas las soldaduras debe ser evaluada también con ángulos de búsqueda de 70°, 60° o 45°, el que esté más cerca de ser perpendicular a la cara de fusión esperada.

9.30.7 Evaluación de discontinuidades. Las discontinuidades se deben evaluar por medio de una combinación de límite de haz y técnicas de amplitud. Los tamaños se deben proporcionar como longitud y altura (dimensión de profundidad) o amplitud, según corresponda. La amplitud deberá estar relacionada con la "calibración estándar". Además, las discontinuidades deberán ser clasificadas como lineales o planares versus esféricas, observando los cambios en la amplitud cuando se hace oscilar el transductor en un arco centrado en el reflector. Se debe determinar la ubicación (posición) de las discontinuidades dentro de la sección transversal de soldadura, así como también desde un punto de referencia establecido a lo largo del eje de soldadura.

9.30.8 Informes

9.30.8.1 Formularios. El técnico de ultrasonido debe completar durante la inspección un formulario de informe que identifique claramente el trabajo y el área de inspección. Se debe completar un informe detallado y un esquema que muestre la ubicación a lo largo del eje de soldadura, la ubicación dentro de la sección transversal de soldadura, el tamaño (o clasificación de indicación), la extensión, la orientación y la clasificación para cada discontinuidad.

9.30.8.2 Discontinuidades informadas. Cuando así se especifique, también deberán ser informadas las discontinuidades cercanas a un tamaño inaceptable, particularmente aquellas en las que haya alguna duda en cuanto a su evaluación.

9.30.8.3 Inspección incompleta. Se deben mencionar las áreas en las que no fue posible una inspección completa, junto con la razón por la cual no fue completada la inspección.

9.30.8.4 Marcas de referencia. Salvo que se especifique lo contrario, la posición de referencia, la ubicación y la extensión de las discontinuidades inaceptables deben también marcarse físicamente sobre la pieza de trabajo.

Tabla 9.1
Parámetros de diseño para tensiones de fatiga (véase 9.2.7.2)

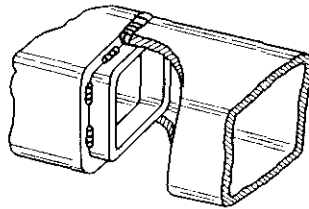
Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 1—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo					
<u>1.1</u> Metal base y metal de aporte en o adyacente a empalmes a tope de soldadura en ranura con CJP con respaldo en su lugar. Soldaduras de punteado dentro de la ranura Soldaduras de punteado fuera de la ranura y no más cerca de 1/2 pulg. [12 mm] del borde del metal base.	D E	22×10^8 11×10^8	7 [48] 4.5 [31]	Desde el pie de la soldadura en ranura o el pie de la soldadura que fija el respaldo	<u>1.1</u> 

Tabla 9.2
Esfuerzos admisibles en soldaduras de conexiones tubulares 9.2.4)

Tipo de soldadura	Aplicación tubular	Clase de esfuerzo	Diseño por esfuerzo admisible (ASD)	Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD)		Metal de aporte requerido Nivel de resistencia ^a
			Esfuerzo admisible	Factor de resistencia Φ	Resistencia nominal	
Ranura con CJP Soldadura	Juntas a tope longitudinales (costuras longitudinales)	Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura ^b	Igual que para el metal base ^c	0,9	$0,6 F_y$	Puede usarse metal de aporte con una resistencia igual o menor que el metal base
		Cizallamiento por flexión o torsión	Metal base $0,40 F_y$ Metal de aporte $0,3 F_{EXX}$	0,9 0,8	$0,6 F_y$ $0,6 F_{EXX}$	
	Juntas a tope circunferenciales (costuras transversales)	Compresión normal al área efectiva ^b	Igual que para el metal base	0,9	F_y	Debe usarse un metal de aporte que iguale la resistencia del metal base
		Cizallamiento en el área efectiva		Base metal 0,9 Metal de soldadura 0,8	$0,6 F_y$ $0,6 F_{EXX}$	
		Tracción normal al área efectiva		0,9	F_y	
	Juntas soldadas en conexiones estructurales T-, Y-, o K-, en estructuras diseñadas para cargas críticas tales como fatiga, las que normalmente requerirán soldaduras con JPC	Tracción, compresión o cizallamiento en el metal base contiguo a la soldadura, conforme al detalle de las Figuras 9.12 y 9.14-9.16 (soldadura tubular hecha solo por fuera, sin respaldo)	Igual que para el metal base o como se limite de acuerdo a la geometría de la conexión (véase las disposiciones de 9.6 para ASD)	Igual que para el metal base o como se limite de acuerdo a la geometría de la conexión (véase las disposiciones de 9.6 para LRFD)		Debe usarse un metal de aporte que iguale la resistencia del metal base
		Tracción, compresión o cizallamiento en el área efectiva de soldaduras en ranura, hechas de ambos lados o con respaldo.				
Soldadura en filete	Juntas longitudinales de miembros tubulares armados	Tracción o compresión paralelas al eje de la soldadura	Igual que para el metal base	0,9	F_y	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte
		Cizallamiento en el área efectiva	$0,30 F_{EXX}^e$	0,75	$0,6 F_{EXX}$	
	Juntas en conexiones estructurales T-, Y-, o K-, en juntas traslapadas y juntas de accesorios a tubos	Cizallamiento en la garganta efectiva, sin tener en cuenta la dirección de la carga. (véase 9.5 y 9.6.1.3)	$0,30 F_{EXX}$ o como se limite de acuerdo a la geometría de la conexión (véase 9.6)	0,75	$0,6 F_{EXX}$ o como se encuentre limitado por la geometría de la conexión (véase a disposición de 9.6 para LRFD)	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte ^d

(Continuación)

Tabla 9.2 (Continuación)
Esfuerzos admisibles en soldaduras de conexiones tubulares 9.2.4)

Tipo de soldadura	Aplicación tubular	Clase de esfuerzo		Diseño por esfuerzo admisible (ASD)	Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD)		Metal de aporte requerido Nivel de resistencia ^d
				Esfuerzo admisible	Factor de resistencia Φ	Resistencia nominal	
Soldaduras de tapón y en ranura	Cizallamiento paralelo a las superficie de empalme (sobre el área efectiva)			Metal base $0,40 F_y$ Metal de aporte $0,3 F_{EXX}$	No aplicable		Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte
Ranura PJP Soldadura	Costura longitudinal de los miembros tubulares	Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura ^b		Igual que para el metal base ^c	0,9	F_y	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte
	Juntas circunferenciales y longitudinales que transmiten cargas	Compresión normal al área efectiva	Junta no diseñada para soportar carga	$0,50 F_{EXX}$, con la salvedad que la tensión en el metal base adyacente no debe exceder de $0,60 F_y$	0,9	F_y	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte
			Junta diseñada para soportar carga	Igual que para el metal base			
		Cizallamiento en el área efectiva		$0,30 F_{EXX}$, con la salvedad que la tensión en el metal base adyacente no debe exceder de $0,50 F_y$ para tracción, o $0,40 F_y$ para cizallamiento	Metal de base 0,9 Metal de aporte 0,8	F_y $0,6 F_{EXX}$	Puede usarse metal de aporte con un nivel de resistencia igual a o menor que el metal de aporte
		Tracción sobre el área efectiva					
	Conexiones estructurales T-, Y-, K- en estructuras comunes	Transmisión de carga a través de la soldadura como tensión sobre la garganta efectiva (véase 9.5 y 9.6.1.3)		$0,30 F_{EXX}$, o como se encuentre limitado por la geometría de la conexión (véase 9.6), con la salvedad que la tensión en el metal base adyacente debe ser menor que $0,50 F_y$ para tracción y compresión, o $0,40 F_y$ para cizallamiento.	Metal de base 0,9 Metal de aporte 0,8	F_y $0,6 F_{EXX}$	Debe usarse un metal de aporte que iguale la resistencia del metal base

^a Para el metal de aporte de igual resistencia, véase la Tabla 3.2.

^b Está permitido el cizallamiento por flexión o torsión de hasta 0,30 de resistencia a la tracción mínima especificada del metal de aporte, con la salvedad de que el cizallamiento en el metal base adyacente no debe exceder de $0,40 F_y$ (LRFD, véase cizallamiento).

^c Las soldaduras en ranura y filete paralelas al eje longitudinal de los miembros de esfuerzo y compresión, salvo en las áreas de conexión, no deben ser consideradas como que transfieren esfuerzo y, por tanto, pueden admitir el mismo esfuerzo que el metal base sin importar la clasificación del electrodo (metal de aporte). Cuando se aplican las disposiciones de 9.6.1, las costuras en el miembro principal dentro del área de conexión serán soldaduras en ranura con CJP con el mismo metal de aporte, como se define en la Tabla 3.2.

^d Ver 9.6.1.3.

^e Alternativamente, véase 2.6.4.2 y 2.6.4.3.

Tabla 9.3
Categorías de esfuerzo para el tipo y la ubicación del material para secciones circulares
(véase 9.2.7.2)

Categoría de esfuerzo	Situación	Clases de esfuerzo ^a
A	Tubo simple sin soldadura	TCBR
B	Tubo con costura longitudinal	TCBR
B	Empalmes a tope, soldaduras en ranura con CJP, configuración plana e inspeccionados por RT o UT (Clase R)	TCBR
B	Miembros con rigidizadores longitudinales con soldadura continua	TCBR
C ₁	Empalmes a tope, soldaduras en ranura con CJP, tal como están soldados	TCBR
C ₂	Miembros con rigidizadores transversales (anulares)	TCBR
D	Miembros con fijaciones diversas como planchuelas, ménsulas, etc.	TCBR
D	Juntas en cruz y en T, con soldaduras con CJP (excepto en conexiones tubulares).	TCBR
DT	Conexiones diseñadas como conexiones simples en T-, Y-, o K-, con soldadura en ranura con CJP, de conformidad con las Figuras 9.14–9.16 (incluyendo conexiones traslapadas en las cuales el miembro principal en cada intersección cumple los requerimientos de cizallamiento por punzonado) (ver Nota b)	TCBR en el miembro ramal (Nota: El miembro principal debe ser verificado en forma separada por categoría K ₁ o K ₂)
E	Juntas en cruz balanceadas y juntas en T con soldaduras en ranura con PJP o soldaduras en filete (excepto en las conexiones tubulares)	TCFR en el miembro, la soldadura debe ser verificada también por categoría F
E	Miembros donde terminan platabandas (envoltura doble), placas de terminación, rigidizadores longitudinales, placas de unión (excepto en conexiones tubulares)	TCFR en el miembro, la soldadura debe ser verificada también por categoría F
ET	Conexiones simples en T-, Y-, y K- con soldaduras en ranura con PJP o soldaduras en filete; también, conexiones tubulares complejas en las cuales la capacidad de cizallamiento por punzonado del miembro principal no puede soportar toda la carga, y la transmisión de carga se lleva a cabo mediante traslape (excentricidad negativa), placas de unión, rigidizadores anulares, etc. (véase Nota b)	TCBR en el miembro ramal (Nota: El miembro principal en las conexiones simples en T-, Y-, o K- debe ser verificado separadamente por las categorías K ₁ o K ₂ ; la soldadura debe ser también verificada por categoría ET y 9.6.1)
F	Soldadura de extremo de platabanda (envoltura doble); soldaduras en placas de unión, rigidizadores, etc.	Cizallamiento en la soldadura
F	Juntas en cruz y en T, cargadas a tracción o doblado, que tengan soldaduras en filete o en ranura con PJP (excepto en conexiones tubulares).	Cizallamiento en la soldadura (sin tener en cuenta la dirección de la carga. (véase 9.5)
FT	Conexiones simples en T-, Y-, o K-, cargadas a tracción o doblado, que tengan soldaduras en filete o en ranura con PJP.	Cizallamiento en la soldadura (sin tener en cuenta la dirección de la carga.
X ₂	Miembros en intersección en conexiones simples en T-, Y-, y K-; cualquier conexión cuyo idoneidad se determina ensayando un modelo en escala o por análisis teórico (por ej., elementos finitos).	El mayor rango de tensión en puntos críticos o tensión en la superficie exterior de los miembros de intersección, en el pie de la soldadura que los une, medido después de la comprobación del modelo o prototipo de la conexión o calculado mediante la mejor teoría disponible.

(Continuación)

Tabla 9.3 (Continuación)
Categorías de esfuerzo para el tipo y la ubicación del material para secciones circulares
(véase 9.2.7.2)

Categoría de esfuerzo	Situación	Clases de esfuerzo ^a
X ₁	En cuanto a X ₂ , el perfil mejorado según 9.2.7.6 y 9.2.7.7	En cuanto a X ₂
X ₁	Intersecciones cono-cilindro no reforzadas	Esfuerzo de punto caliente en el cambio de ángulo; calcular según Nota d.
K ₂	Conexiones simples en T-, Y-, y K-, en las cuales la relación gamma R/t _c del miembro principal no excede 24. (véase Nota c)	Cizallamiento por punzonado para los miembros principales, calcular según la Nota c
K ₁	En cuanto a K ₂ , el perfil mejorado según 9.2.7.6 y 9.2.7.7	

^a T = tracción, C = compresión, B = doblado, R = inversión – es decir, rango total esfuerzo nominal de eje y doblado.

^b Las curvas empíricas (Figura 9.1) basado en las geometrías «típicas» de las conexiones; si se conocen los factores de concentración de tensiones reales o puntos críticos de esfuerzo, se prefiere el uso de las curvas X₁ o X₂.

^c Las curvas empíricas (Figura 9.1) basado en ensayos, con gamma (R/t_c) de 18 a 24; curvas del lado seguro para miembros de cordón muy pesados (bajo R/t_c); para miembros de cordón ((R/t_c mayor de 24) se debe reducir el esfuerzo admisible en una proporción de

$$\frac{\text{Fatiga por tensión (aceptable)}}{\text{Fatiga de la gráfica (Curva K)}} = \left(\frac{24}{R/t_c} \right)^{0.7}$$

Donde se conocen los factores reales de concentración de esfuerzos, o los puntos críticos de esfuerzos, es preferible el uso de las curvas X₁ or X₂.

$$^d \text{ Factor de concentración de tensión – SCF} = \frac{1}{\cos \Psi} + 1.17 \tan \Psi \sqrt{\gamma_b}$$

donde

Ψ = Cambio de ángulo en la transición

γ_b = Razón del radio al grosor del tubo en la transición

^e El rango ciclico de cizallamiento por punzonado es dado por

$$V_p = \tau \sin \theta \left[(\alpha f_a + \sqrt{(0.67 f_{by})^2 + (1.5 f_{bz})^2}) \right]$$

donde

τ y θ están definidas en la Figura 9.2, y

f_a = rango ciclico de tensión nominal del miembro ramal para carga axial.

f_{by} = rango ciclico de tensión en doblado en el plano.

f_{bz} = rango ciclico de tensión en doblado fuera del plano.

α es como se define en la Tabla 9.6.

Tabla 9.4
Límites de las categorías de fatiga en el tamaño de la soldadura o
Espesores y perfil de la soldadura (conexiones tubulares) (véase 9.2.7.7)

Perfil de soldadura	Nivel I	Nivel II
	Espesor límite del miembro ramal para las categorías X ₁ , K ₁ , DT pulgadas [mm]	Espesor límite del miembro ramal para las categorías X ₂ , K ₂ pulgadas [mm]
Perfil de soldadura plana estándar Figura 9.14	0,375 [10]	0,625 [16]
Perfil con filete de pie. Figura 9.15	0,625 [16]	1,50 [38] calificado para espesor ilimitado por carga de compresión estática
Perfil cóncavo, como está soldado, Figura 9.16 con ensayo de disco según 9.2.7.6(1)	1,00 [25]	ilimitado
Perfil cóncavo liso Figura 9.16 con terminación según 9.2.7.6(2)	ilimitado	—

Tabla 9.5
Dimensión de pérdida Z para el cálculo de los tamaños mínimos de soldadura en conexiones tubulares
en T-, Y-, y K- con PJP precalificada (véase 9.5.2.1)

Junta incluida Ángulo ϕ	Posición de soldadura: V o OH			Posición de soldadura: H o F		
	Proceso	Z (pulg.)	Z (mm)	Proceso	Z (pulg.)	Z (mm)
$\phi \geq 60^\circ$	SMAW	0	0	SMAW	0	0
	FCAW-S	0	0	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	0	0	FCAW-G	0	0
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
	GMAW-S ^a	0	0	GMAW-S ^a	0	0
$60^\circ > \phi \geq 45^\circ$	SMAW	1/8	3	SMAW	1/8	3
	FCAW-S	1/8	3	FCAW-S	0	0
	FCAW-G	1/8	3	FCAW-G	0	0
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	0	0
	GMAW-S ^a	1/8	3	GMAW-S ^a	1/8	3
$45^\circ > \phi \geq 30^\circ$	SMAW	1/4	6	SMAW	1/4	6
	FCAW-S	1/4	6	FCAW-S	1/8	3
	FCAW-G	3/8	10	FCAW-G	1/4	6
	GMAW	N/A	N/A	GMAW	1/4	6
	GMAW-S ^a	3/8	10	GMAW-S ^a	1/4	6

^a véase 9.10.1(2) en cuanto a los requisitos de calificación para la soldadura de conexiones en T-, Y-, K- precalificadas con PJP con GMAW-S.

Tabla 9.6
Términos para la resistencia de las conexiones (secciones circulares) (véase 9.6.1.1)

Miembro ramal. Modificador de geometría y carga Q_q	$Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7(\alpha-1)}$	Para cargas axiales ^d
Q_q	$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta} \right) Q_\beta^{1.2(\alpha-0.67)}$	Para doblado
Q_β	$Q_\beta = 1.0$	Para $\beta \leq 0.6$
(necesario para Q_q)	$Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$	Para $\beta > 0.6$
cordón	$\alpha = 1.0 + 0.7 g/d_b$	Para carga axial en conexiones en K con separación, que tienen todos los miembros en el mismo plano y las cargas transversales al miembro principal esencialmente balanceadas ^a
ovalidad	$1.0 \leq \alpha < 1.7$	
parámetro	$\alpha = 1.7$ $\alpha = 2.4$	Para cargas axiales en conexiones en T y Y Para cargas axiales en conexiones cruzadas
α (necesario para Q_q)	$\alpha = 0.67$ $\alpha = 1.5$	Para doblado en el plano ^e Para doblado fuera del plano ^e
Esfuerzo del miembro principal término de interacción $Q_f^{b,c}$	$Q_f = 1.0 - \lambda \gamma \bar{U}^2$ $\lambda = 0.030$ $\lambda = 0.044$ $\lambda = 0.018$	Para carga axial en el miembro ramal Para doblado en el plano en el miembro ramal Para doblado fuera del plano en el miembro ramal

^a La separación, g, está definida en las Figuras 9.2(E), (F), y (H); d_b es el diámetro del miembro ramal

^b $\bar{U}$ es la razón de utilización (razón entre real y admisible) para compresión longitudinal (axial, doblado) en el miembro principal en la conexión bajo consideración.

$$\bar{U}^2 = \left(\frac{f_a}{0.6F_{yo}} \right)^2 + \left(\frac{f_b}{0.6F_{yo}} \right)^2$$

^c Para combinaciones de doblado en el plano y doblado fuera del plano, usar valores interpolados de α y λ .

^d Para colapso general (compresión transversal) véase también 9.6.1.2.

Notas:

1. γ , β son parámetros geométricos definidos por la Figura 9.2(M).

2. F_{yo} = la carga de fluencia mínima especificada del miembro principal, pero no mayor de 2/3 de la resistencia a la tracción.

Tabla 9.7
Aplicaciones de detalles de juntas para conexiones tubulares en T-, Y- y K- precalificadas con CJP (véase 9.11.2 y Figura 9.13)

Detalle	Rango aplicable del ángulo diedro local, Ψ
A	180° a 135°
B	150° a 50°
C	75° a 30°
D	40° a 15°
	30°

Notas:

- El detalle de junta aplicable (A, B, C o D) para una parte específica de la conexión debe ser determinado por el ángulo diedro local, Ψ , que cambia continuamente al avanzar alrededor del miembro ramal.
- El ángulo y los rangos dimensionales dados en el Detalle A, B, C o D incluyen las tolerancias máximas admisibles.
- véase la definición de ángulo diedro local en el Anexo J.

Tabla 9.8
Dimensiones de juntas y ángulos de ranura precalificados para soldadura en ranura con CJP en
Conexiones en T-, Y-, y K- realizadas con SMAW, GMAW-S y FCAW (véase 9.11.2)

	Detalle A $\Psi = 180^\circ - 135^\circ$		Detalle B $\Psi = 150^\circ - 50^\circ$		Detalle C $\Psi = 75^\circ \dots 30^\circ$ ^b	Detalle D $\Psi = 40^\circ - 15^\circ$ ^b	
Preparación de extremo (ω)			90° ^a		(Nota a)		
			10° o 45° para $\Psi > 105^\circ$		10°		
Acoplamiento o abertura de la raíz (R)	FCAW-S SMAW ^d	GMAW-S FCAW-G ^e	FCAW-S SMAW ^d	GMAW-S FCAW-G ^e	(Nota c) W máx. ϕ		
				1/4 pulg. [6 mm] para $\phi > 45^\circ$	FCAW-S SMAW (1)	{ 1/8 pulg. [3 mm] 25°–40° 3/16 pulg. [5 mm] 15°–25°	
				5/16" [8 mm] para $\phi \leq 45^\circ$			
	máx.	3/16 pulg. [5 mm]	3/16 pulg. [5 mm]	1/4 de pulgada [6 mm]		GMAW-S FCAW-G (2)	{ 1/8 pulg. [3 mm] 30°–40° 1/4 pulg. [6 mm] 25°–30° 3/8 pulg. [10 mm] 20°–25° 1/2 pulg. [12 mm] 15°–20°
mín.	1/16 pulg. [2 mm] Sin mín. para $\phi > 90^\circ$	1/16 pulg. [2 mm] Sin mín. para $\phi > 120^\circ$	1/16 pulg. [2 mm]	1/16 pulg. [2 mm]			
Junta incluida ángulo ϕ	90°		60° para $\Psi \leq 105^\circ$		40°; si es más, use el Detalle B		
	45°		37-1/2° si es menos, use el Detalle C		1/2 Ψ		
Soldadura completada t_w	$\geq t_b$		$\geq t_b$ para $\Psi > 90^\circ$ $\geq t_b / \sin \Psi$ para $\Psi < 90^\circ$		$\geq t_b / \sin \Psi$ pero no es necesario que exceda de 1,75 t_b		$\geq 2t_b$
	$\geq t_b / \sin \Psi$ pero no es necesario que exceda de 1,75 t_b				La soldadura puede ser recubierta para alcanzar esto		

^a De otra manera como sea necesario para obtener el ϕ requerido.

^b No precalificado para ángulos de ranura (ϕ) menores de 30°.

^c Las pasadas iniciales de la soldadura de respaldo descontadas hasta el ancho de la ranura (W) son suficientes para asegurar una soldadura sólida; el ancho necesario de la ranura de la soldadura (w) es proporcionado por la soldadura de respaldo.

^d Estos detalles de raíz se aplican a SMAW y FCAW-S.

^e Estos detalles de raíz se aplican a GMAW-S y FCAW-G.

Notas:

1. Para GMAW-S ver 9.15.4.3. Estos detalles no son están destinados a GMAW (transferencia por rociado).

2. Consulte la Figura 9.14 para véase el perfil mínimo estándar (espesor limitado).

3. Consulte la Figura 9.15 para véase el perfil pie-filete alternativo.

4. Consulte la Figura 9.16 para véase el perfil mejorado (véase 9.2.7.6 y 9.2.7.7).

Tabla 9.9
Calificación de la WPS—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de placa, conducto y tubo rectangular (véase 9.13)

Ensayo de calificación			Soldadura de placa de producción calificada			Soldadura de tubos de producción calificada					Soldadura de tubo rectangular de producción calificada				
	Soldadura Tipo	Ensayo Posiciones	Ranura con CJP	Ranura con PJP	Filete ^g	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^g	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^g
						CJP	PJP	CJP	PJP		CJP	PJP	CJP	PJP	
TUBULAR	Ranura con CJP	1 G rotado	F	F	F	F ^a	F		F	F	F ^a	F		F	F
		2G	F, H	F, H	F, H	(F, H) ^a	F, H		F, H	F, H	(F, H) ^a	F, H		F, H	F, H
		5G	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^a	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^a	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH
		(2G + 5G)	Todas	Todas	Todas	Todas ^a	Todas	Todas ^c	Todas ^c	Todas	Todas ^a	Todas	Todas ^d	Todas ^{e,f}	Todas
		6G	Todas	Todas	Todas	Todas ^a	Todas		Todas ^c	Todas	Todas ^a	Todas		Todas ^{e,f}	Todas
		6GR	Todo ^b	Todas	Todas	Todas ^b	Todas	Todas ^c	Todas	Todas	Todas ^b	Todas	Todas ^d	Todas	Todas
	Filete	1 F rotado			F					F					F
		2F			F, H					F, H					F, H
		2F rotado			F, H					F, H					F, H
		4F			F, H, OH					F, H, OH					F, H, OH
		5F			Todas					Todas					Todas

CJP—Penetración completa de la junta

PJO—Penetración parcial de la junta

^a Los detalles de juntas a tope de producción, sin respaldo o ranurado del lado opuesto requieren ensayos de calificación con el detalle de la junta según se muestra en la Figura 9.23(A).^b Limitado a detalles de juntas precalificadas (véase 9.10 o 9.11)^c Para juntas de producción en conexiones T-, Y-, y K- con CJP, que están de acuerdo con 9.14, 9.15, o 9.16 y la Tabla 9.8, usar el detalle de la Figura 9.25 para ensayos. Para otras juntas de producción, véase 9.15.4.1^d Para juntas de producción en conexiones T-, Y-, y K- con CJP que están de acuerdo con la Figura 9.12, y la Tabla 9.8, usar el detalle de las Figuras 9.25 y 9.27 para ensayos, o, alternativamente ensayar la junta de la Figura 9.25 y cortar las probetas para macroataque de las esquinas mostradas en la Figura 9.27 Para otras juntas de producción, véase 9.15.4.1^e Para juntas de producción en conexiones T-, Y-, y K- con PJP, que están de acuerdo con la Figura 9.11, usar el detalle de la Figura 9.23(A) o la Figura 9.23(B) para ensayos.^f Para conexiones de sección rectangular alineadas con radios de esquina menores que dos veces el espesor del miembro de cordón, véase 9.10.1.1.^g Las soldaduras en filete en conexiones en T-, Y-, o K- de producción deben cumplir con la Figura 9.10. La calificación de WPS debe cumplir con 9.16.

Tabla 9.10

Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y Rango de espesor y diámetro calificados (véase 9.14) (Dimensiones en pulgadas)

1. Ensayos en tubos o conductos^{a, c}

	Tamaño o diámetro nominal del tubo, pulg.	Espesor nominal de la pared, T, pulg.	Cantidad de probetas				Diámetro nominal de tubo o tamaño del conducto calificado, pulg.	Placa nominal, Espesor de pared de tubo o conducto ^{b, c} Calificado, pulg.	
			Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)		Mín.	Máx.
Conducto de ensayo según el tamaño del trabajo	< 24	$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(Nota f)	Diámetro del ensayo y mayor	1/8	2T
		$3/8 < T < 3/4$	2	—	—	4	Diámetro del ensayo y mayor	T/2	2T
		$T \geq 3/4$	2	—	—	4	Diámetro del ensayo y mayor	3/8	Ilimitado
	≥ 24	$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(Nota f)	Diámetro del ensayo y mayor	1/8	2T
		$3/8 < T < 3/4$	2	—	—	4	24 y más	T/2	2T
		$T \geq 3/4$	2	—	—	4	24 y más	3/8	Ilimitado
Conducto de ensayo estándar	2 pulg. Sch. 80 o 3 pulg. Sch. 40		2	2	2	—	3/4 a 4	1/8	3/4
	6 pulg. Sch. 120 o 8 pulg. Sch. 80		2	—	—	4	4 y más	3/16	Ilimitado

^a Todas las soldaduras de conductos o tubos deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.9.1.) y sujetas a NDT (véase 4.9.2).

^c Para las soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado está limitado al espesor del ensayo.

^e La calificación de la soldadura en ranura con CJP de cualquier espesor o de diámetro debe calificar cualquier tamaño de soldadura en filete o en ranura con PJP con cualquier espesor o diámetro (véase 4.11.3).

^d La calificación con cualquier diámetro de tubo debe calificar todos los anchos y profundidades de sección rectangular.

^e véase Tabla 9.9 para los detalles de ranura requeridos para la calificación de juntas a tope tubulares y de conexiones T-, Y-, K-.

^f En caso de un espesor de pared de 3/8 pulg., se puede reemplazar el ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

Tabla 9.10 (Continuación)
Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados (véase 9.14) (dimensiones en milímetros)

1. Ensayos en tubos o conductos^{a-e}

	Tamaño o diámetro nominal del tubo, mm	Espesor nominal de la pared, T, mm	Cantidad de probetas				Diámetro nominal ^d de tubo o tamaño del conducto Calificado, mm	Placa nominal, Espesor de pared de tubo o conducto ^{b,e} Calificado, mm	
			Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)		Mín.	Máx.
Conducto de ensayo según el tamaño del trabajo	< 600	$3 \leq T \leq 10$	2	2	2	(Nota f)	Diámetro del ensayo y mayor	3	2T
		$10 < T < 20$	2	—	—	4	Diámetro del ensayo y mayor	T/2	2T
		$T \geq 20$	2	—	—	4	Diámetro del ensayo y mayor	10	Ilimitado
	≥ 600	$3 \leq T \leq 10$	2	2	2	(Nota f)	Diámetro del ensayo y mayor	3	2T
		$10 < T < 20$	2	—	—	4	600 y más	T/2	2T
		$T \geq 20$	2	—	—	4	600 y más	10	Ilimitado
Conducto de ensayo estándar	DN 50 × 5.5 mm WT o DN 80 × 5.5 mm WT		2	2	2	—	20 hasta 100	3	20
	DN 150 × 14.3 mm WT o DN 200 × 12.7 mm WT		2	—	—	4	100 y más	5	Ilimitado

^a Todas las soldaduras de tubos o conductos deberán ser inspeccionadas visualmente (véase 4.9.1) y sujetos a NDT (véase 4.9.2).

^b Para las soldaduras en ranura en escuadra calificadas sin ranurado del lado opuesto, el espesor máximo calificado está limitado al espesor del ensayo.

^c La calificación de la soldadura en ranura con CJP de cualquier espesor o diámetro debe calificar cualquier tamaño de soldadura en filete o en ranura con PJP para cualquier espesor o diámetro (véase 4.11.3).

^d La calificación con cualquier diámetro de tubo debe calificar todos los anchos y profundidades de sección rectangular.

^e véase Tabla 9.9 para los detalles de ranura requeridos para la calificación de juntas a tope tubulares y de conexiones T-, Y-, K-.

^f En caso de un espesor de pared de 10 mm, se puede reemplazar el ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

Tabla 9.11
Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—
Calificación WPS; soldaduras en ranura con PJP (véase 9.14)

Profundidad de la ranura de ensayo, T pulgadas [mm]	Cantidad de probetas ^{a, b}					Rangos de calificación ^{c, d}	
	Tamaño de la soldadura de macroataque (E)	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (ver Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Profundidad de la ranura	Espesor nominal de tubo o conducto, pulg. [mm]
	4.11.2 4.11.3 4.11.4						Mín. Máx.
$1/8 \leq T \leq 3/8$ [3 ≤ T ≤ 10]	3	2	2	2	—	T	1/8 [3] 2T
$3/8 < T \leq 1$ [10 < T ≤ 25]	3	2	—	—	4	T	1/8 [3] Ilimitado

^a Se requiere un tubo o conducto por posición (véase Figura 9.23). Utilizar el detalle de la ranura con PJP de producción para la calificación. Todos los tubos o conductos deben ser inspeccionados visualmente (véase 4.9.1).

^b Si se usará una soldadura en ranura en J o de bisel con PJP para las soldaduras con juntas en T, o se usará una soldadura en ranura en J doble o de bisel doble para las juntas en esquina, la junta a tope debe tener una placa restrictiva temporal en el plano de la cara en escuadra para simular la configuración de una junta en T.

^c véase los requisitos de calificación de diámetros de tubos de la Tabla 9.10.

^d Toda calificación de PJP también debe calificar cualquier tamaño de soldadura en filete en cualquier espesor.

Tabla 9.12
Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor calificado—
Calificación de WPS; soldaduras en filete (véase 9.14)

Probeta de ensayo	Tamaño del filete	Cantidad de soldaduras por WPS	Probetas de ensayo requeridas ^b			Tamaños calificados	
			Macroataque 4.12.1 4.9.4	Tracción del metal de la soldadura (véase Fig. 4.14)	Doblado lateral (véase Figura 4.9)	Espesor de tubo ^a	Tamaño del filete
Ensayo T de tubo ^c (Figura 9.21)	Pasada única, tamaño máximo a usar en construcción	1 en cada posición a ser usado (véase Tabla 9.9)	3 caras (salvo para 4F y 5F, se requieren 4 caras)	—	—	Ilimitado	Menor que el mayor ensayado, pasada única
	Pasada múltiple, tamaño mín. a ser usado en construcción	1 en cada posición a ser usado (véase Tabla 9.9)	3 caras (salvo para 4F y 5F, se requieren 4 caras)	—	—	Ilimitado	Mayor que el menor ensayado, pasada múltiple

^a El espesor mínimo calificado debe ser de 1/8 pulg. [3mm].

^b Todos los tubos de ensayo soldados deben ser inspeccionados visualmente según 4.9.1.

^c véase los requisitos de calificación de diámetros de tubos de la Tabla 9.10.

Tabla 9.13
Calificación del soldador y del operario soldador—Posiciones de soldadura de producción calificadas por ensayos de conducto o tubo rectangular
(véase 9.17.1)

Ensayo de calificación		Soldadura de placa de producción calificada			Soldadura de tubos de producción calificada					Soldadura de tubo rectangular de producción calificada				
Tipo de soldadura	Posiciones de ensayo ^a	Ranura CJP	Ranura PJP	Filete ^g	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^g	Junta a tope		Conexiones en T-, Y-, K-		Filete ^g
					CJP ^g	PJP ^g	CJP ^{d,e}	PJP ^{d,e}		CJP	PJP	CJP	PJP ^d	
TUBULAR	Ranura ^b (Tubo o sección rectangular)	1 G rotado ^h	F	F	F, H	F, H		F	F, H	F	F		F	F, H
		2G ^h	F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H	F, H	F, H		F, H	F, H
		5G ^h	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH		F, V, OH	F, V, OH
		6G ^h	Todas	Todas	Todas	Todas		Todas	Todas	Todas	Todas		Todas	Todas
		(2G + 5G) ^h	Todas	Todas	Todas	Todas		Todas	Todas	Todas	Todas		Todas	Todas
		6GR (Fig. 9.25)	Todas	Todas	Todas	Todas ^g	Todas	Todas	Todas	Todas ^g	Todas		Todas	Todas
		6GR (Figs. 9.25 y 9.27)	Todas	Todas	Todas	Todas ^g	Todas	Todas	Todas	Todas ^g	Todas	Todas ^{d,f}	Todas	Todas
	Tubos Filete	1 F rotado			F				F					F
		2F			F, H				F, H					F, H
		2F rotado			F, H				F, H					F, H
		4F			F, H, OH				F, H, OH					F, H, OH
		5F			Todas				Todas					Todas

CJP—Penetración completa de la junta

PJP—Penetración parcial de la junta

^a véase Figuras 9.17 y 9.18.^b La calificación de soldadura en ranura también califica las soldaduras de tapón y en ranura para las posiciones de ensayo indicadas.^c No calificado para juntas soldadas de un lado sin respaldo, o soldadas de los dos lados sin ranurado del lado opuesto.^d No calificado para soldaduras con ángulos de ranura inferiores a 30° (véase 9.15.4.2).^e La calificación usando tubos de sección rectangular (Figura 9.25) también califica la soldadura de tubos de diámetros iguales o mayores de 24 pulg. [600 mm].^f Para la calificación 6GR se requiere tubo o conducto de sección rectangular (Figura 9.25). Si se usa tubo de sección rectangular de acuerdo con la Figura 9.25, el ensayo de macroataque puede realizarse en las esquinas de la probeta de ensayo (similar a la Figura 9.27).^g véase en 9.15 las restricciones de ángulo diedro para conexiones tubulares en T-, Y-, y K-.^h La calificación para soldar juntas de producción sin respaldo o ranurado del lado opuesto requiere el uso del detalle de junta de la Figura 9.22(A). Para soldar juntas de producción con respaldo o ranurado del lado opuesto, se puede usar tanto el detalle de junta de la Figura 9.22(A) como el de la Figura 9.22(B) para la calificación.

Tabla 9.14
Calificación de soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y
Rango de espesor y diámetro calificados (dimensiones en pulgadas) (véase 9.17.1)

Ensayos en tubos o conductos ^f			Cantidad de probetas ^a						Tubo nominal o tamaño del tubo calificado, pulg.		Espesor de la pared de la placa nominal, tubo o conducto ^d calificado, pulg.	
Juntas a tope en ranura con CJP de producción			Solo posiciones 1G y 2G			Solo posiciones 5G, 6G y 6GR						
Tipo de soldadura de ensayo	Tamaño nominal del tubo de ensayo, pulg.	Espesor nominal del ensayo, pulg.	Doblado de cara ^b	Doblado de raíz ^b	Doblado lateral ^b	Doblado de cara ^b	Doblado de raíz ^b	Doblado lateral ^b	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ranura	≤ 4	Ilimitado	1	1	Nota c	2	2	Nota c	3/4	4	1/8	3/4
Ranura	> 4	≤ 3/8	1	1	Nota c	2	2	Nota c	Nota e	Ilimitado	1/8	3/4
Ranura	> 4	> 3/8	—	—	2	—	—	4	Nota e	Ilimitado	3/16	Ilimitado

Soldaduras en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- o K- de producción					Cantidad de probetas ^a		Tamaño nominal de tubo o conducto calificado, pulg.		Espesor nominal de pared o placa ^d calificado, pulg.		Ángulos diedros calificados ^h	
Tipo de soldadura de ensayo	Tamaño nominal de Tubo de prueba, pulg.	Ensayo nominal Espesor, pulg.	Doblado lateral ^b	Macroataque	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ranura de tubo (Fig. 9.25)	≥ 6 O.D.	≥ 1/2	4	—	4	Ilimitado	3/16	Ilimitado	30°	Ilimitado		
Ranura de tubo (Fig. 9.26)	< 4 O.D.	≥ 0,203	Nota i	—	3/4	< 4	1/8	Ilimitado	30°	Ilimitado		
Ranura de sección rectangular (Fig. 9.27)	Ilimitado	≥ 1/2	4	4	Ilimitado (solo sección rectangular)	Ilimitado (solo sección rectangular)	3/16	Ilimitado	30°	Ilimitado		

Soldaduras en filete en conexiones en T-, Y-, o K- de producción			Cantidad de probetas ^a				Dimensiones calificadas					
Tipo de soldadura de ensayo	Tamaño nominal del tubo de ensayo, D	Espesor nominal del ensayo, pulg.	Rotura de soldadura en filete	Macroataque	Doblado de raíz ^b	Doblado de cara ^b	Tamaño nominal del tubo o conducto Calificado, pulg.		Espesor nominal de pared o placa calificado		Ángulos diedros calificados ^h	
							Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Posición 5G (ranura)	Ilimitado	≥ 1/8	—	—	2 ^c	2 ^c	Nota c	Ilimitado	1/8 ^d	Ilimitado ^d	30°	Ilimitado
Opción 1—filete (Fig. 4.25) ^g	—	≥ 1/2	1	1	—	—	24	Ilimitado	1/8	Ilimitado	60°	Ilimitado
Opción 2—filete (Fig. 4.22) ^g	—	3/8	—	—	2	—	24	Ilimitado	1/8	Ilimitado	60°	Ilimitado
Opción 3—filete Fig. 9.21)	Ilimitado	≥ 1/8	—	1	—	—	D	Ilimitado	1/8	Ilimitado	30°	Ilimitado

^a Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.22.1).

^b Se debe hacer un examen radiográfico del tubo o conducto de ensayo en lugar de los ensayos de doblado (véase 4.16.1.1).

^c En caso de un espesor de pared de 3/8 pulg., se puede reemplazar el ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

^d También califica para soldar cualquier tamaño de soldadura en filete o con PJP de cualquier espesor de placa, conducto o tubería.

^e El mínimo tamaño de tubo calificado deberá ser la mitad del diámetro de ensayo o 4 pulg., el que resulte mayor.

^f véase la Tabla 9.13 en cuanto a los detalles de ranura apropiados.

^g Se requieren dos placas, cada una según los requerimientos de probetas de ensayo descritos. Una placa deberá ser soldada en la posición 3F y la otra en la posición 4F.

^h Para ángulos diedros < 30°, véase 9.19.1; excepto el ensayo 6GR que no se requiere.

ⁱ Dos doblados de raíz y dos doblados de cara.

Tabla 9.14 (Continuación)
Calificación de soldador y operario de soldadura—Cantidad y tipo de probetas y
rango del espesor y diámetro calificado (dimensiones en milímetros) (véase 9.17.1)

Ensayos en tubos o conductos ^f			Cantidad de probetas ^a						Tubo nominal del tubo o conducto Calificado, mm		Espesor de la pared de la placa nominal, tubo o conducto ^d calificado, mm	
Juntas a tope en ranura con CJP de producción			Solo posiciones 1G y 2G			Solo posiciones 5G, 6G y 6GR						
Tipo de soldadura de ensayo	Tamaño nominal del tubo de ensayo, mm	Espesor nominal del ensayo, mm	Doblado de cara ^b	Doblado de raíz ^b	Doblado lateral ^b	Doblado de cara ^b	Doblado de raíz ^b	Doblado lateral ^b	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ranura	≤ 100	Ilimitado	1	1	Nota c	2	2	Nota c	20	100	3	20
Ranura	> 100	≤ 10	1	1	Nota c	2	2	Nota c	(Nota e)	Ilimitado	3	20
Ranura	> 100	> 10	—	—	2	—	—	4	Nota e	Ilimitado	5	Ilimitado

Soldaduras en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- o K- de producción					Cantidad de probetas ^a		Tamaño nominal de tubo o conducto calificado, mm		Espesor nominal de pared o placa ^d calificado, mm		Ángulos diedros calificados ^h	
Tipo de soldadura de ensayo	Tamaño nominal de Tubo de prueba, mm	Ensayo nominal Espesor, mm	Doblado lateral ^b	Macroataque	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ranura de tubo (Fig. 9.25)	≥ 150 O.D.	≥ 12	4	—	100	Ilimitado	5	Ilimitado	30°	Ilimitado		
Ranura de tubo (Fig. 9.26)	< 100 O.D.	≥ 5	Nota i	—	20	< 100	3	Ilimitado	30°	Ilimitado		
Ranura de sección rectangular (Fig. 9.27)	Ilimitado	≥ 12	4	4	Ilimitado (solo sección rectangular)	Ilimitado (solo sección rectangular)	5	Ilimitado	30°	Ilimitado		

Soldaduras en filete en conexiones en T-, Y-, o K- de producción			Cantidad de probetas ^a				Dimensiones calificadas					
Tipo de Soldadura de ensayo	Tamaño nominal del tubo de ensayo, D	Espesor nominal del ensayo, mm	Rotura de soldadura en filete	Macroataque	Doblado de raíz ^b	Doblado de cara ^b	Tamaño nominal del tubo o conducto Calificado, mm		Espesor nominal de pared o placa calificado, mm		Ángulos diedros calificados ^h	
							Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Posición 5G (ranura)	Ilimitado	≥ 3	—	—	2 ^c	2 ^c	Nota e	Ilimitado	3 ^d	Ilimitado ^d	30°	Ilimitado
Opción 1—filete (Fig. 4.25) ^g	—	≥ 12	1	1	—	—	600	Ilimitado	3	Ilimitado	60°	Ilimitado
Opción 2—filete (Fig. 4.22) ^g	—	10	—	—	2	—	600	Ilimitado	3	Ilimitado	60°	Ilimitado
Opción 3—filete (Fig. 9.21)	Ilimitado	≥ 3	—	1	—	—	D	Ilimitado	3	Ilimitado	30°	Ilimitado

^a Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente (véase 4.22.1).

^b Se debe hacer un examen radiográfico del tubo o conducto de ensayo en lugar de los ensayos de doblado (véase 4.16.1.1).

^c En caso de un espesor de pared de 10 mm, se puede reemplazar el ensayo de doblado lateral por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

^d También califica para soldar cualquier tamaño de soldadura en filete o con PJP de cualquier espesor de placa, conducto o tubería.

^e El tamaño mínimo de tubo calificado deberá ser la mitad del diámetro de ensayo o 100 mm, el que resulte mayor.

^f véase la Tabla 9.13, en cuanto a los detalles de ranura apropiados.

^g Se requieren dos placas, cada una según los requerimientos de probetas de ensayo descritos. Una placa deberá ser soldada en la posición 3F y la otra en la posición 4F.

^h Para ángulos diedros < 30°, véase 9.19.1; excepto el ensayo 6GR que no se requiere.

ⁱ Dos doblados de raíz y dos doblados de cara.

Tabla 9.15
Tolerancias de abertura de la raíz tubular
Juntas a tope soldadas sin respaldo
(véase 9.24.2.1)

	Cara de la raíz de la junta		Abertura de la raíz de juntas sin respaldo de acero		Ángulo de la ranura de la junta
	pulg.	mm	pulg.	mm	grad.
SMAW	$\pm 1/16$	± 2	$\pm 1/16$	± 2	± 5
GMAW	$\pm 1/32$	± 1	$\pm 1/16$	± 2	± 5
FCAW	$\pm 1/16$	± 2	$\pm 1/16$	± 2	± 5

Nota: Las aberturas de la raíz más anchas que las permitidas por las tolerancias antes mencionadas, pero no mayores que el espesor de la parte más delgada, pueden ser reconstruidas por soldadura a un tamaño aceptable antes de unir las partes por medio de soldadura.

Tabla 9.16
Criterios de aceptación de la inspección visual (véase 9.25)

Categorías de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones tubulares (todas las cargas)						
(1) Prohibición de grietas No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o ubicación.	X						
(2) Fusión del metal de soldadura/metal base Debe existir fusión completa entre las capas adyacentes de metal de soldadura y entre el metal de aporte y metal base.	X						
(3) Sección transversal del cráter Se deberán llenar todos los cráteres para proporcionar el tamaño de la soldadura especificado, excepto en los extremos de soldaduras en filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X						
(4) Perfiles de soldadura Los perfiles de soldadura deberán cumplir con 5.23.	X						
(5) Tiempo de inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que se hayan enfriado las soldaduras finalizadas a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517, y A709 Grade HPS 100W [HPS 690W] deberán estar basados en inspecciones visuales realizadas en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de la soldadura.	X						
(6) Soldaduras de tamaño inferior al nominal El tamaño de una soldadura en filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U): L_n tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm] U_n disminución admisible de L, pulg. [mm] <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$\leq 3/16$ [5]</td><td>$\leq 1/16$ [2]</td></tr> <tr> <td>$1/4$ [6]</td><td>$\leq 3/32$ [2.5]</td></tr> <tr> <td>$\geq 5/16$ [8]</td><td>$\leq 1/8$ [3]</td></tr> </table> En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño menor al nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de alma a ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.	$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]	$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]	$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]	X
$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]						
$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]						
$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]						
(7) Socavación (A) En el caso de materiales de menos de 1 pulg. [25 mm] de espesor, la socavación no deberá exceder de 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm] en cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier tramo de 12 pulg. [300 mm]. En el caso de materiales con espesor igual o mayor de 1 pulg. [25 mm], la socavación no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm], cualquiera sea la longitud de la soldadura. (B) En miembros principales, la socavación no deberá ser mayor de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de carga. La socavación no deberá ser superior a 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad en ningún caso.	X						
(8) Porosidad (A) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldaduras en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder 3/8 pulg. [10 mm] en ningún tramo lineal de soldadura de una pulgada ni tampoco deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en ningún tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (B) La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras en filete no deberá exceder de una en cada 4 pulg. [100 mm] de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2.5 mm]. Excepción: en el caso de soldaduras en filete que conectan rigidizadores al alma, la suma de los diámetros de porosidad vermicular no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en ningún tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en ningún tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (C) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular. En todas las demás soldaduras en ranura la frecuencia de la porosidad vermicular no deberá exceder de una en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2.5 mm].	X						

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el tipo de conexión, un área sombreada indica no aplicabilidad.

Tabla 9.17
Requisitos para IQI de tipo orificio (véase 9.28.1)

Rango nominal del espesor del material ^a , pulg	Rango nominal del espesor del material ^a , mm	Lado de la película	
		Designación	Orificio esencial
Hasta 0,25 incl.	Hasta 6 incl.	7	4T
Más de 0,25 hasta 0,375	Más de 6 hasta 10	10	4T
Más de 0,375 hasta 0,50	Más de 10 hasta 12	12	4T
Más de 0,50 hasta 0,625	Más de 12 hasta 16	12	4T
Más de 0,625 hasta 0,75	Más de 16 hasta 20	15	4T
Más de 0,75 hasta 0,875	Más de 20 hasta 22	17	4T
Más de 0,875 hasta 1,00	Más de 22 hasta 25	17	4T
Más de 1,00 hasta 1,25	Más de 25 hasta 32	20	4T
Más de 1,25 hasta 1,50	Más de 32 hasta 38	25	2T
Más de 1,50 hasta 2,00	Más de 38 hasta 50	30	2T
Más de 2,00 hasta 2,50	Más de 50 hasta 65	35	2T
Más de 2,50 hasta 3,00	Más de 65 hasta 75	40	2T
Más de 3,00 hasta 4,00	Más de 75 hasta 100	45	2T
Más de 4,00 hasta 6,00	Más de 100 hasta 150	50	2T
Más de 6,00 hasta 8,00	Más de 150 hasta 200	60	2T

^a Espesor radiográfico de pared única

Tabla 9.18
Requisitos para IQI de tipo alambre (véase 9.28.1)

Rango nominal del espesor del material ^a , pulg	Rango nominal del espesor del material ^a , mm	Lado de la película Diámetro máximo del alambre	
		pulg.	mm
Hasta 0,25 incl.	Hasta 6 incl.	0,008	0,20
Más de 0,25 hasta 0,375	Más de 6 hasta 10	0,010	0,25
Más de 0,375 hasta 0,625	Más de 10 hasta 16	0,013	0,33
Más de 0,625 hasta 0,75	Más de 16 hasta 20	0,016	0,41
Más de 0,75 hasta 1,50	Más de 20 hasta 38	0,020	0,51
Más de 1,50 hasta 2,00	Más de 38 hasta 50	0,025	0,63
Más de 2,00 hasta 2,50	Más de 50 hasta 65	0,032	0,81
Más de 2,50 hasta 4,00	Más de 65 hasta 100	0,040	1,02
Más de 4,00 hasta 6,00	Más de 100 hasta 150	0,050	1,27
Más de 6,00 hasta 8,00	Más de 150 hasta 200	0,063	1,60

^a Espesor radiográfico de pared única

Tabla 9.19
Selección y colocación de IQI (véase 9.28.2)

Tipos de IQI	T igual ≥ 10 pulg. [250 mm] L		T igual < 10 pulg. [250 mm] L		T desigual ≥ 10 pulg. [250 mm] L		T desigual < 10 pulg. [250 mm] L	
	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre	Orificio	Alambre
Cantidad de IQI								
Circunferencia del conducto	3	3	3	3	3	3	3	3
Selección de la norma ASTM	E 1025	E 747	E 1025	E 747	E 1025	E 747	E 1025	E 747
Tablas	<u>9.17</u>	<u>9.18</u>	<u>9.17</u>	<u>9.18</u>	<u>9.17</u>	<u>9.18</u>	<u>9.17</u>	<u>9.18</u>
Figuras		<u>6.6</u>		<u>6.7</u>		<u>6.8</u>		<u>6.9</u>

Notas:

1. T = Espesor nominal del metal base (T1 y T2 de las figuras).

2. L = Longitud de la soldadura en el área de interés de cada radiografía.

3. Es posible incrementar T para proporcionar el espesor del refuerzo admisible de la soldadura siempre que se utilicen cuñas debajo de los IQI de orificio conforme a 6.17.3.3.

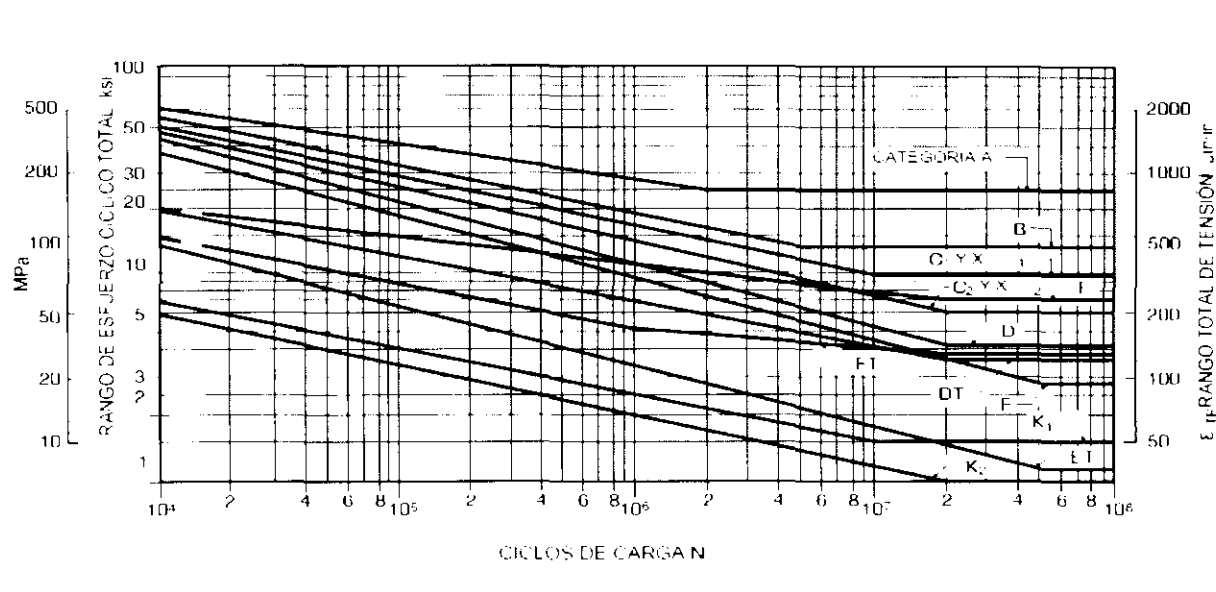
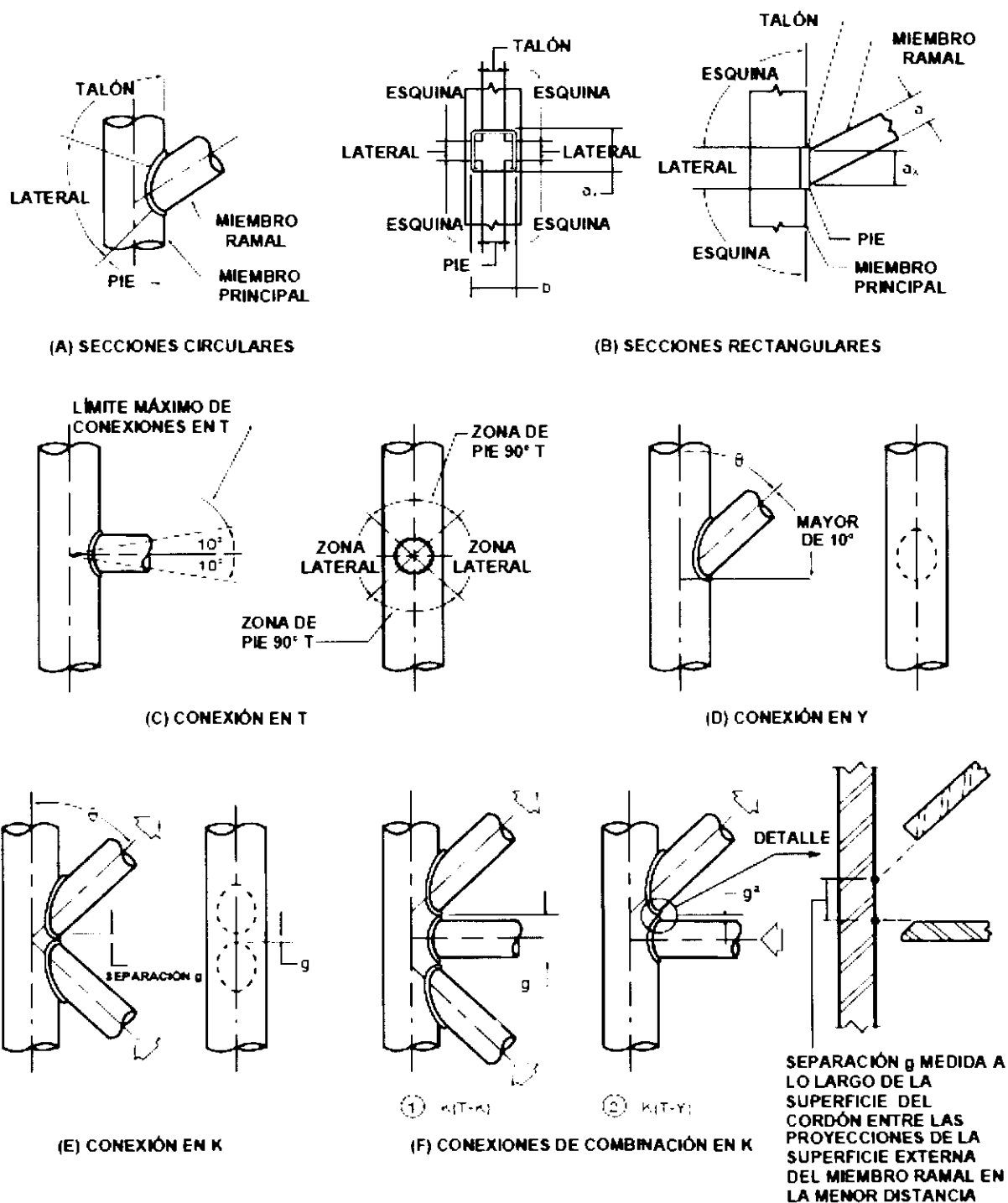


Figura 9.1— Rangos de esfuerzo de fatiga admisible y rangos de deformación para categorías de esfuerzos
(véase Tabla 9.3), estructuras tubulares para servicio atmosférico (véase 9.2.7.3)



^a El intersticio relevante está entre las barras transversales cuyas cargas están esencialmente equilibradas. El tipo (2) también se puede denominar conexión en N.

Figura 9.2—Partes de una conexión tubular (véase 9.3)

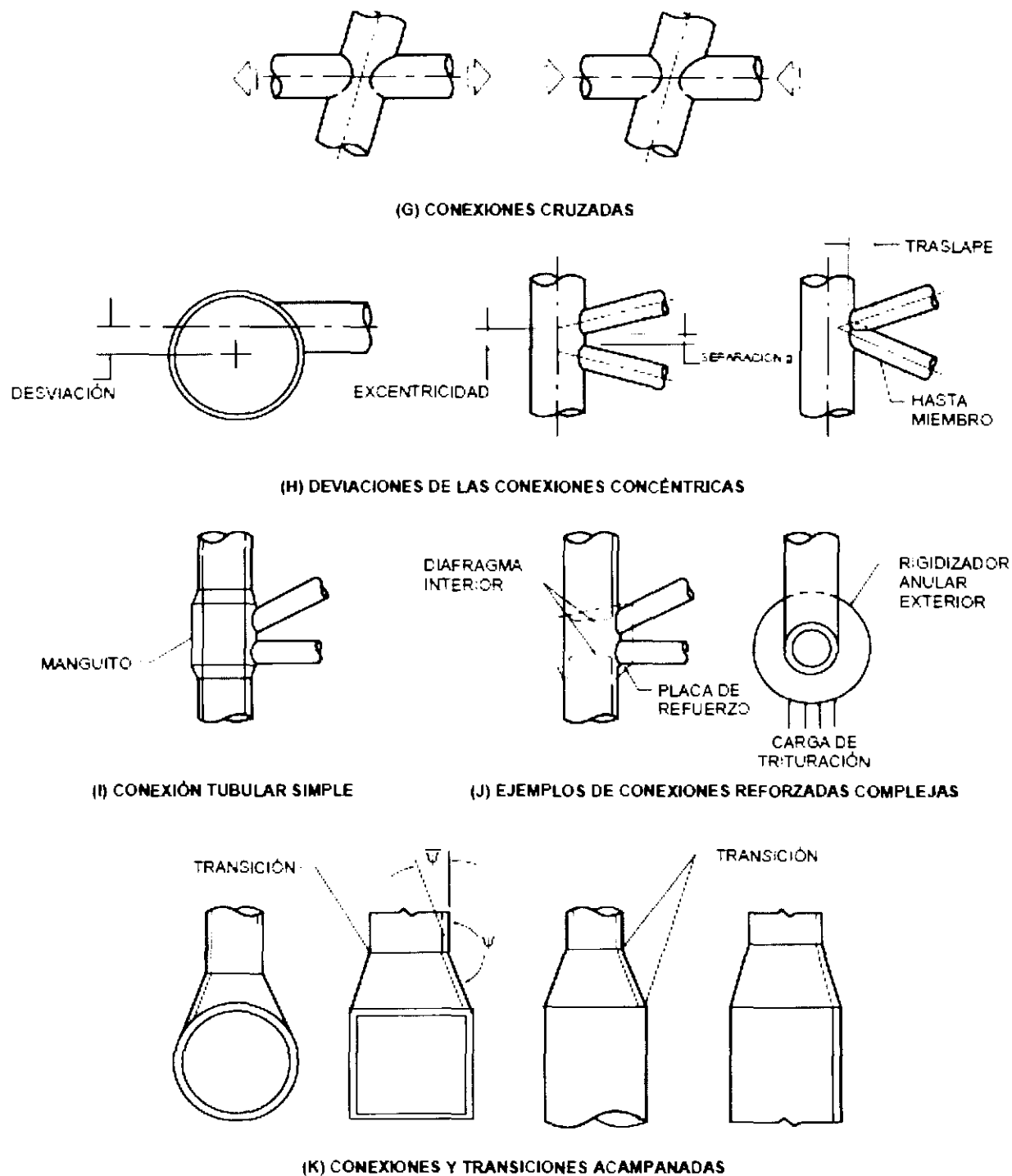
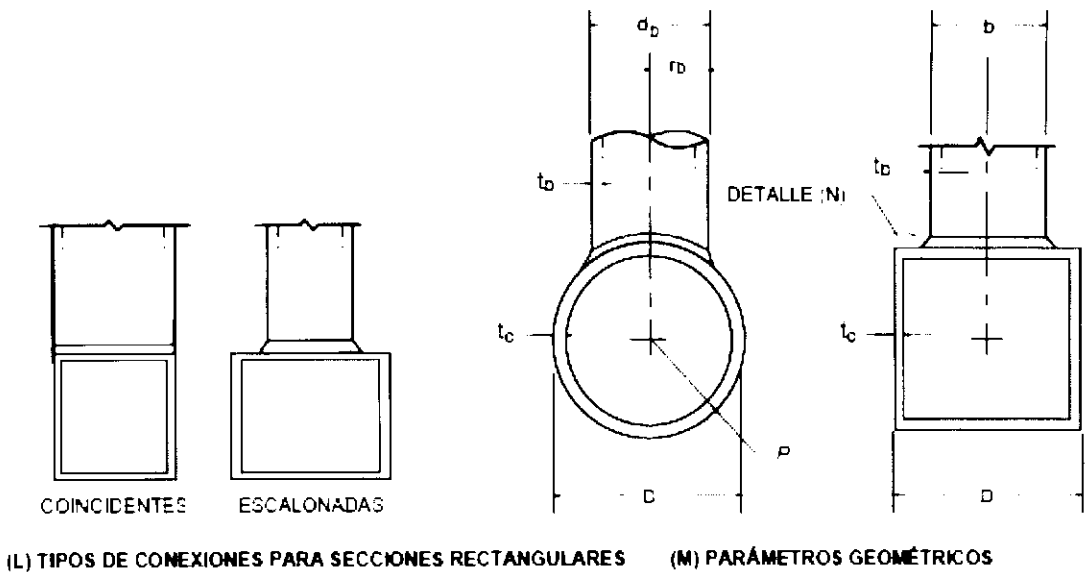
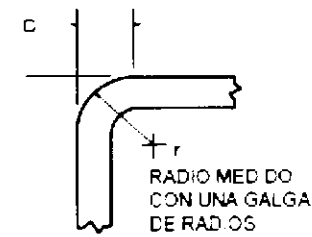


Figura 9.2 (Continuación)—Partes de una conexión tubular (véase 9.3)



(L) TIPOS DE CONEXIONES PARA SECCIONES RECTANGULARES

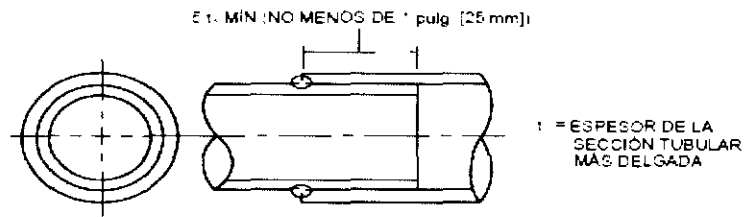
(M) PARÁMETROS GEOMÉTRICOS



(N) DIMENSIÓN DE LA ESQUINA O MEDIDA DEL RADIO

PARAMETRO	SECCIONES CIRCULARES	SECCIONES RECTANGULARES
β	r_b/R O d_b/D	b/D
η	—	a_r/D
γ	R/t_c	$D/2t_c$
τ	t_b/t_c	t_b/t_c
θ	ANGULO ENTRE LINEAS CENTRALES DE MIEMBROS	
ψ	ANGULO DIEDRO LOCAL EN UN PUNTO DADO DE LA JUNTA SOLDADA	
C	DIMENSIÓN DE LA ESQUINA MEDIDA EN EL PUNTO DE TANGENCIA O CONTACTO CON UNA ESCUADRA A 90° UBICADA EN LA ESQUINA	

Figura 9.2 (Continuación)—Partes de una conexión tubular (véase 9.3)



Nota: t₁ = tamaño según se requiera.

Figura 9.3—Junta traslapada soldada con filete (tubular) [véase 9.5.1.3 y 9.9.1(2)]

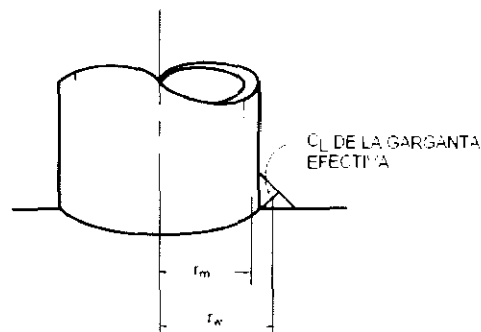


Figura 9.4—Radio de la proyección de la huella de soldadura en filete para conexiones en T-, Y- y K- (véase 9.5.3)

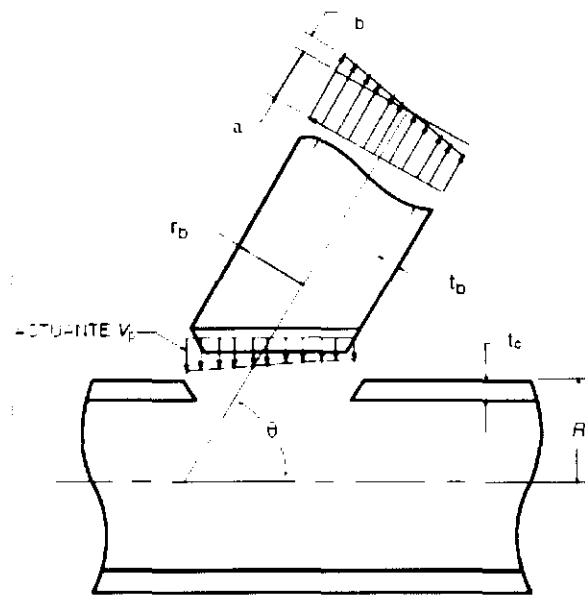


**Figure 9.5—Esfuerzo de cizallamiento por punzonado
(véase 9.6.1.1)**

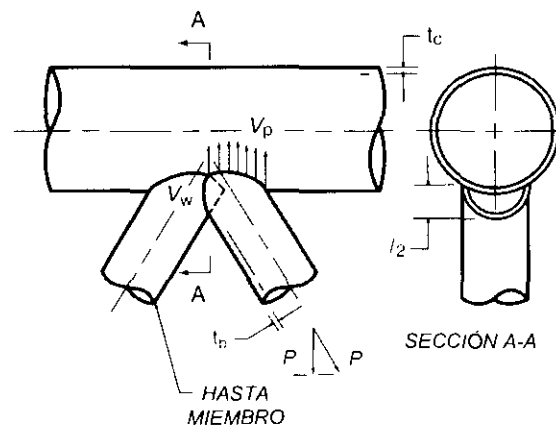
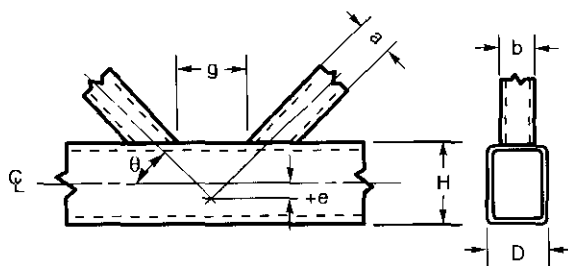


**Figura 9.6—Detalle de junta traslapada
(véase 9.6.1.6)**



Notas:

1. $-0,55H \leq e \leq 0,25H$
2. $\theta \geq 30^\circ$
3. H/t_c y $D/t_c \leq 35$ (40 para conexiones traslapadas en K- y N-)
4. a/t_b y $b/t_b \leq 35$
5. $F_{v0} \leq 52 \text{ ksi [360 MPa]}$
6. $0,5 \leq H/D \leq 2,0$
7. $F_{v0}/F_{ult} \leq 0,8$

Figura 9.7—Limitaciones para conexiones rectangulares en T-, Y- y K- [véase 9.6.2 y 9.8.1.2(2)]

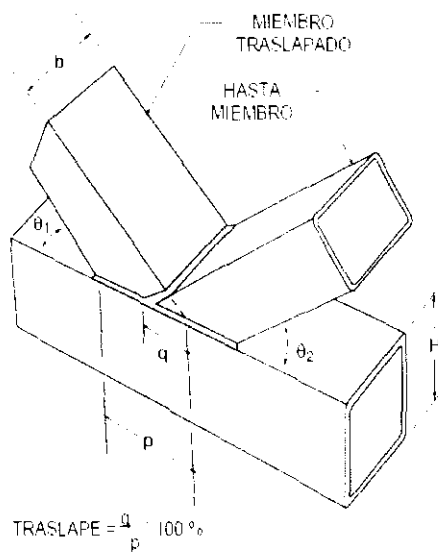


Figura 9.8—Conexiones en K traslapadas
(véase 9.6.2.4)



1. La ranura puede ser de cualquier tipo y detalle admitido o calificado
2. Las pendientes de transición mostradas son las máximas permitidas
3. En (B), (D) y (E) la ranura puede ser de cualquier tipo y detalle admitido o calificado. Las pendientes de transición mostradas son las máximas permitidas.

Figura 9.9—Transición de espesor de juntas a tope entre piezas de espesores desiguales (tubulares) (véase 9.7)

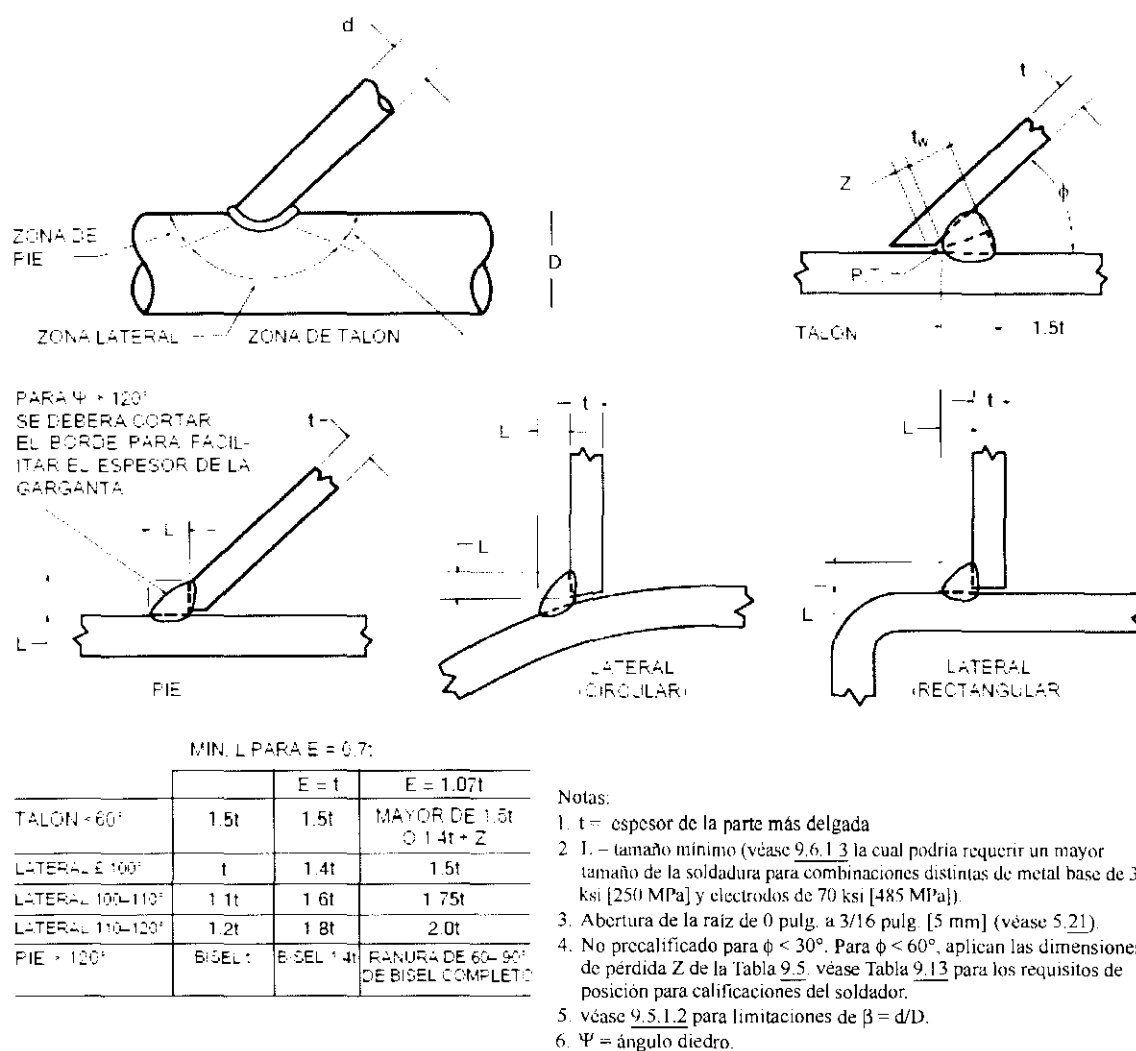


Figura 9.10—Juntas tubulares precalificadas soldadas con filete realizadas con SMAW, GMAW, y FCAW (véase 9.9.1)

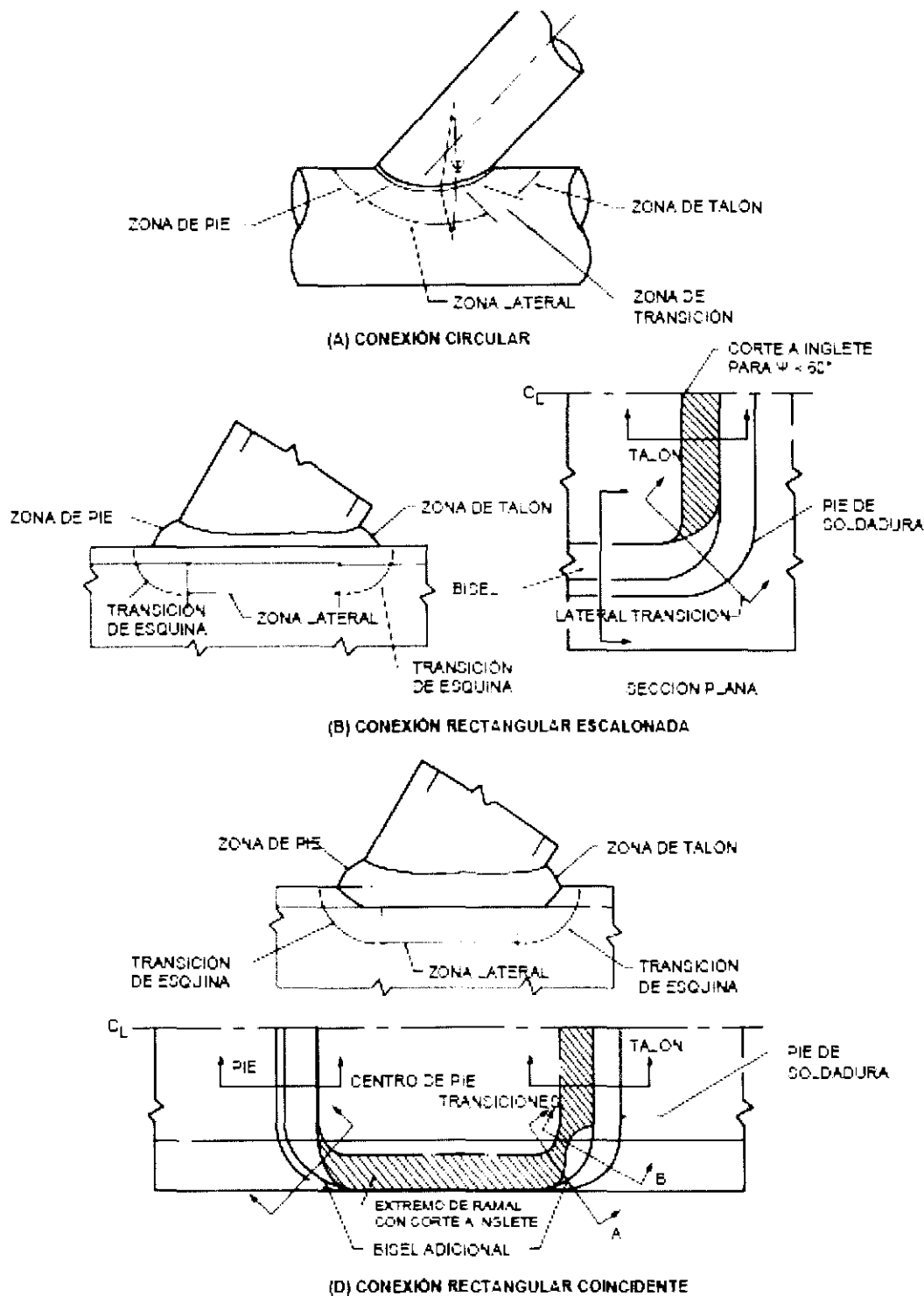


Figura 9.11—Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con PJP (véase 9.10.1)

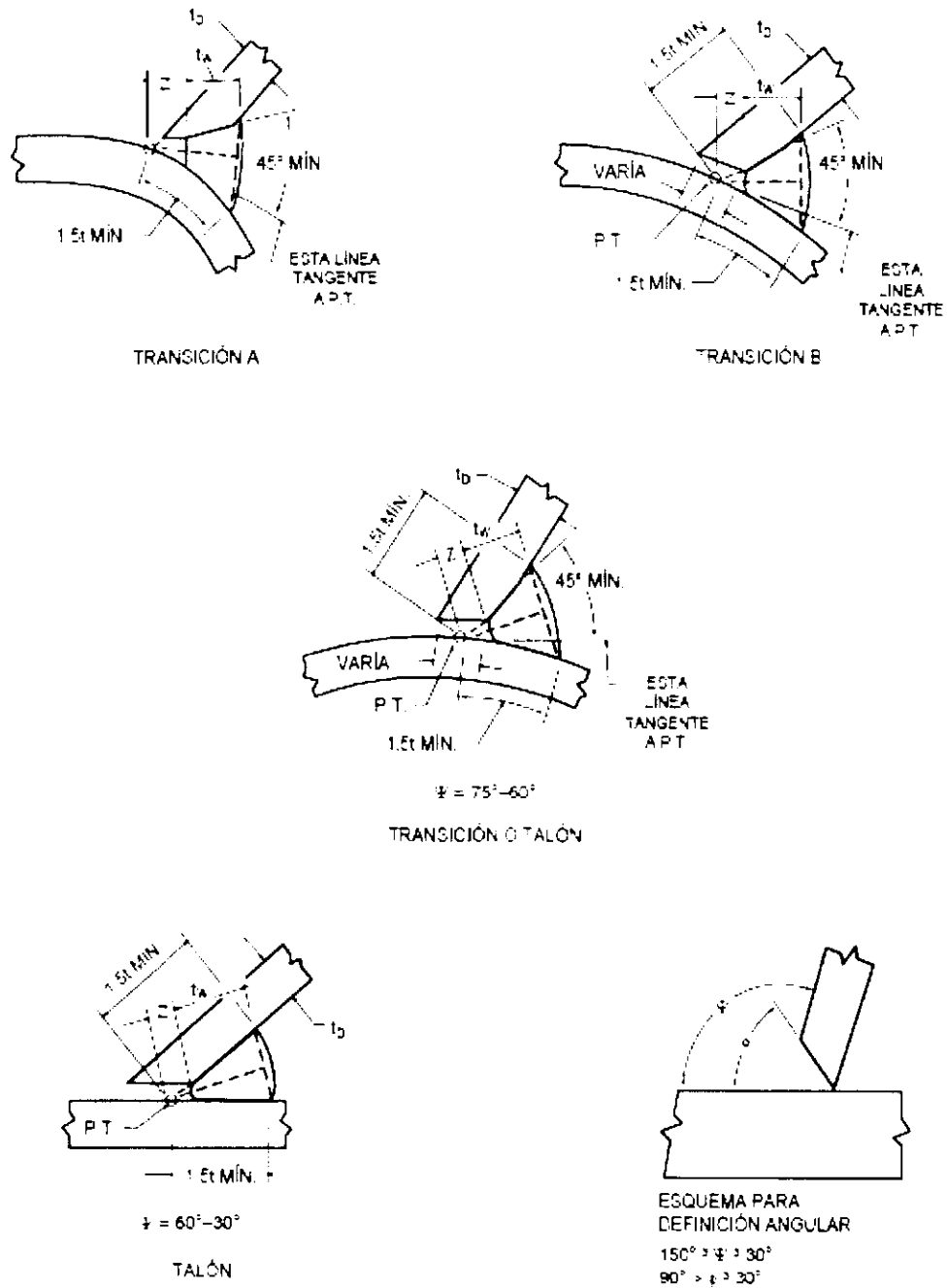
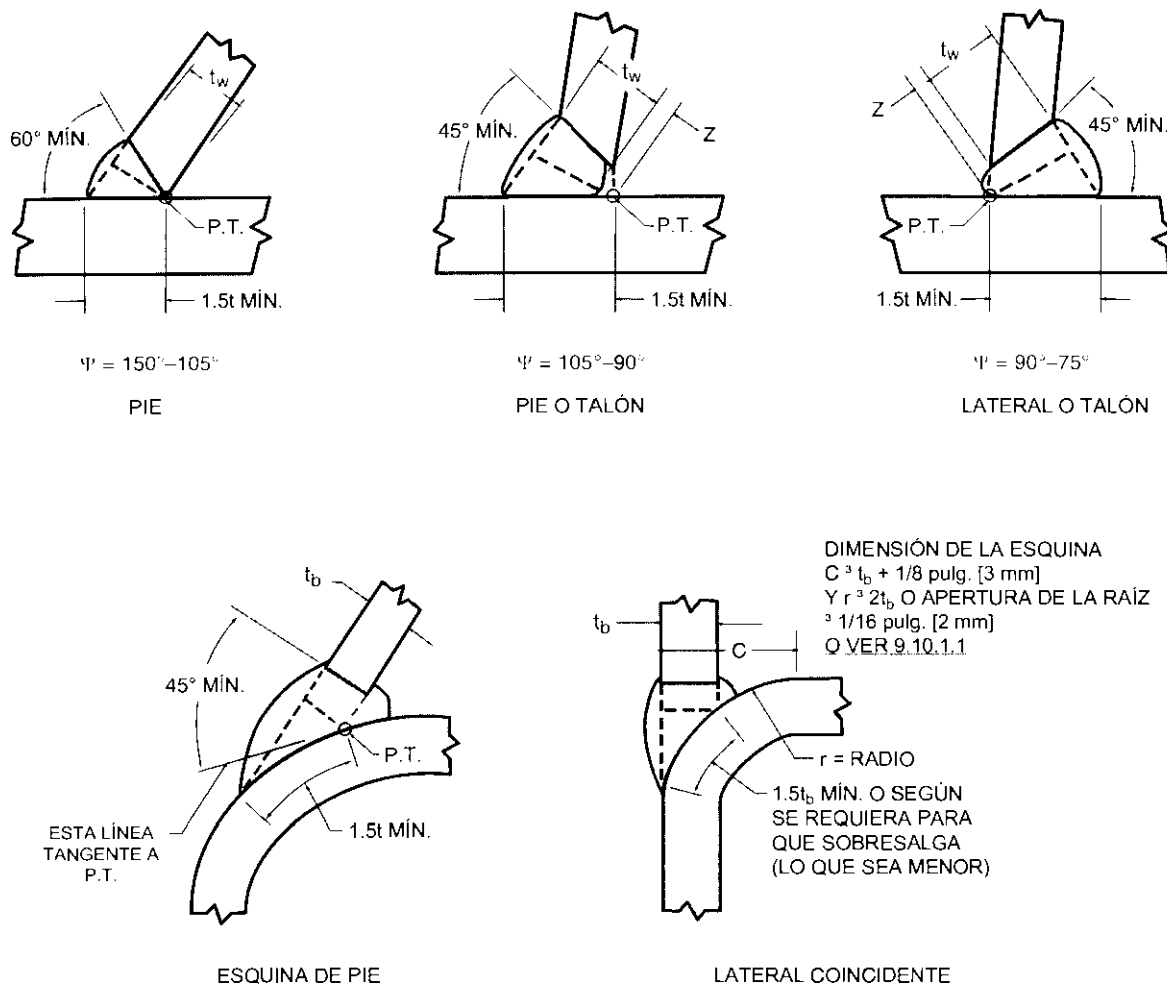


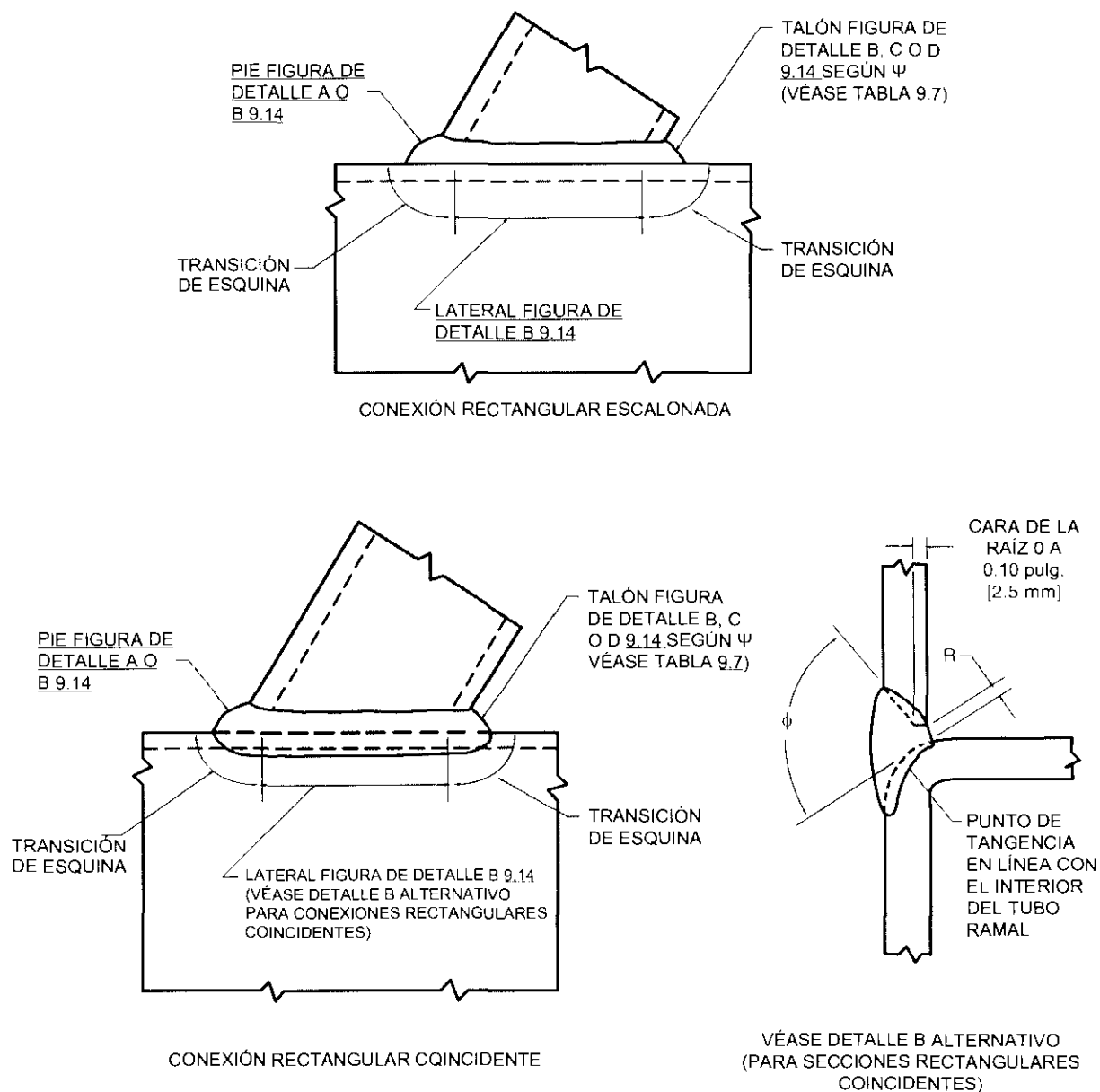
Figura 9.11(Continuación)—Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con PJP (véase 9.10.1)



Notas:

1. t = espesor de la sección más delgada.
2. Biselado del canto excepto en zonas de talón y transición.
3. Abertura de la raíz: 0 pulg. a 3/16 pulg. [5 mm].
4. No precalificado para menos de 30°.
5. Tamaño de la soldadura (garganta efectiva) $t_w \geq t$; Dimensiones de pérdida Z indicadas en la Tabla 9.5.
6. Se deben hacer los cálculos conforme a 9.6.1.3 para longitudes de cateto menores a 1,5t, como se muestra.
7. Para una sección rectangular, la preparación de juntas para transiciones de esquina debe proporcionar una transición suave de un detalle a otro. Se debe soldar en forma continua alrededor de las esquinas, con todas las esquinas completamente armadas y con todos los inicios y paradas de soldadura en caras planas.
8. Véase la definición de ángulo diedro local en el Anexo J, Ψ .
9. W.P. = punto de trabajo.

Figura 9.11(Continuación)—Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con PJP (véase 9.10.1)



Notas:

1. Aplican los detalles A, B, C, D como se muestran en la Figura 9.14 y todas las notas de la Tabla 9.8.
2. La preparación de juntas para soldaduras en esquina debe proporcionar una transición suave de un detalle a otro. Se debe soldar en forma continua alrededor de las esquinas, con todas las esquinas completamente armadas y con todos los inicios y paradas de arco en caras planas.
3. Las referencias de la Figura 9.14 incluyen las Figuras 9.15 y 9.16 según correspondan al espesor (véase 9.2.7.7).

Figura 9.12—detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con CJP (véase 9.11.2)

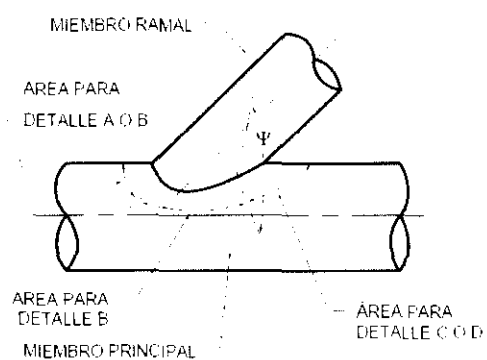
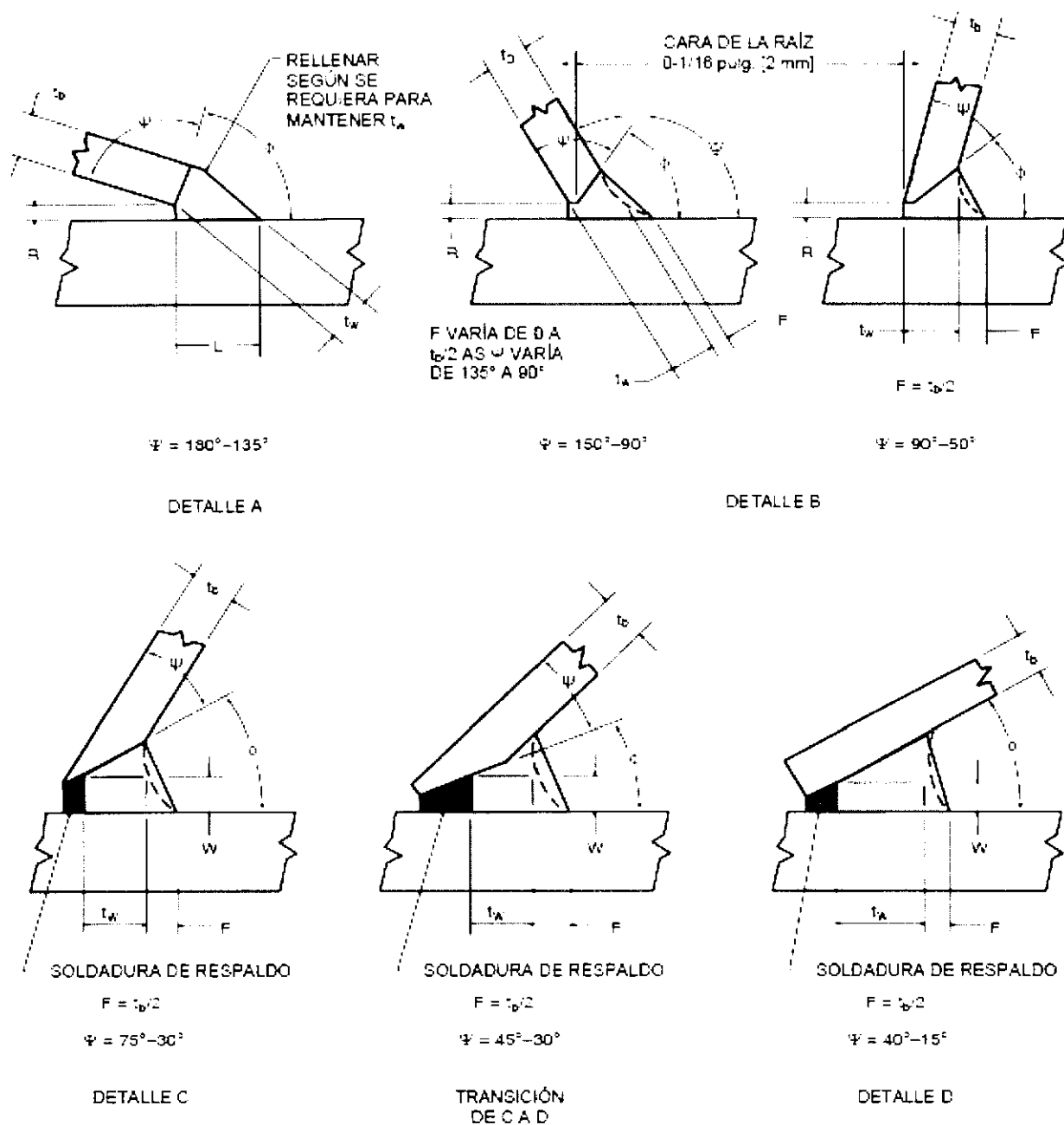


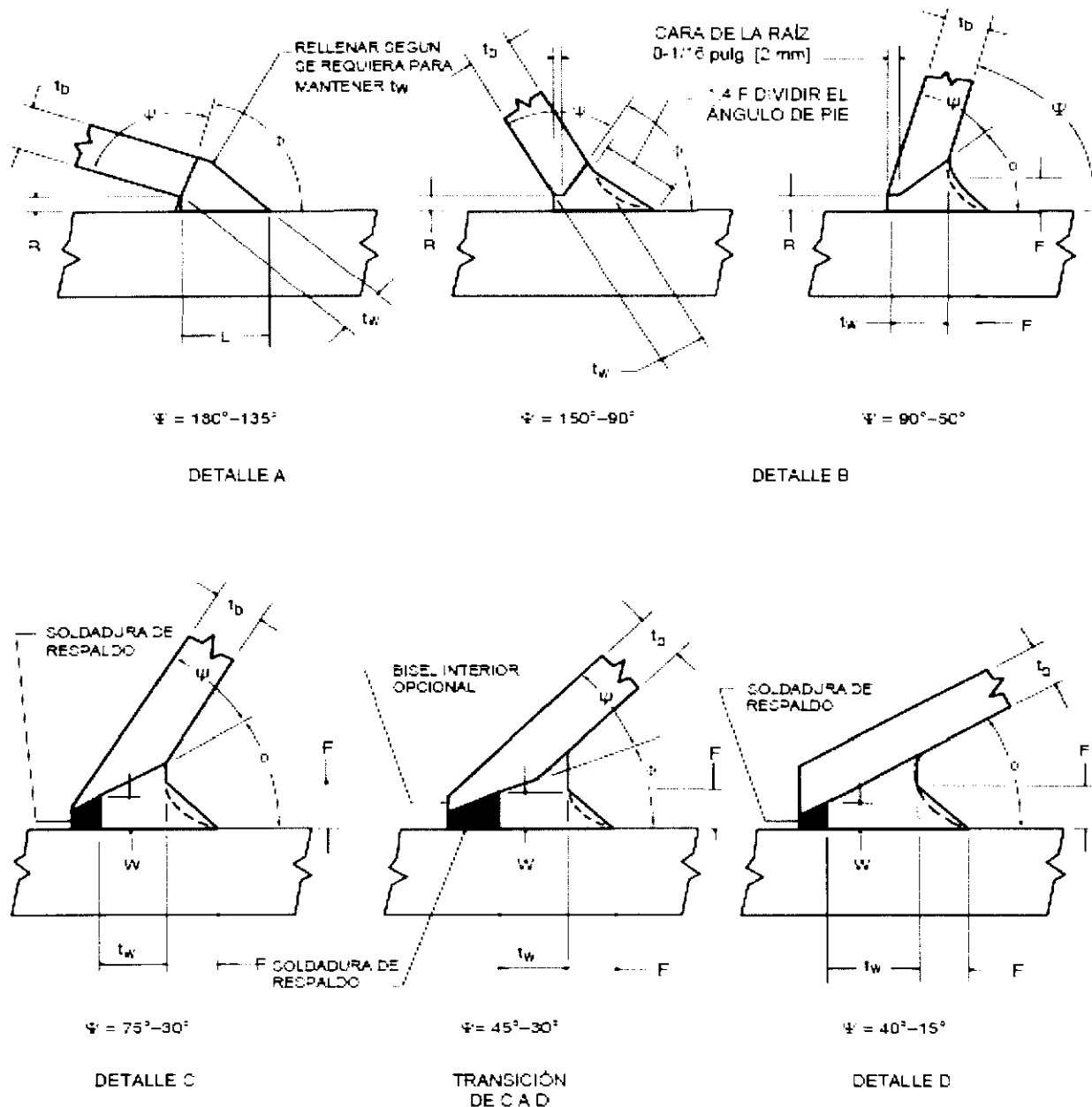
Figura 9.13—Definiciones y selecciones detalladas para conexiones tubulares T-, Y-, y K- precalificadas (véase 9.11.2 y Tabla 9.7)



Notas:

1. véase Tabla 9.8 para dimensiones t_w , L , R , W , ω , ϕ .
2. El perfil de soldadura plana estándar mínimo debe ser el que se indica con una línea sólida.
3. También debe aplicarse un perfil cóncavo, como se indica con la línea discontinua.
4. La convexidad, el traslape, etc. deben sujetarse a las limitaciones de 5.23.
5. El espesor del miembro ramal, t_b , debe sujetarse a las limitaciones de 9.2.7.7.

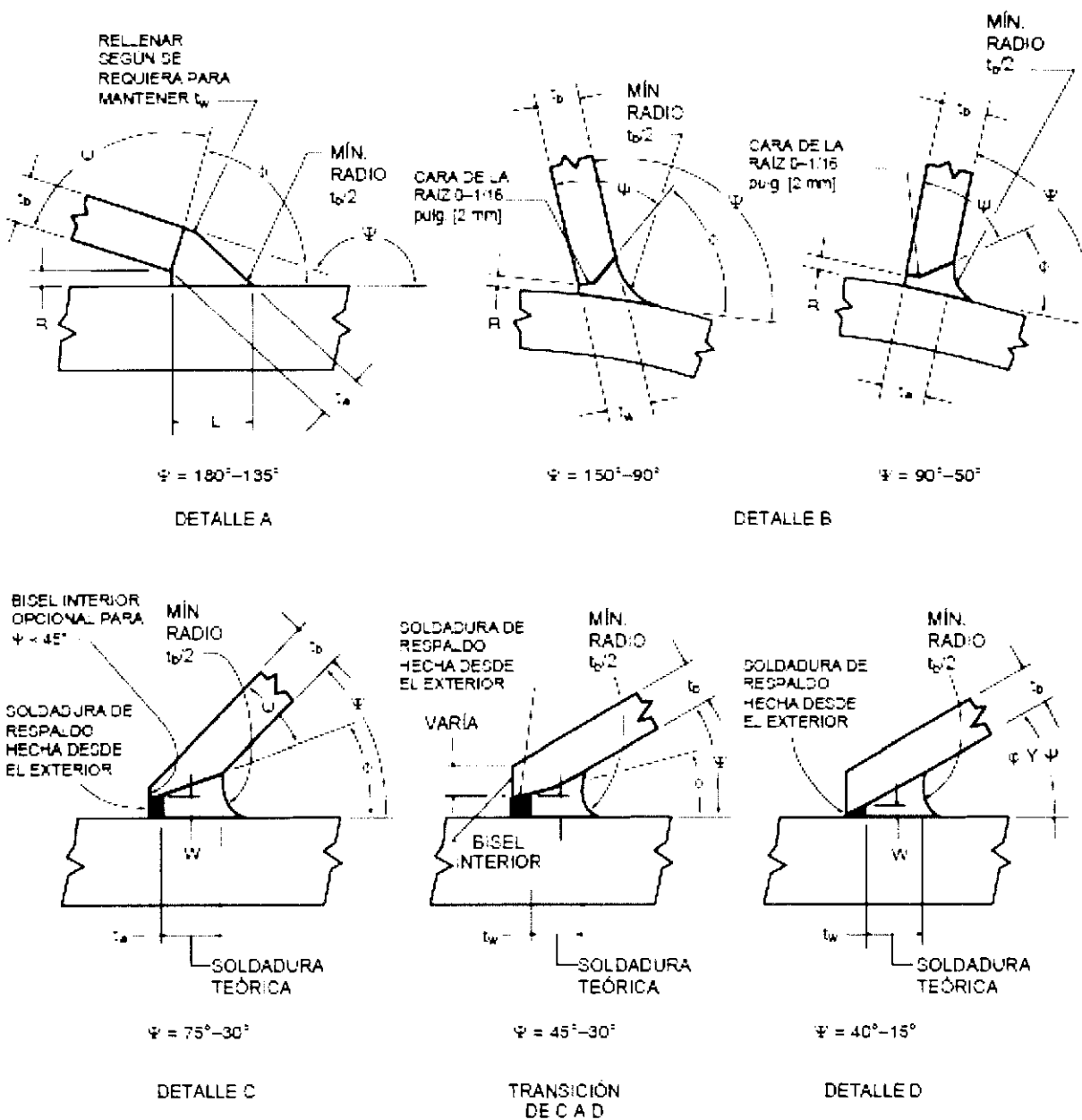
Figura 9.14—Detalles de la junta precalificada para soldadura en ranura con CJP en conexiones tubulares



Notas:

1. Los esquemas ilustran perfiles estándar alternativos con filete de pic.
2. Véase 9.2.7.7 para rango aplicable de espesor t_b .
3. Tamaño mínimo de la soldadura en filete, $F = t_b/2$, también debe sujetarse a los límites de la Tabla 5.7.
4. Véase Tabla 9.8 para dimensiones t_w , L, R, W, ω , ϕ .
5. La convexidad y el traslape deben sujetarse a las limitaciones de 5.23.
6. Los perfiles cóncavos, como se indican en las líneas discontinuas, también son aceptables.

Figura 9.15—Detalles de la junta precalificada para soldadura en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfil con filete de pie para espesores intermedios (véase 9.11.2)



Notas:

1. Ilustra perfiles de soldadura mejorados para 9.2.7.6(1) tal como se soldaron y para 9.2.7.6(2) completamente esmerilados.
2. Para secciones pesadas o aplicaciones críticas de fatiga como se indicó en 9.2.7.7.
3. Véase Tabla 9.8 para dimensiones t_b , L, R, W, α , ϕ .

Figura 9.16—Detalles de la junta precalificada para soldadura en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfil cóncavo mejorado para secciones pesadas o fatiga (véase 9.11.2)

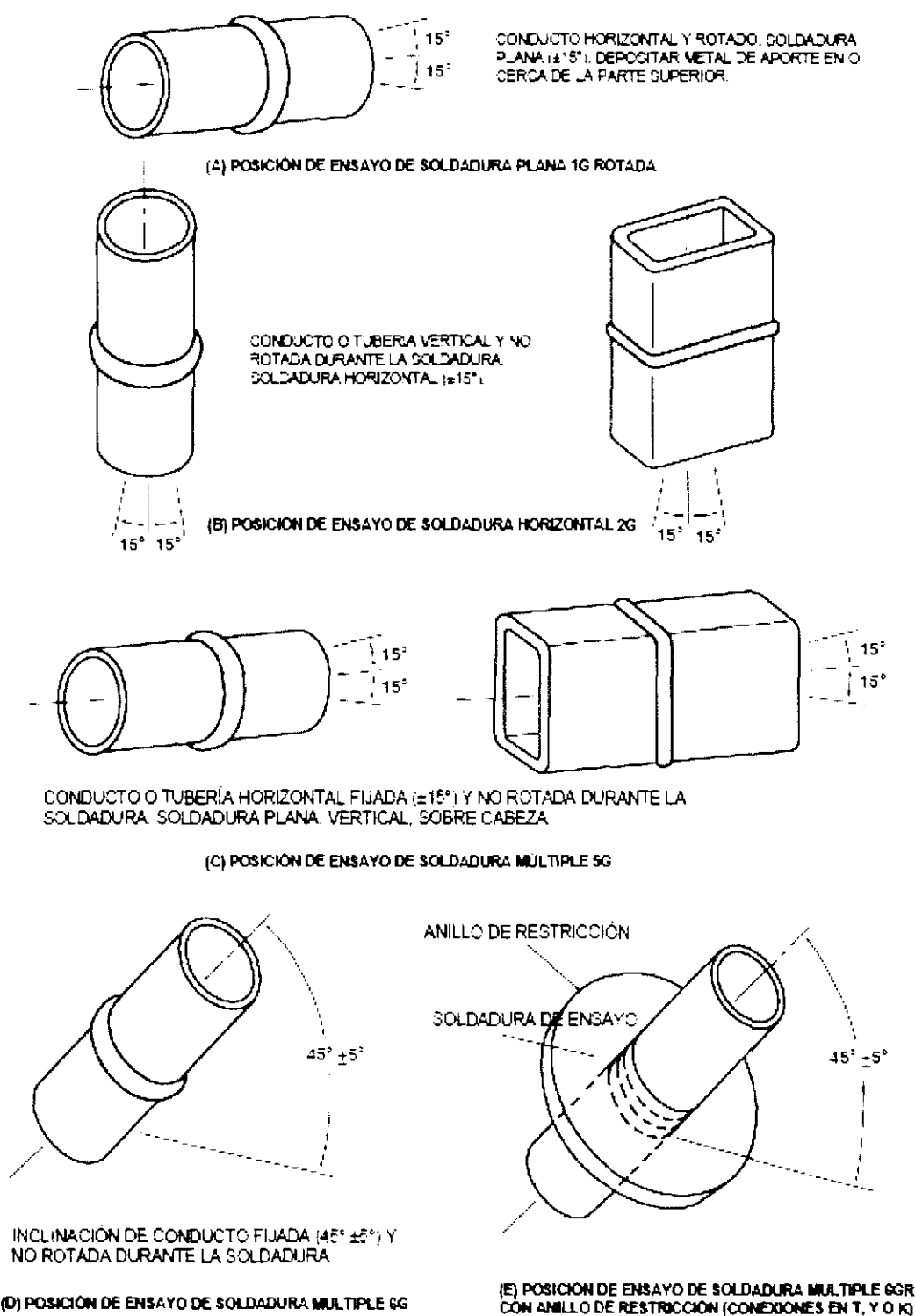
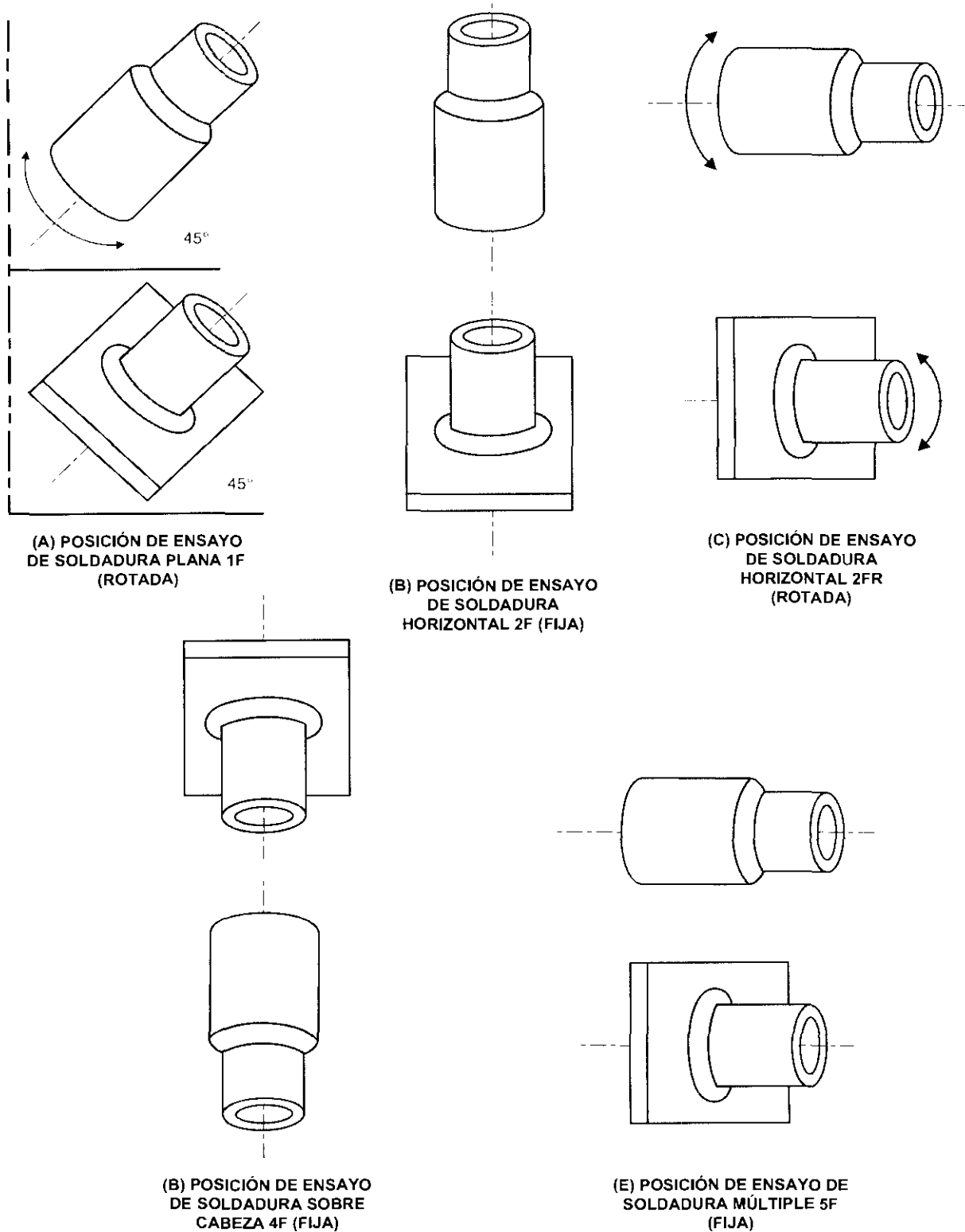
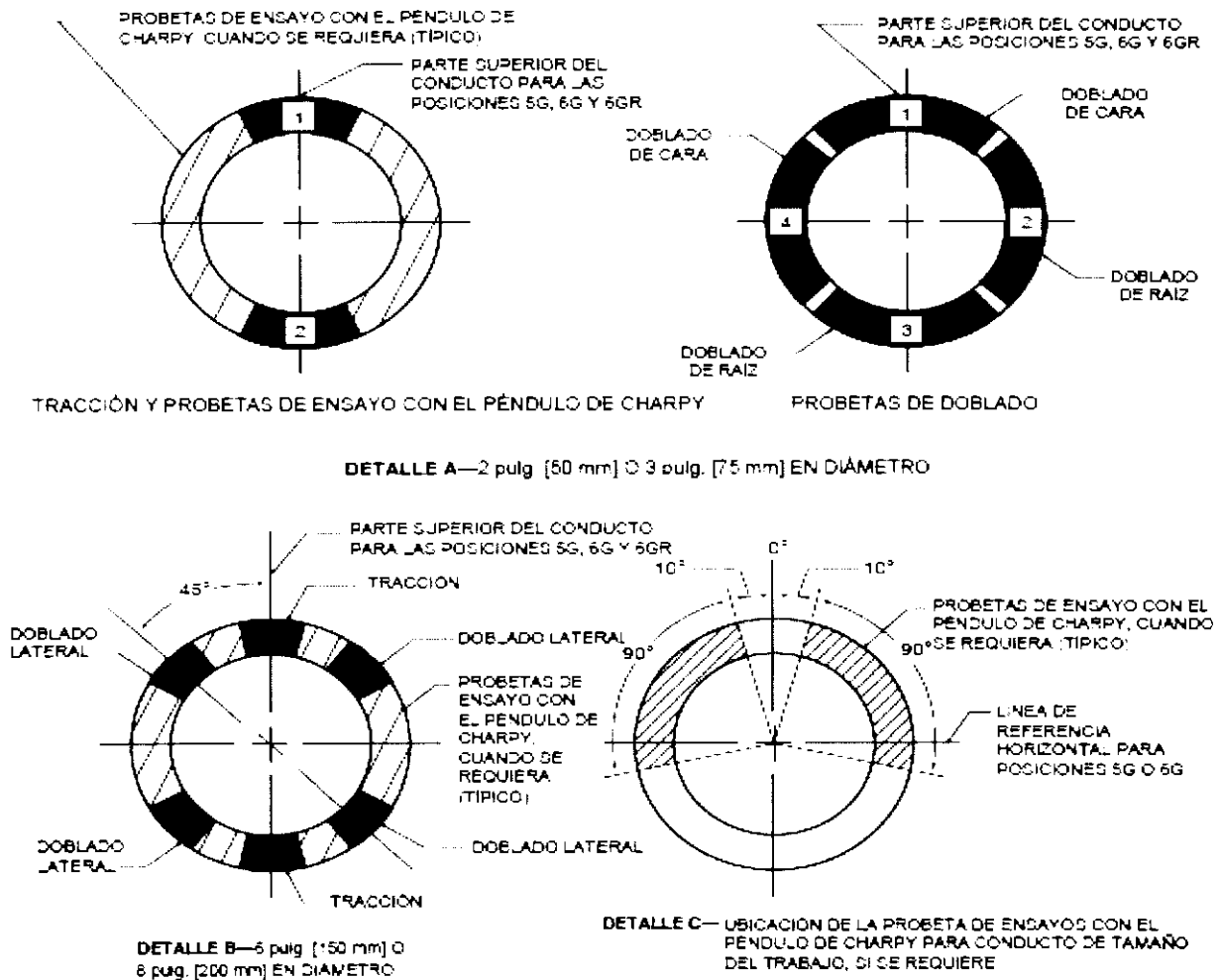


Figura 9.17—Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en ranura (véase 9.12.1)



Reproducido de AWS A3.0M/A3.0:2010, *Términos y definiciones de soldadura estándar, incluidos términos para junta adhesiva, soldadura fuerte, soldadura blanda, corte térmico y termorrociado*, Figura B 20, Miami: Sociedad Americana de Soldadura.

Figura 9.18—Posiciones de conductos o tuberías de ensayo para soldaduras en filete (véase 9.12.1)



Nota: pueden requerirse duplicados de los conductos o tuberías de ensayo de mayor tamaño cuando se especifiquen ensayos CVN en los documentos del contrato o en las especificaciones.

**Figura 9.19—Ubicación de probetas de ensayo en tubos de ensayo soldados—
Calificación de la WPS (véase 9.14)**

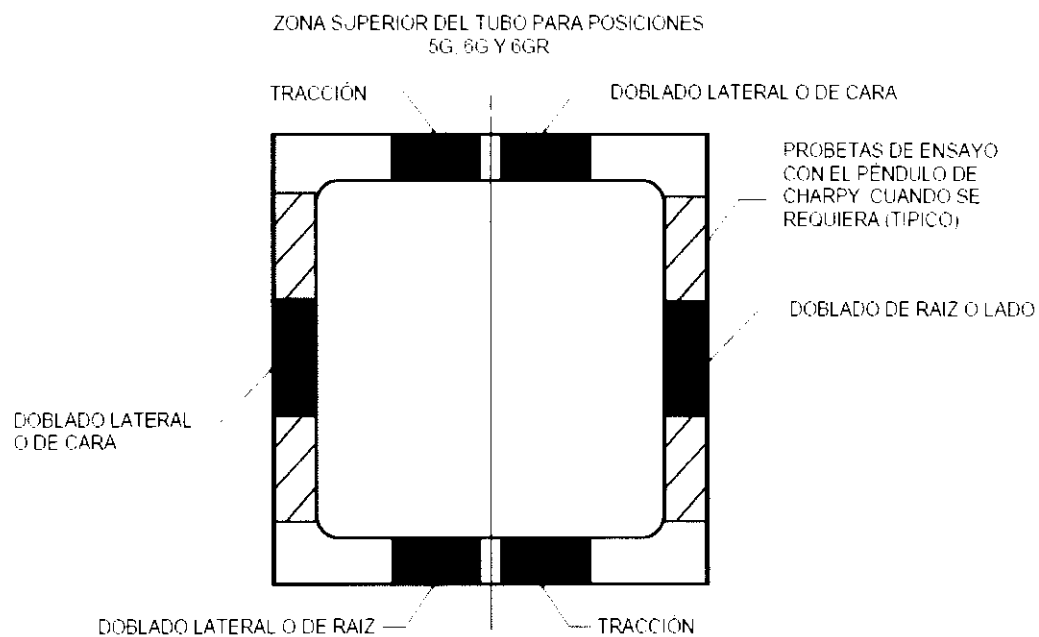
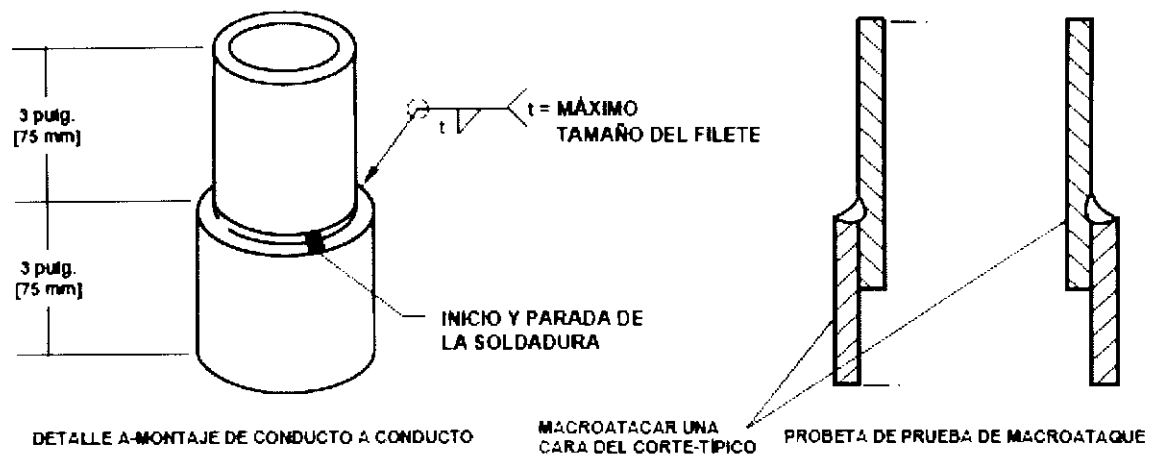
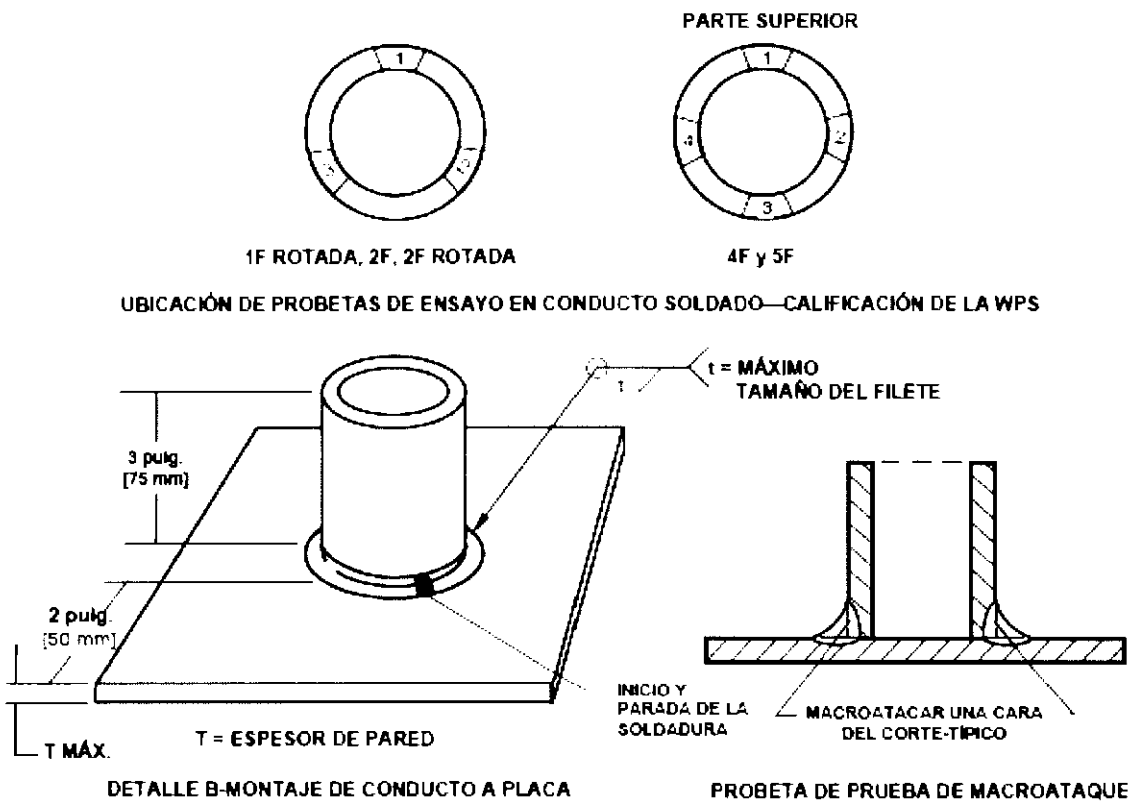


**Figura 9.20—Ubicación de las probetas de ensayo para tubería rectangular soldada—
Calificación de la WPS (véase 9.14)**



Notas:

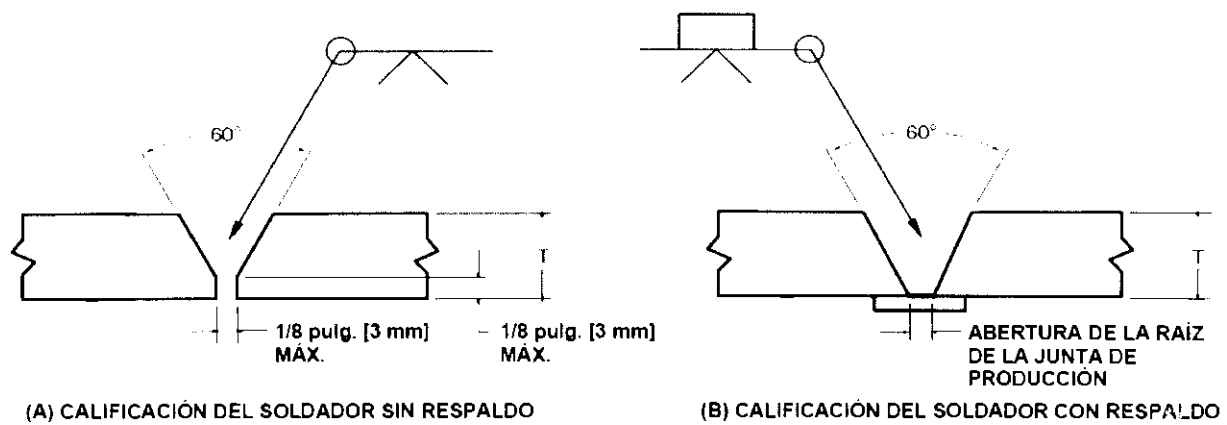
1. véase los requisitos de posición en la Tabla 9.9.
2. El conducto debe ser de suficiente espesor para evitar la perforación por fusión.



Notas:

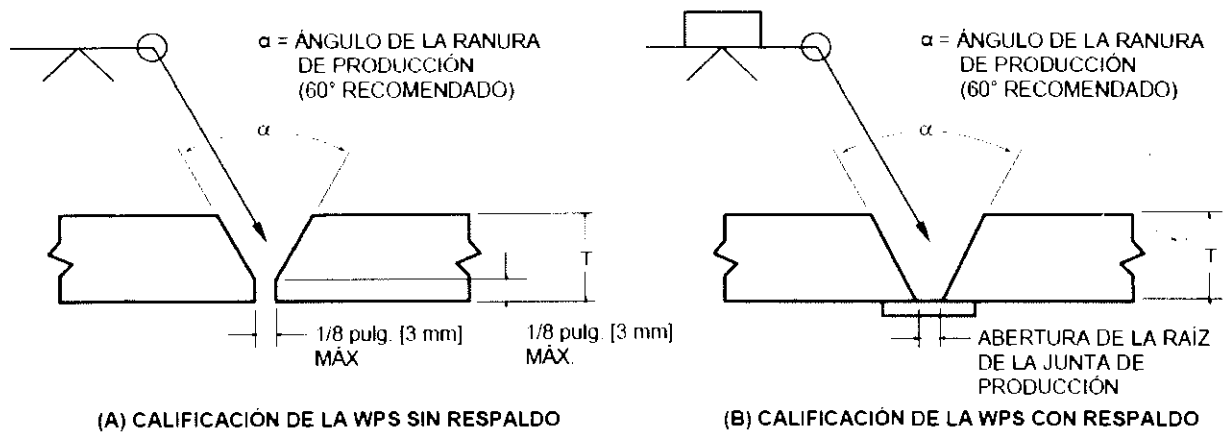
1. véase los requisitos de posición en la Tabla 9.9.
2. El conducto debe ser de suficiente espesor para evitar la perforación por fusión.
3. Todas las dimensiones son mínimas.

Figura 9.21—Ensayo de solidez de la soldadura en filete de conductos—Calificación de la WPS (véase 4.12.2 y 9.16)



Nota: T = calificación para el espesor de pared de conducto o tubería de sección rectangular

Figura 9.22—Junta tubular a tope—Calificación del soldador con o sin respaldo (véase 9.19)



Nota: T = calificación para el espesor de pared de conducto o tubería de sección rectangular.

Figura 9.23—Junta tubular a tope—Calificación de la WPS con o sin respaldo (véase 9.15.1 y 9.15.2)

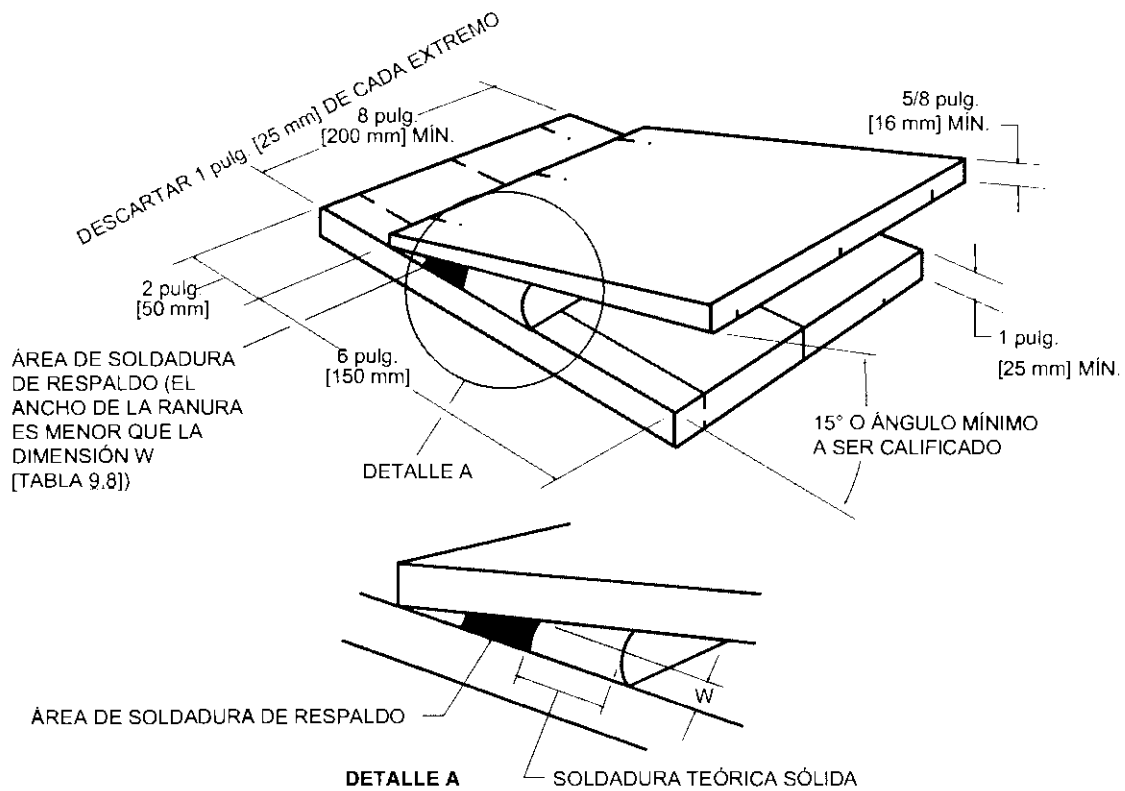


Figura 9.24—Ensayo de talón de ángulo agudo (No se muestran las limitaciones) (ver 9.15.4.2)

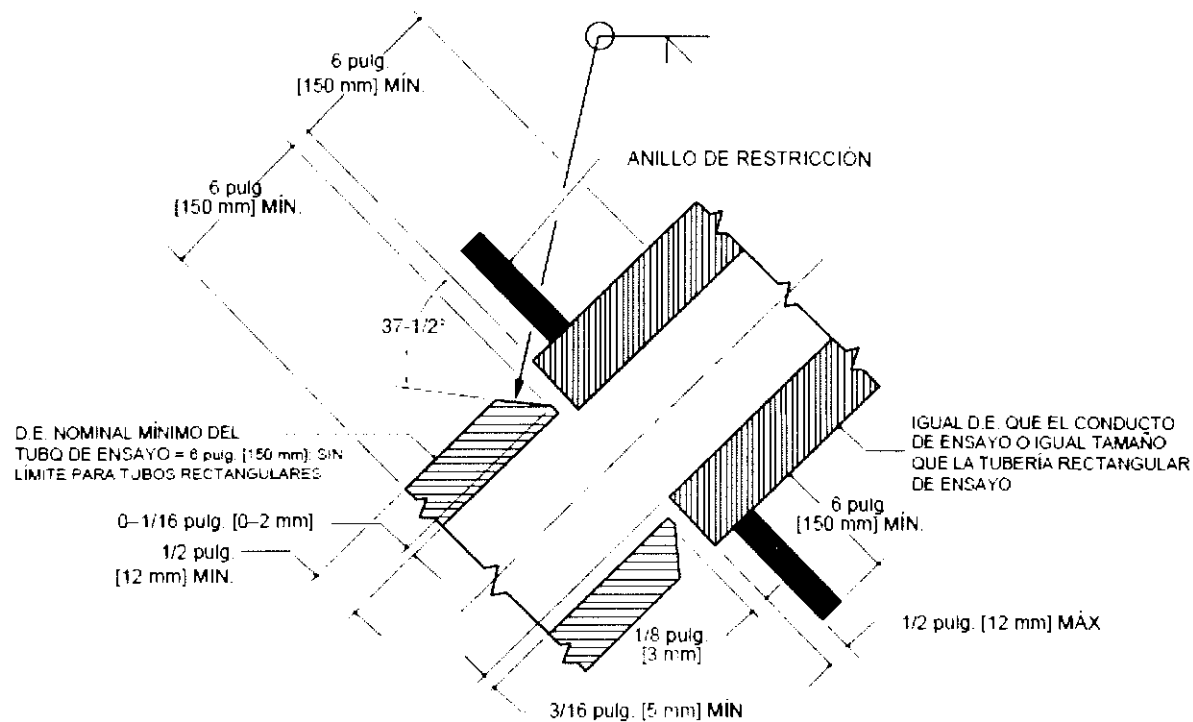


Figura 9.25—Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías de sección rectangular (≥ 6 pulg. [150 mm] O.D.)—Calificación del soldador y de la WPS (véase 9.15.4.1 y 9.19)

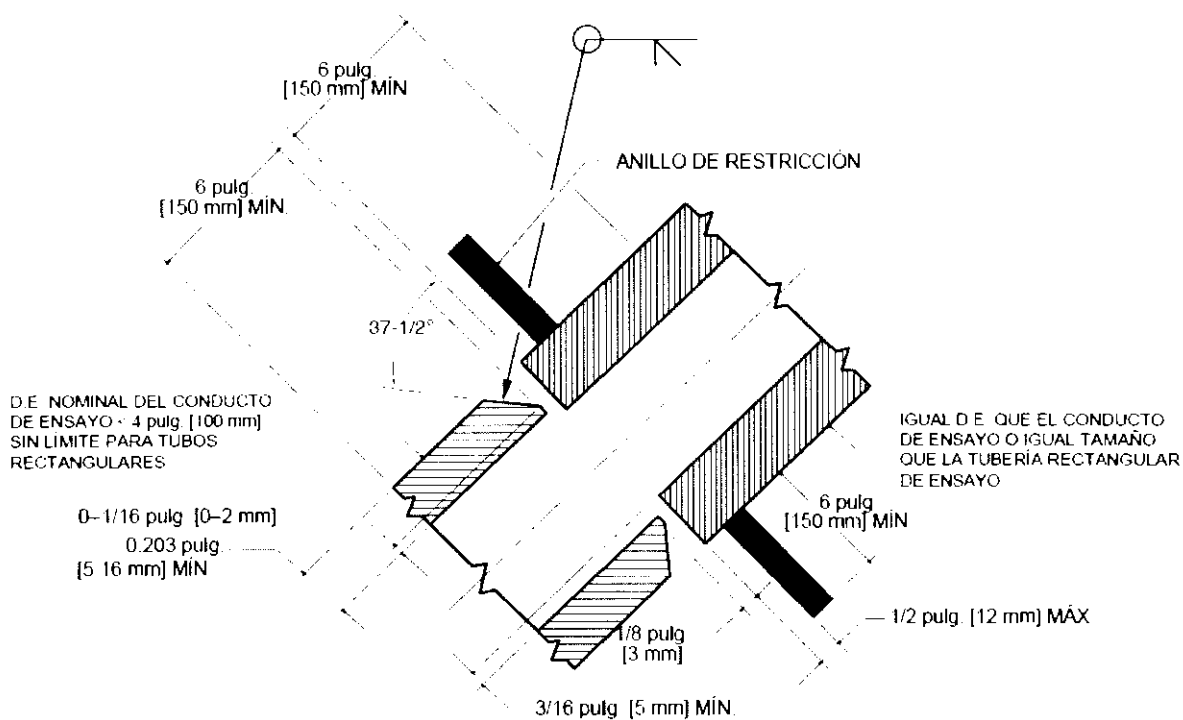


Figura 9.26—Ensayo de junta para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en conductos o tuberías de sección rectangular (<4 pulg. [100 mm] O.D.)—Calificación del soldador y de la WPS (véase 9.15.4.1 y 9.19)

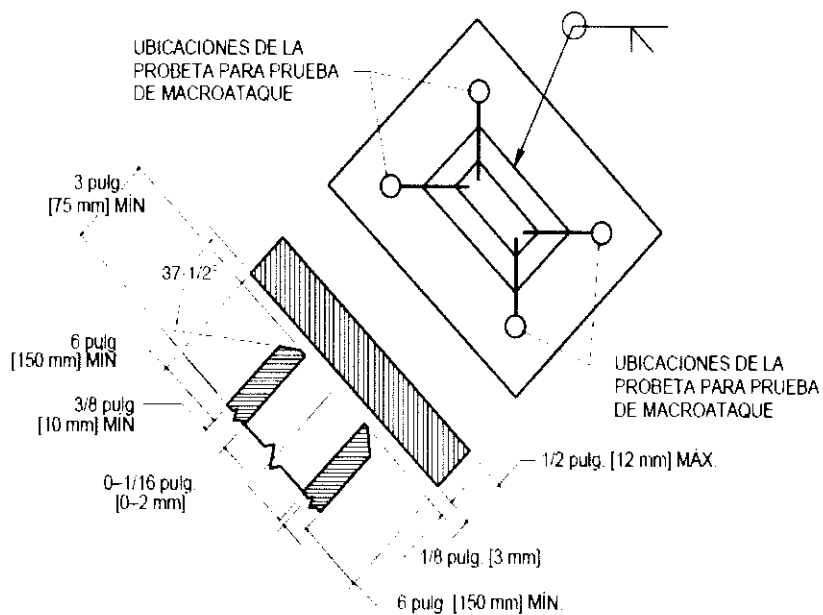
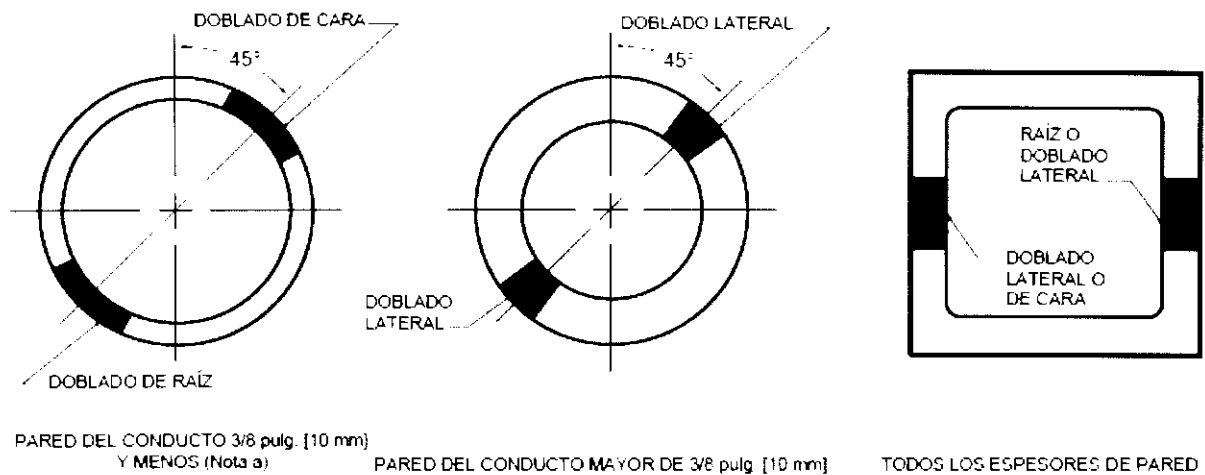
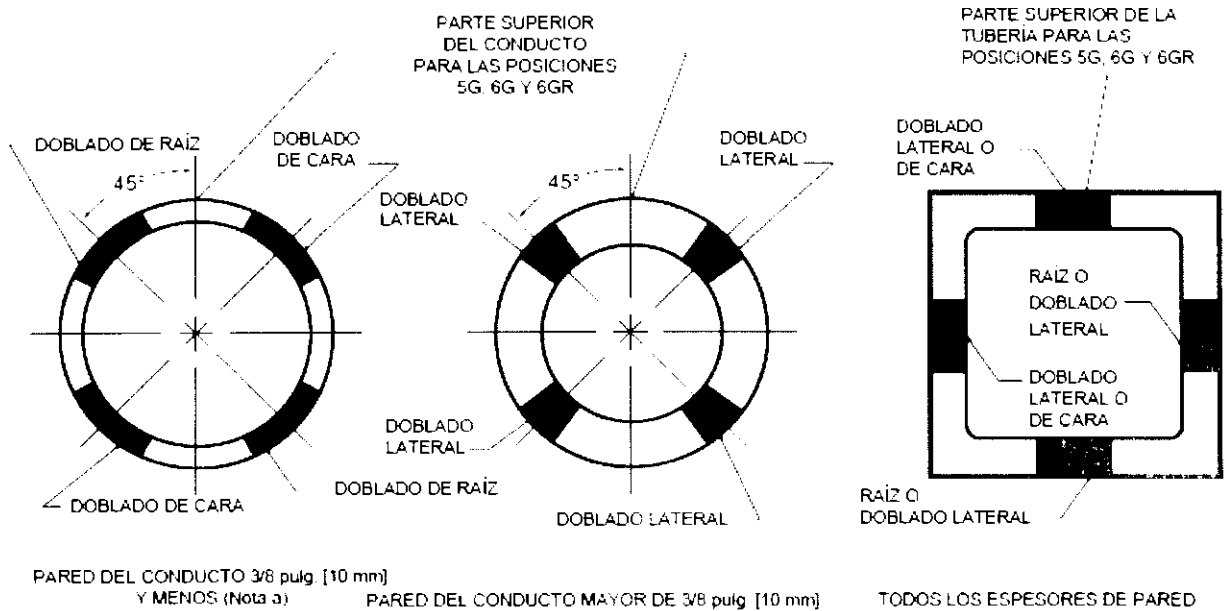


Figura 9.27—Ensayo de macroataque de juntas en esquina para conexiones en T-, Y- y K- sin respaldo en tuberías de sección rectangular para soldaduras en ranura con CJP—Calificación del soldador y de la WPS (véase 9.15.4.1 y 9.19)



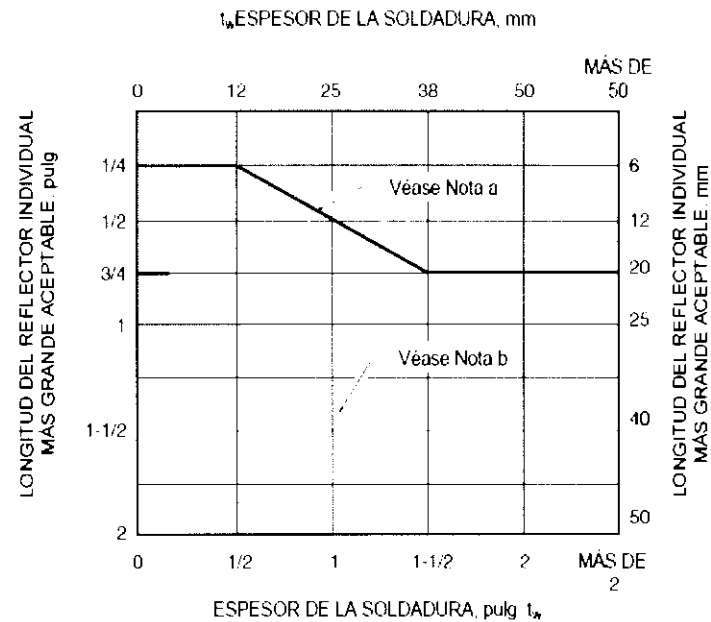
PROBETAS PARA LAS POSICIONES 1G Y 2G



PROBETAS PARA LAS POSICIONES 5G, 6G Y 6GR

^a En caso de un espesor de pared de 3/8 pulg. [10 mm] se puede reemplazar el ensayo de doblado de lado por cada uno de los ensayos de doblado de cara y raíz requeridos.

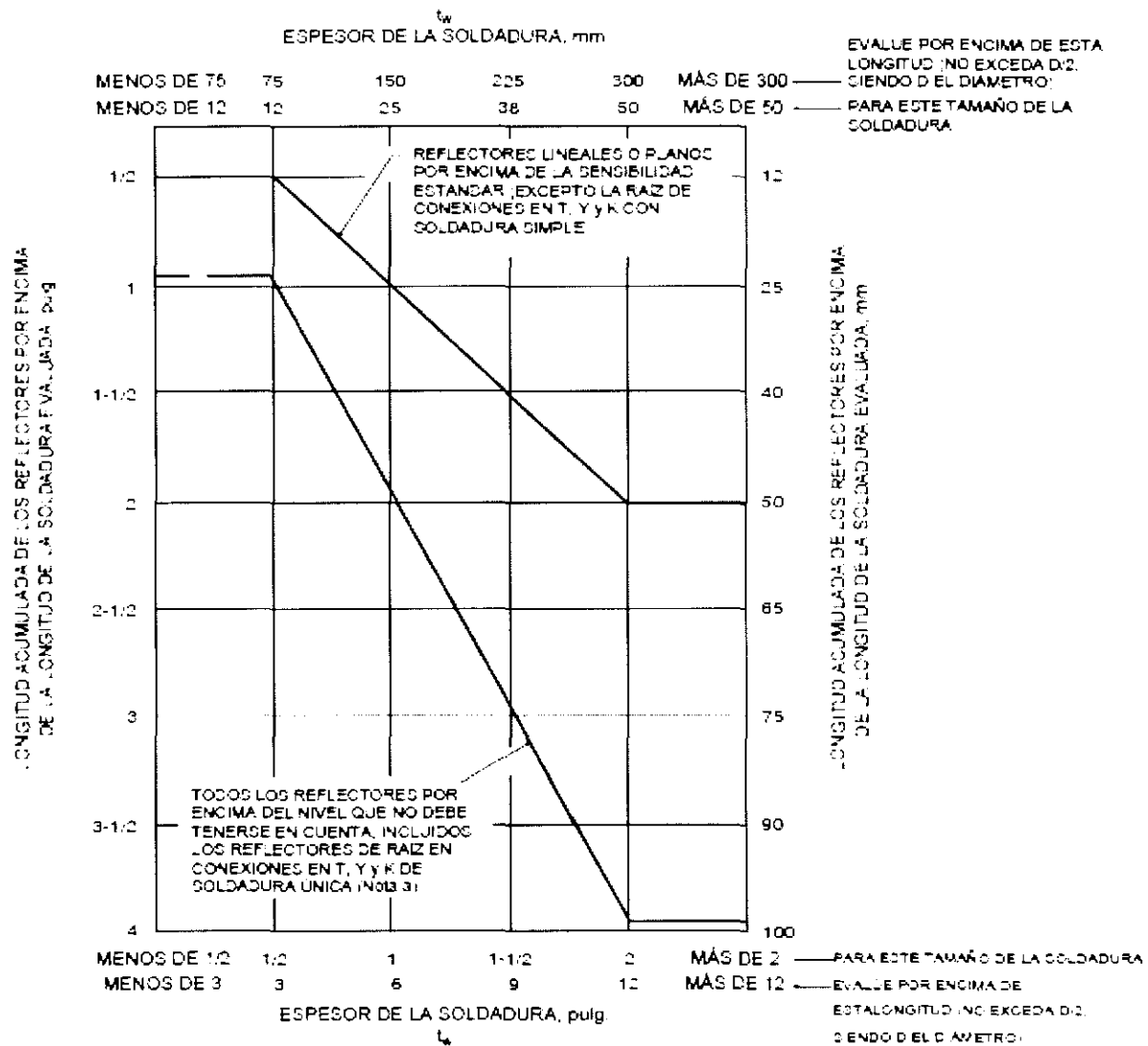
Figura 9.28—Ubicación de las probetas de prueba en conducto soldado y tubería rectangular—Calificación del soldador (véase 9.17.1)



^a Reflectores lineales o planos por encima de la sensibilidad estándar.

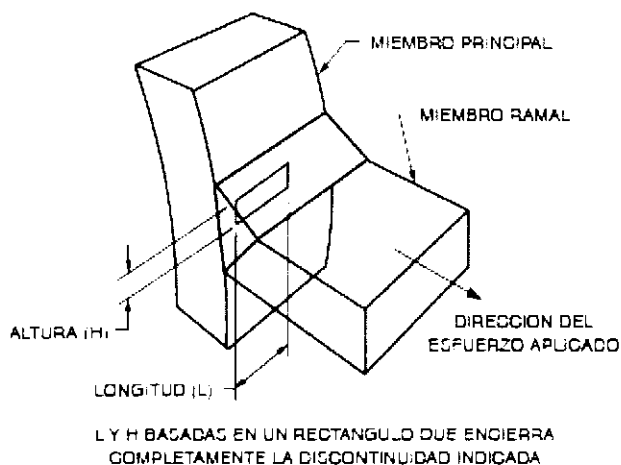
^b Reflectores menores (por encima del nivel de ser ignorados y hasta incluir la sensibilidad estándar). Los reflectores adyacentes con una separación menor que su longitud promedio deben ser tratados como continuos.

Figura 9.29—Indicaciones de Clase R (véase 9.27.1.1)

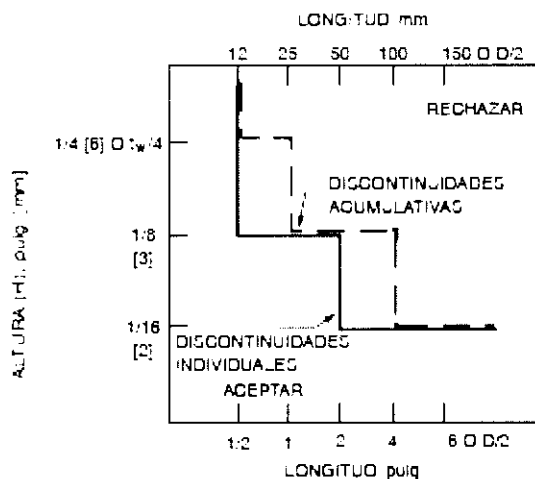


* Las discontinuidades del área de raíz que caen fuera de la soldadura teórica (dimensiones " L_w " o " L " en las Figuras 9.14, 9.15, y 9.16) 9.14, 9.15, y 9.16) deben ser ignoradas.

Figura 9.29(Continuación)—Indicaciones de Clase R (véase 9.27.1.1)

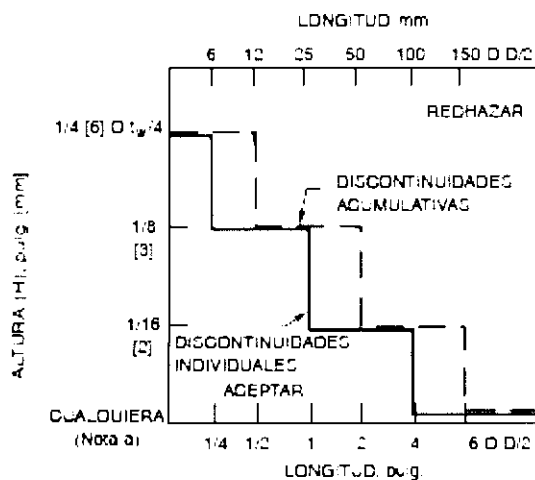


1. Las discontinuidades alineadas separadas por menos de $(L1 + L2)/2$ y las discontinuidades paralelas separadas por menos de $(H1 + H2)/2$ deben ser evaluadas como continuas.
2. Las discontinuidades acumulativas deben ser evaluadas por encima de 6 pulg. [150 mm] o $D/2$ de longitud de soldadura (la que sea menor), donde el diámetro del tubo es = D.



DISCONTINUIDADES DE RAÍZ EN T-, Y- y K-

1. Para conexiones tubulares en T-, Y-, y K- con soldadura simple con CJP realizadas sin respaldo.
2. Las discontinuidades de la soldadura de respaldo en la raíz, deben ignorarse los Detalles C y D de las Figuras 9.14, 9.15, y 9.16.



REFLECTORES INTERNOS Y DEMÁS SOLDADURAS

Las discontinuidades que estén dentro de H o $t_w/6$ de la superficie externa deben estar dimensionadas como si se extendieran hacia la superficie de la soldadura.

Figura 9.30—Indicaciones de Clase X (véase 9.27.1.2)

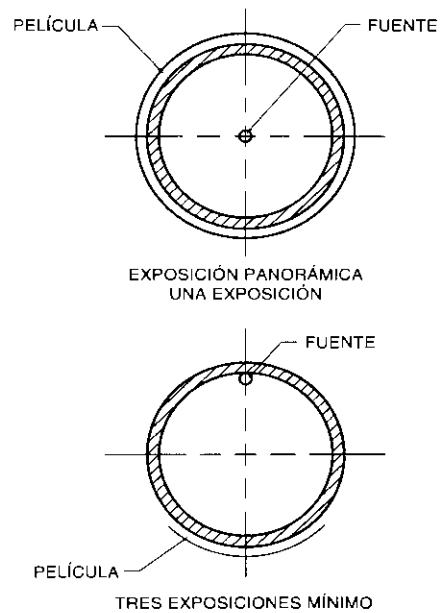


**Figura 9.31—Exposición de pared simple—
Vista de pared simple (véase 9.29.1.1)**

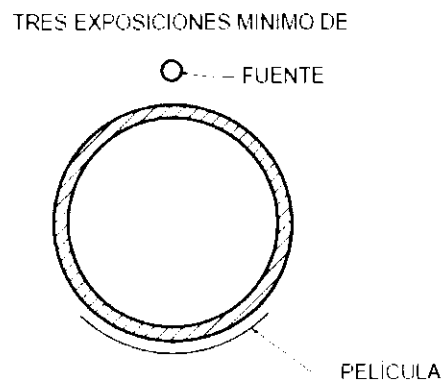


**Figura 9.32—Exposición de pared doble—
Vista de pared simple (véase 9.29.1.2)**

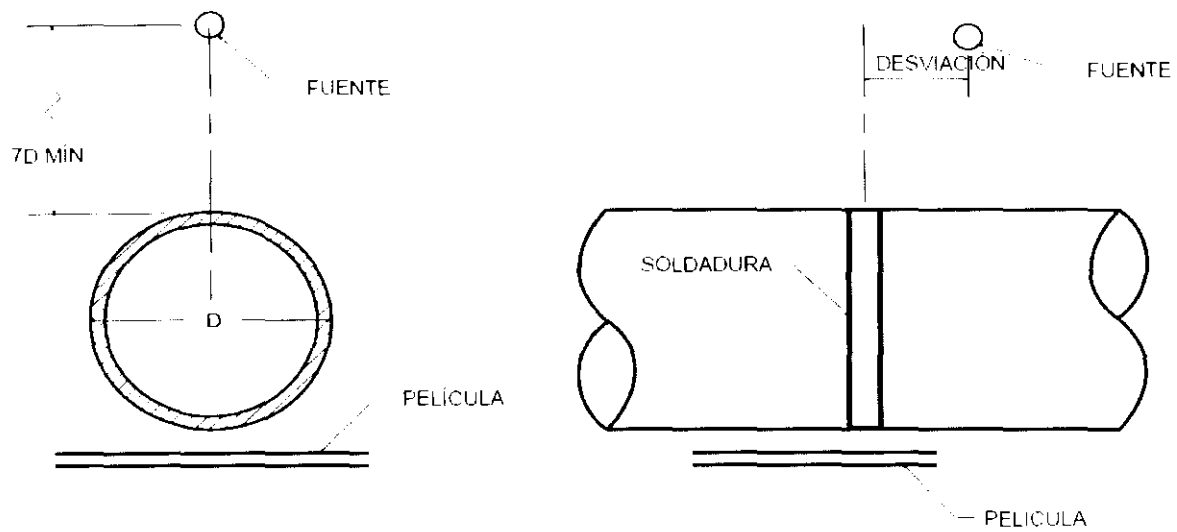


**Figura 9.33—Exposición de pared doble—Vista de pared doble (Elíptica),
Mínimo dos exposiciones (véase 9.29.1.3)**

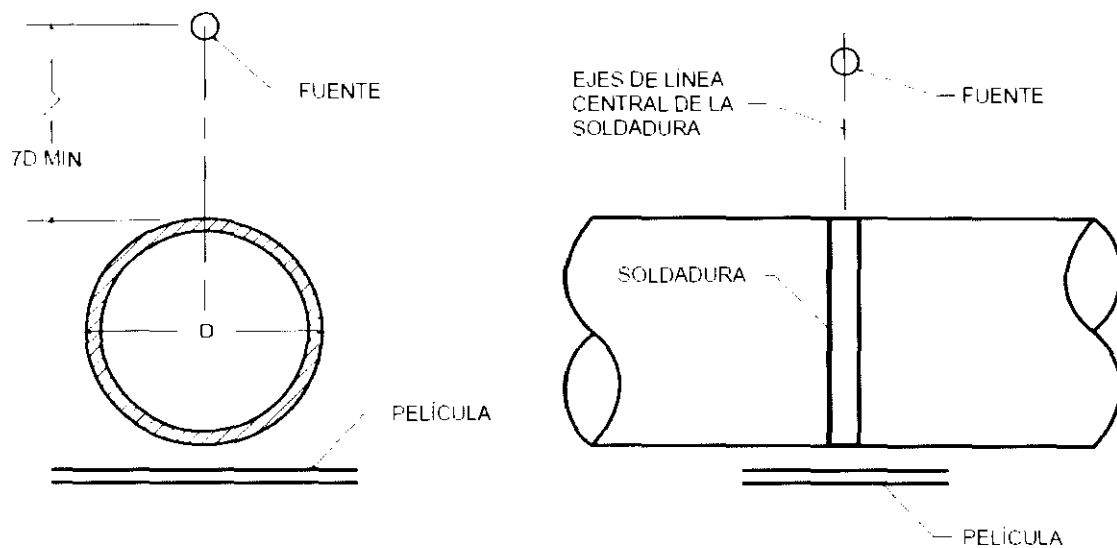


**Figura 9.34—Exposición de pared doble—Vista de pared doble,
Mínimo tres exposiciones (véase 9.29.1.3)**

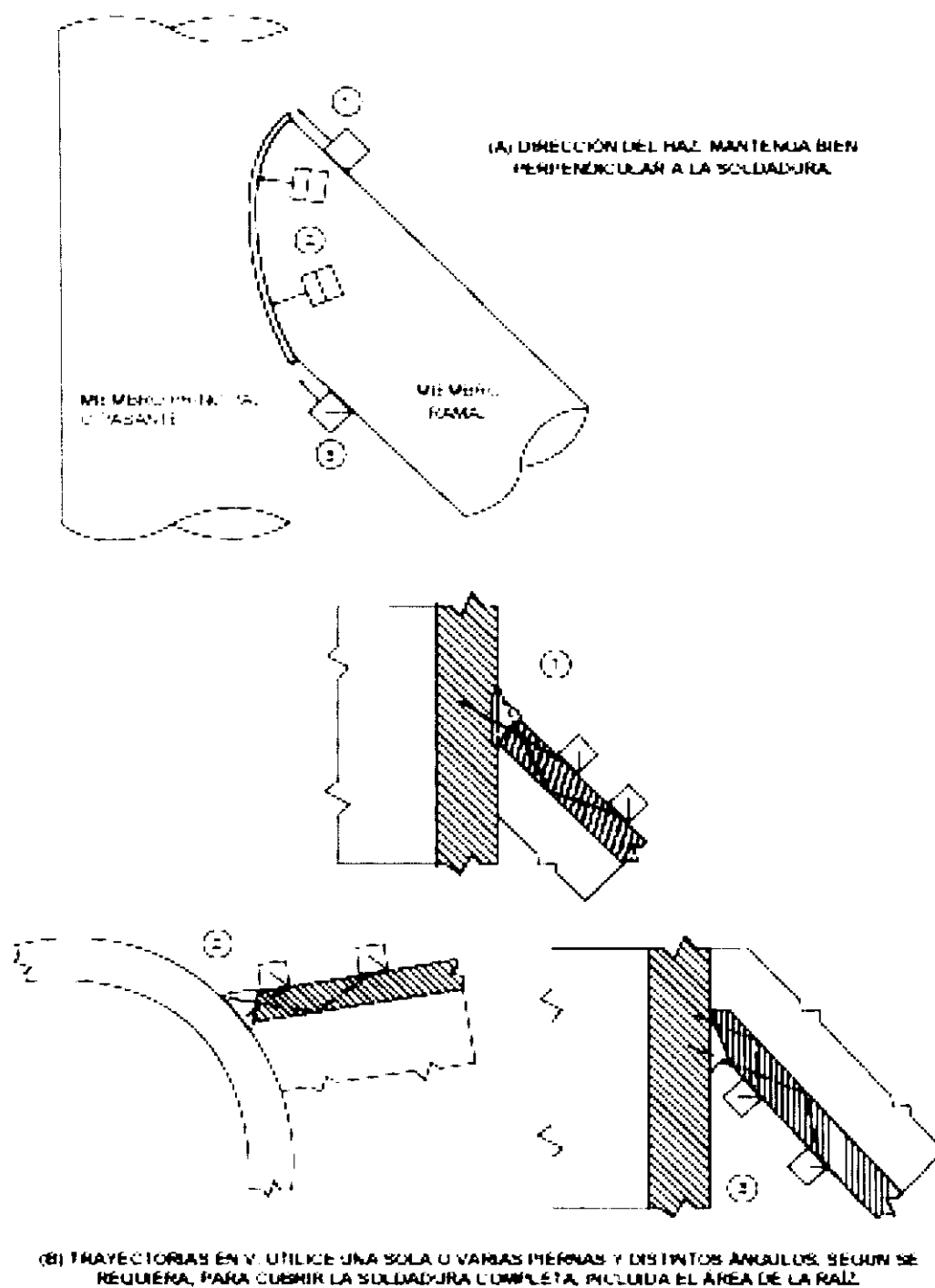


Figura 9.35—Técnicas de escaneo (véase 9.30.5)

Anexos

Información normativa

Estos anexos contienen información y requisitos que se consideran parte de la norma.

Anexo A	Garganta efectiva (<u>E</u>)
Anexo B	Gargantas efectivas de soldaduras en filete en juntas en T oblicuas
Anexo D	Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas estáticamente
Anexo E	Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas ciclicamente
Anexo F	Gráficas de contenido de temperatura-humedad
Anexo <u>G</u>	Calificación y calibración de las unidades UT con otros bloques de referencia aprobados
Anexo <u>H</u>	Pautas sobre métodos alternativos para la determinación del precalentamiento
Anexo <u>I</u>	Símbolos para el diseño de soldaduras de conexiones tubulares
Anexo <u>J</u>	Términos y definiciones

Datos informativos

Estos anexos no se consideran parte de la norma y se proporcionan únicamente con fines informativos.

Anexo <u>K</u>	Guía para los escritores de especificaciones
Anexo <u>L</u>	Formularios de calificación e inspección de equipos de UT
Anexo <u>M</u>	Ejemplos de formularios de soldadura
Anexo <u>N</u>	Pautas para la preparación de consultas técnicas para el Comité de Soldadura Estructural
Anexo <u>O</u>	Ángulo diedro local
Anexo <u>P</u>	Contenidos de WPS precalificada
Anexo <u>Q</u>	Inspección de UT de soldaduras mediante técnicas alternativas
Anexo <u>R</u>	Parámetro ovalizante alfa
Anexo <u>S</u>	Lista de documentos de referencia
Anexo <u>T</u>	Propiedades de resistencia del metal de aporte
Anexo <u>U</u>	<u>AWS A5.36: propiedades y clasificaciones del metal de aporte</u>

Anexo A (normativo)

Garganta efectiva (E)

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

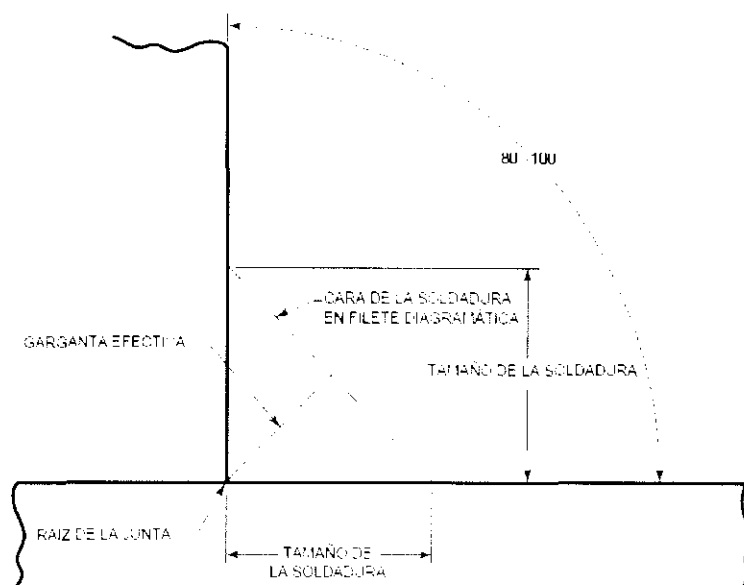


Figura A.1—Soldadura en filete (véase 2.4.2.6)

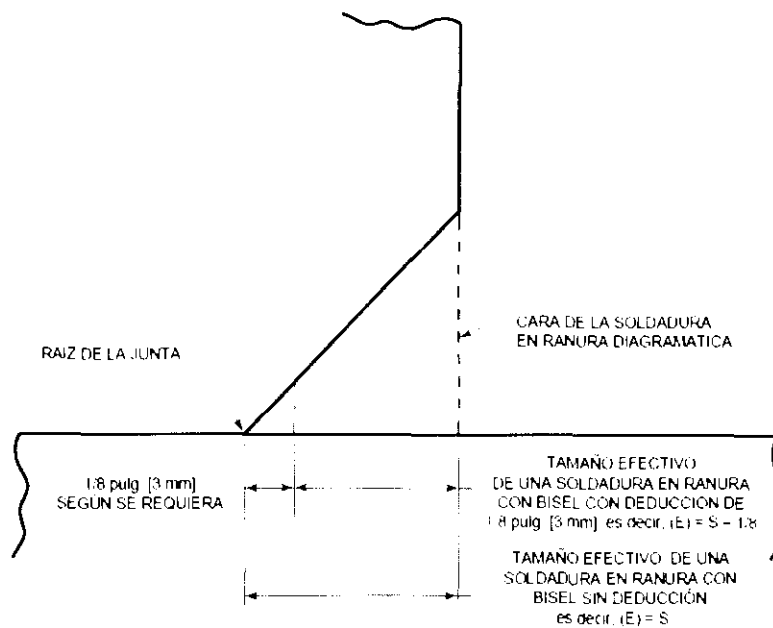


Figura A.2—Soldadura en ranura de bisel sin refuerzo

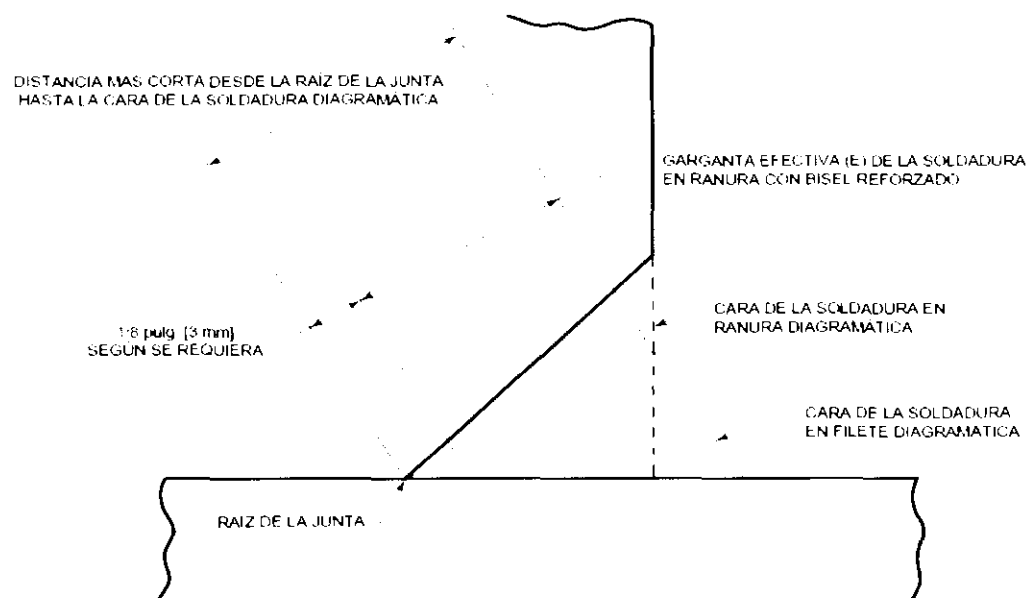


Figura A.3—Soldadura en ranura de bisel con soldadura en filete reforzada (véase 2.4.2.7)

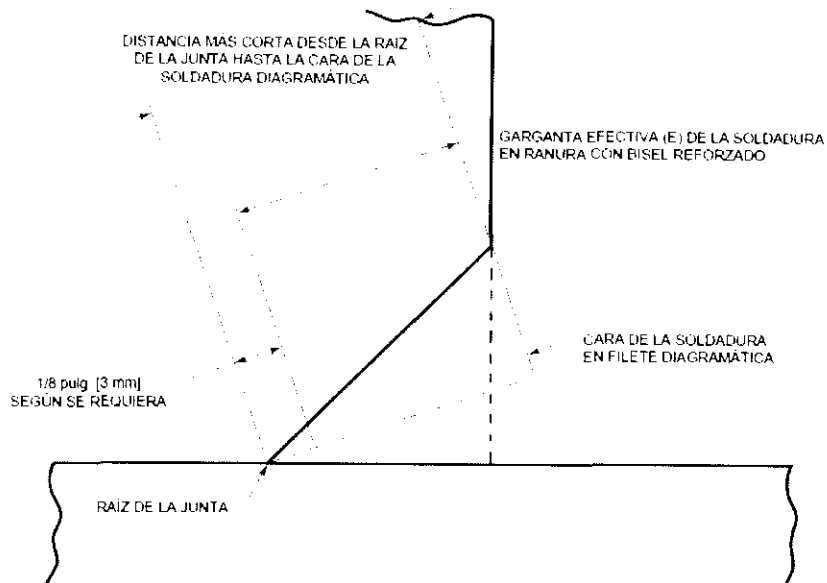


Figura A.4—Soldadura en ranura de bisel con soldadura en filete reforzada (véase 2.4.2.7)

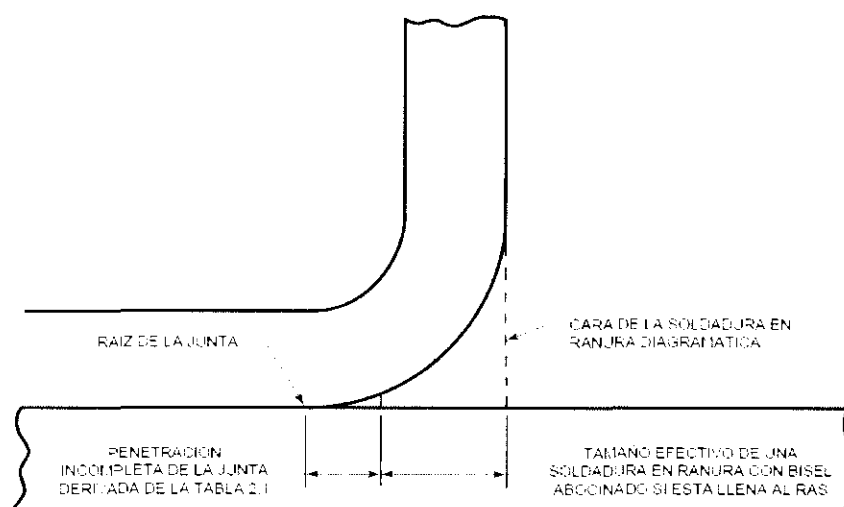


Figura A.5—Soldadura en ranura abocinada de bisel sin refuerzo

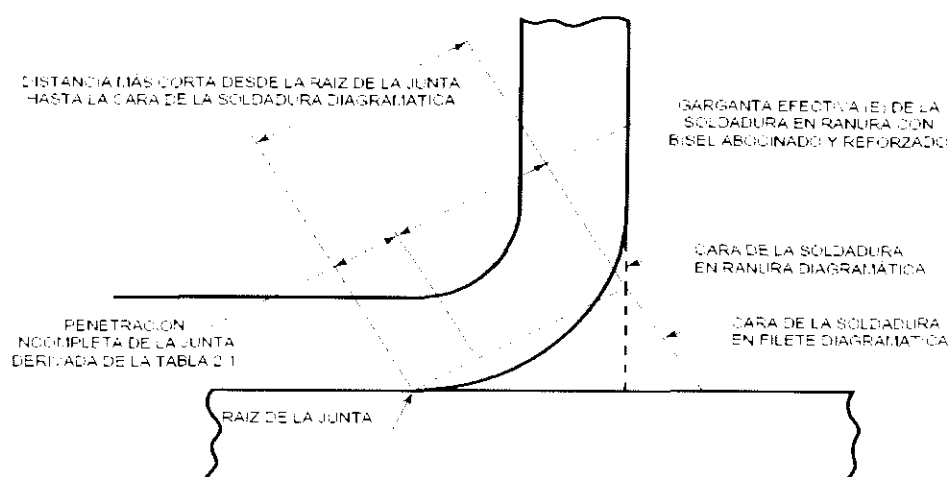


Figura A.6—Soldadura en ranura abocinada de bisel con soldadura en filete reforzada (véase 2.4.2.7)

Anexo B (normativo)

Gargantas efectivas de soldaduras en filete en juntas en T oblicuas

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

La Tabla B.1 es una tabulación que muestra los factores del tamaño de piernas equivalentes para el rango de ángulos diedros, entre 60° y 135°, asumiendo que no hay abertura de la raíz. Las aberturas de la raíz de 1/16 pulg. [2 mm] o mayores, pero que no excedan de 3/16 pulg. [5 mm] deberán agregarse al tamaño de la pierna. El tamaño requerido de pierna para las soldaduras en filete en juntas oblicuas deberá calcularse utilizando el factor de tamaño de la pierna equivalente para corregir el ángulo diedro, tal como se muestra el ejemplo.

EJEMPLO
(Unidades de uso en EE. UU.)

Dado: junta en T oblicua, ángulo: 75°; abertura de la raíz: 1/16 (0,063) pulg.

Requerido: Resistencia equivalente a una soldadura en filete a 90° de tamaño: 5/16 (0,313) pulg.

Procedimiento: (1) Factor para 75° de Tabla B.1: 0,86
(2) Tamaño de pierna equivalente, w , de la junta oblicua, sin abertura de la raíz:
 $w = 0,86 \times 0,313 = 0,269$ pulg.
(3) Con abertura de la raíz de: 0,063 pulg.
(4) Tamaño requerido de pierna, $w = 0,332$ pulg. de la soldadura en filete oblicua: [(2) + (3)]
(5) Redondeando hacia arriba a una dimensión práctica: $w = 3/8$ pulg.

EJEMPLO
(Unidades SI)

Dado: junta en T oblicua, ángulo: 75°; abertura de la raíz: 2 mm

Requerido: Resistencia equivalente a una soldadura en filete a 90° de tamaño: 8 mm

Procedimiento: (1) Factor para 75° de Tabla B.1: 0,86

(2) Tamaño de pierna equivalente, w , de la junta oblicua, sin abertura de la raíz:

$$w = 0,86 \times 8 = 6,9 \text{ mm}$$

(3) Con abertura de la raíz de: 2 mm

(4) tamaño requerido de pierna, $w = 8,9$ mm soldadura en filete oblicua: [(2) + (3)]

(5) Redondeando hacia arriba a una dimensión práctica: $w = 9,0$ mm

Para soldaduras en filete que tienen piernas medidas iguales (w_n), la distancia desde la raíz de la junta a la cara de la soldadura diagramática (t_n) puede calcularse de la siguiente forma:

Para aberturas de la raíz $> 1/16$ pulg. [2 mm], y $\leq 3/16$ pulg. [5 mm], utilice

$$t_n = \frac{w_n R_n}{2 \sin \frac{\Psi}{2}}$$

Para aberturas de la raíz $< 1/16$ pulg. [2 mm], utilice

$$R_n = 0 \text{ and } t'_n = t_n$$

donde la pierna medida de tal soldadura en filete (w_n) es la distancia perpendicular desde la superficie de la junta a la pierna opuesta, y (R) es la abertura de la raíz, si la hay, entre las partes (véase Figura 3.4). Las aberturas de la raíz aceptables se definen en 5.21.1.

Tabla B.1 Factores de tamaño de pierna de soldadura en filete equivalente para juntas en T oblicuas								
Ángulo diedro, Ψ	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	95°
Tamaño de la soldadura en filete comparable para la misma resistencia	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	0,96	1,00	1,03
Ángulo diedro, Ψ	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°
Tamaño de la soldadura en filete comparable para la misma resistencia	1,08	1,12	1,16	1,19	1,23	1,25	1,28	1,31

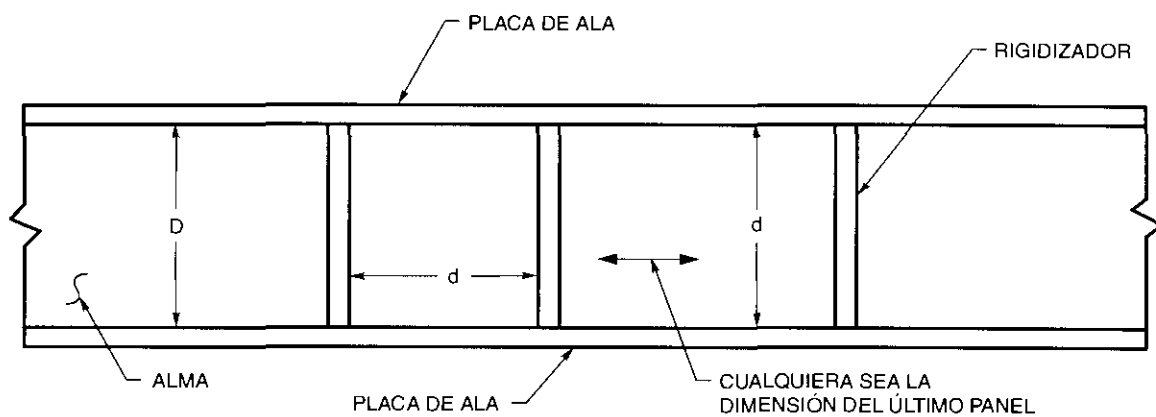
Anexo C

El Anexo C no existe. Este ha sido omitido a fin de evitar la posible confusión con referencias a las secciones de Comentario.

Anexo D (normativo)

Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas estáticamente

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.



Notas:

1. D = Profundidad del alma.
2. d = Dimensión mínima del panel.

Tabla D.1
Rigidizadores intermedios a ambos lados del alma

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas														
		25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
5/16	Menos de 47	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	47 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
3/8	Menos de 56	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	56 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
7/16	Menos de 66	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	66 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1/2	Menos de 75	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	75 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
9/16	Menos de 84	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	84 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
5/8	Menos de 94	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100	106	112
	94 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
		Variación máxima admisible, pulgadas														
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/8

Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros														
		0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
8,0	Menos de 1,19	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	1,19 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
9,5	Menos de 1,42	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	1,42 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
11,1	Menos de 1,68	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	1,68 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
12,7	Menos de 1,90	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	1,90 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
14,3	Menos de 2,13	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	2,13 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
15,9	Menos de 2,39	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60	1,75	1,90	2,06	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85
	2,39 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16	2,29
		Variación máxima admisible, milímetros														
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla D.2
Sin rigidizadores intermedios

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas																
	Cualquiera	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178
	Variación máxima admisible, pulgadas																
	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/8	1-3/16	1-1/4

Espesor del alma, mm	Profundidad del alma, metros																
	Cualquiera	0,97	1,19	1,42	1,68	1,90	2,13	2,39	2,62	2,87	3,10	3,33	3,58	3,81	4,04	4,29	4,52
	Variación máxima admisible, milímetros																
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla D.3
Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma

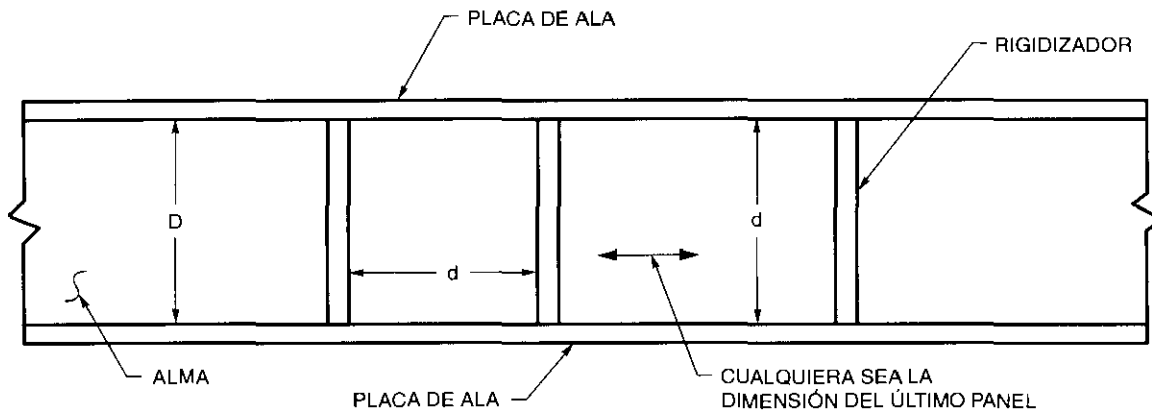
Esesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas													
5/16	Menos de 31	25	31												
	31 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
3/8	Menos de 38	25	31	38											
	38 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
7/16	Menos de 44	25	31	38	44										
	44 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
1/2	Menos de 50	25	31	38	44	50									
	50 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
9/16	Menos de 56	25	31	38	44	50	56								
	56 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/8	Menos de 63	25	31	38	44	50	56	63							
	63 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
		Variación máxima admisible, pulgadas													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
Esesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros													
8,0	Menos de 0,78	0,63	0,79												
	0,78 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
9,5	Menos de 0,97	0,63	0,79	0,97											
	0,97 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
11,1	Menos de 1,12	0,63	0,79	0,97	1,12										
	1,12 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
12,7	Menos de 1,27	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27									
	1,27 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
14,3	Menos de 1,42	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42								
	1,42 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
15,9	Menos de 1,60	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60							
	1,60 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
		Variación máxima admisible, milímetros													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Anexo E (normativo)

Planicidad de las almas de viga—Estructuras cargadas cíclicamente

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.



Notas:

1. D = Profundidad del alma.
2. d = Dimensión mínima del panel.

Tabla E.1
Rigidizadores intermedios a ambos lados del alma, vigas interiores

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas													
		29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
5/16	Menos de 47	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	47 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
3/8	Menos de 56	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	56 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
7/16	Menos de 66	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	66 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
1/2	Menos de 75	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	75 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
9/16	Menos de 84	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	84 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
5/8	Menos de 94	29	36	43	50	58	65	72	79	86	93	100	108	116	125
	94 y más	23	29	35	40	46	52	58	63	69	75	81	86	92	98
		<u>Variación máxima admisible, pulgadas</u>													
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros													
		0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
8,0	Menos de 1,19	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	1,19 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
9,5	Menos de 1,42	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	1,42 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
11,1	Menos de 1,68	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	1,68 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
12,7	Menos de 1,90	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	1,90 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
14,3	Menos de 2,13	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	2,13 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
15,9	Menos de 2,39	0,74	0,91	1,09	1,27	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,54	2,72	2,90	3,08
	2,39 y más	0,58	0,74	0,89	1,02	1,17	1,32	1,47	1,60	1,75	1,90	2,06	2,18	2,34	2,49
		<u>Variación máxima admisible, milímetros</u>													
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla E.2
Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma, vigas exteriores

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas													
		30	38	45	53	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132
5/16	Menos de 31	30	38												
	31 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
3/8	Menos de 38	30	38												
	38 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
7/16	Menos de 44	30	38	45											
	44 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1/2	Menos de 50	30	38	45	53										
	50 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
9/16	Menos de 56	30	38	45	53	60									
	56 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
5/8	Menos de 63	30	38	45	53	60	68								
	63 y más	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
<u>Variación máxima admisible, pulgadas</u>															
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros													
		0,76	0,97	1,14	1,35	1,52	1,73	1,90	2,03	2,16	2,29	2,42	2,55	2,68	2,81
8,0	Menos de 0,78	0,76	0,97												
	0,78 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
9,5	Menos de 0,97	0,76	0,97												
	0,97 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
11,1	Menos de 1,12	0,76	0,97	1,14											
	1,12 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
12,7	Menos de 1,27	0,76	0,97	1,14	1,35										
	1,27 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
14,3	Menos de 1,42	0,76	0,97	1,14	1,35	1,52									
	1,42 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
15,9	Menos de 1,60	0,76	0,97	1,14	1,35	1,52	1,73								
	1,60 y más	0,51	0,63	0,76	0,89	1,02	1,14	1,27	1,40	1,52	1,65	1,78	1,90	2,03	2,16
<u>Variación máxima admisible, milímetros</u>															
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla E.3
Rigidizadores intermedios en un solo lado del alma, vigas interiores

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas													
		25	31	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/16	Menos de 31	25	31												
	31 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
3/8	Menos de 38	25	31	38											
	38 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
7/16	Menos de 44	25	31	38	44										
	44 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
1/2	Menos de 50	25	31	38	44	50									
	50 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
9/16	Menos de 56	25	31	38	44	50	56								
	56 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
5/8	Menos de 63	25	31	38	44	50	56	63							
	63 y más	17	21	25	29	34	38	42	46	50	54	59	63	67	71
<u>Variación máxima admisible, pulgadas</u>															
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16
Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros													
		0,63	0,79	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
8,0	Menos de 0,78	0,63	0,79												
	0,79 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
9,5	Menos de 0,97	0,63	0,79	0,97											
	0,97 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
11,1	Menos de 1,12	0,63	0,79	0,97	1,12										
	1,12 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
12,7	Menos de 1,27	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27									
	1,27 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
14,3	Menos de 1,42	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42								
	1,42 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
15,9	Menos de 1,60	0,63	0,79	0,97	1,12	1,27	1,42	1,60							
	1,60 y más	0,43	0,53	0,63	0,74	0,86	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,50	1,60	1,70	1,80
<u>Variación máxima admisible, milímetros</u>															
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla E.4
Rigidizadores intermedios a ambos lados del alma, vigas exteriores

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas	Dimensión mínima del panel, pulgadas														
		33	41	49	57	65	73	81	89	98	105	112	120	128	136	144
5/16	Menos de 47	33	41	49												
	47 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
3/8	Menos de 56	33	41	49	57											
	56 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
7/16	Menos de 66	33	41	49	57	65	73									
	66 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
1/2	Menos de 75	33	41	49	57	65	73	81								
	75 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
9/16	Menos de 84	33	41	49	57	65	73	81	89							
	84 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
5/8	Menos de 94	33	41	49	57	65	73	81	89	98						
	94 y más	26	33	39	47	53	59	66	71	79	85	92	98	105	112	
		Variación máxima admisible, pulgadas														
		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	

Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, m	Dimensión mínima del panel, metros														
		0,84	1,04	1,24	1,45	1,65	1,85	2,06	2,26	2,49	2,67	2,84	3,05	3,25	3,46	3,67
8,0	Menos de 1,19	0,84	1,04	1,24												
	1,19 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
9,5	Menos de 1,42	0,84	1,04	1,24	1,45											
	1,42 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
11,1	Menos de 1,68	0,84	1,04	1,24	1,45	1,65	1,85									
	1,68 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
12,7	Menos de 1,90	0,84	1,04	1,24	1,45	1,65	1,85	2,06								
	1,90 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
14,3	Menos de 2,13	0,84	1,04	1,24	1,45	1,65	1,85	2,06	2,26							
	2,13 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
15,9	Menos de 2,39	0,84	1,04	1,24	1,45	1,65	1,85	2,06	2,26	2,49						
	2,39 y más	0,66	0,84	0,99	1,19	1,35	1,50	1,68	1,83	2,01	2,16	2,34	2,49	2,67	2,84	
		Variación máxima admisible, milímetros														
		6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Tabla E.5
Sin rigidizadores intermedios, vigas interiores o exteriores

Espesor del alma, pulgadas	Profundidad del alma, pulgadas																
	38	47	56	66	75	84	94	103	113	122	131	141	150	159	169	178	188
Cualquiera																	
	Variación máxima admisible, pulgadas																
	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1	1-1/16	1-1/8	1-3/16	1-1/4

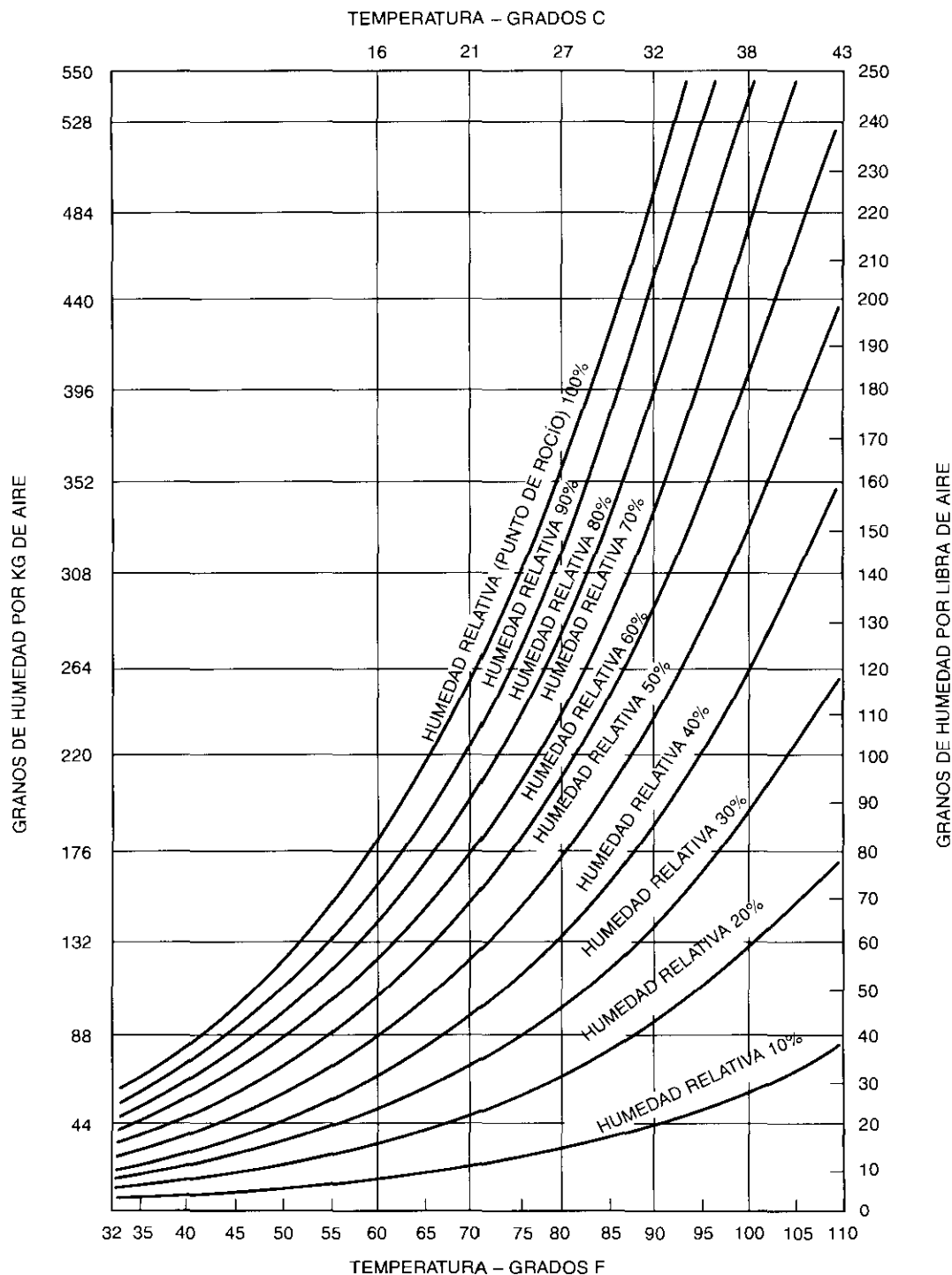
Espesor del alma, milímetros	Profundidad del alma, metros																
	0,97	1,19	1,42	1,68	1,90	2,13	2,39	2,62	2,87	3,10	3,33	3,58	3,81	4,04	4,29	4,52	4,77
Cualquiera																	
	Variación máxima admisible, milímetros																
	6	8	10	11	12	14	16	18	20	21	22	24	25	27	29	30	32

Nota: Para las dimensiones reales no indicadas, utilice el siguiente número más alto.

Anexo F (normativo)

Gráficas de contenido de temperatura-humedad

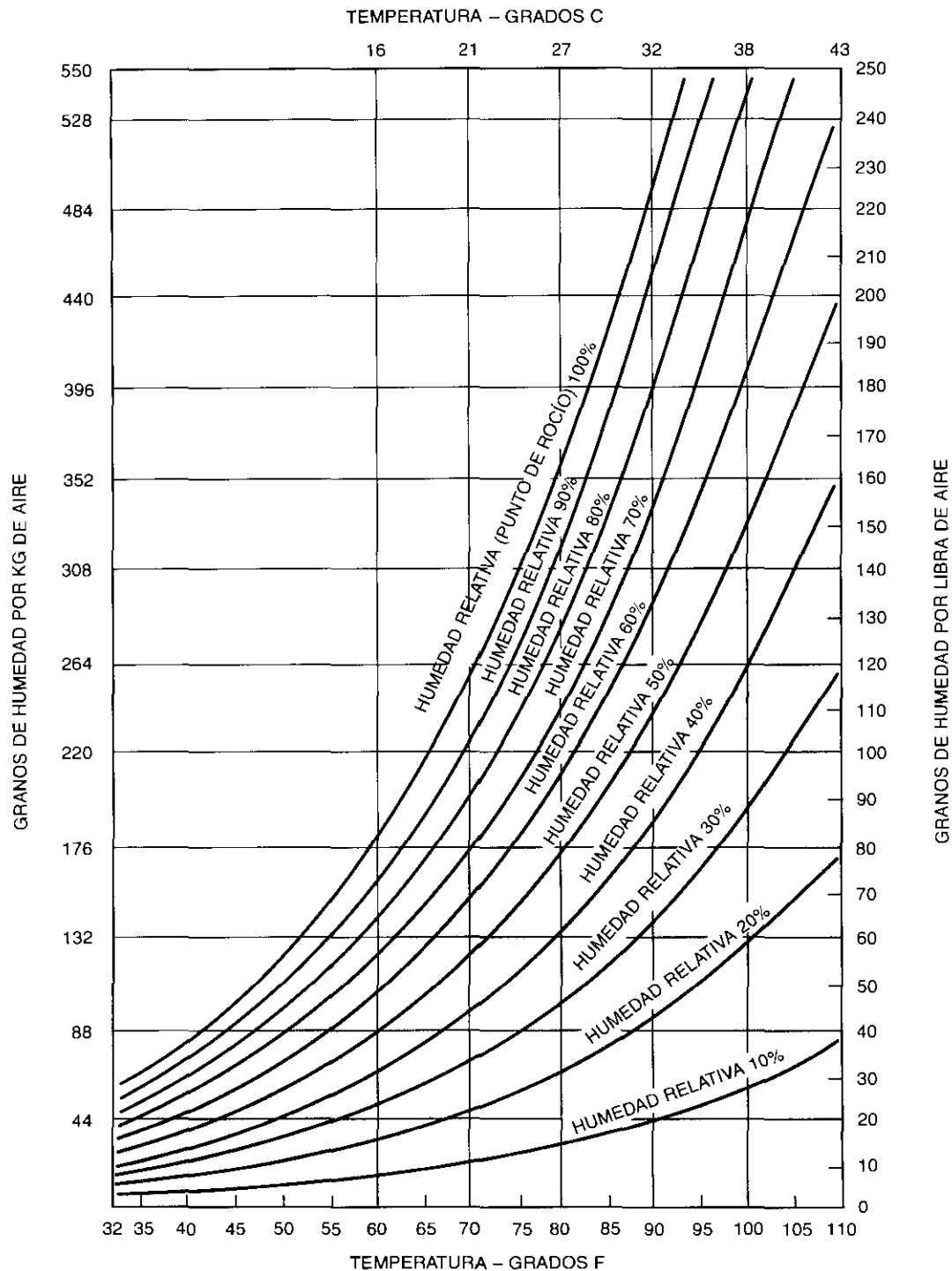
Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.



Notas:

1. Se puede utilizar cualquier gráfico psicrométrico estándar en lugar de este gráfico.
2. véase la Figura F.2 para un ejemplo de la aplicación de este gráfico para establecer las condiciones de exposición del electrodo.

Figura F.1—Gráficas de contenido de temperatura-humedad a utilizar junto con el programa de ensayo para determinar el tiempo extendido de exposición atmosférica de los electrodos SMAW de bajo hidrógeno (véase 5.3.2.3)



EJEMPLO: UN ELECTRODO PROBADO A 90°F [32°C] Y HUMEDAD RELATIVA (RH) DE 70% PUEDE SER UTILIZADO EN LAS CONDICIONES QUE SE MUESTRAN EN LAS ZONAS SOMBRADAS. EL USO EN OTRAS CONDICIONES REQUIERE PRUEBAS ADICIONALES.

Figura F.2—Aplicación de la gráfica de contenido de temperatura-humedad para determinar el tiempo de exposición atmosférica de los electrodos SMAW de bajo hidrógeno (véase 5.3.2.3)

Anexo G (normativo)

Calificación y calibración de las unidades UT con otros bloques de referencia aprobados

(véase Figura G.1)

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

G1. Modo longitudinal

G1.1 Calibración de distancia

G1.1.1 El transductor debe estar en posición H en el bloque DC, o M en el bloque DSC.

G1.1.2 El instrumento debe estar ajustado para producir indicaciones en 1 pulg. [25 mm], 2 pulg. [50 mm], 3 pulg. [75 mm], 4 pulg. [100 mm], etc. en la pantalla.

NOTA: Este procedimiento establece una calibración de pantalla de 10 pulg. [250 mm] y puede modificarse para establecer otras distancias, según lo permitido por 6.24.4.1.

G1.2 Amplitud. Con el transductor en la posición descrita en G1.1, la ganancia debe ajustarse hasta que la indicación maximizada de la primera retrorreflexión alcance el 50% al 75% de la altura de la pantalla.

G2. Modo de onda de cizallamiento (transversal)

G2.1 Verificación del punto (índice) de entrada del sonido

G2.1.1 La unidad de búsqueda debe estar en posición J o L en el bloque DSC, o I en el bloque DC.

G2.1.2 La unidad de búsqueda debe moverse hasta que la señal desde el radio esté maximizada.

G2.1.3 El punto sobre la unidad de búsqueda que se alinea con la línea en el bloque de calibración es indicativo del punto de entrada de sonido.

NOTA: Este punto de entrada del sonido deberá ser utilizado para todas las verificaciones de distancia y ángulo.

G2.2 Verificación del ángulo de trayectoria del sonido

G2.2.1 El transductor debe estar en posición:

K en el bloque DSC para 45° a 70°

N en el bloque SC para 70°

O en el bloque SC para 45°

P en el bloque SC para 60°

G2.2.2 El transductor debe moverse hacia atrás y hacia adelante sobre la línea indicativa del ángulo del transductor hasta que se maximice la señal desde el radio.

G2.2.3 El punto de entrada de sonido en el transductor se debe comparar con la marca del ángulo en el bloque de calibración (tolerancia de 2°).

G2.3 Calibración de distancia

G2.3.1 El transductor debe estar en posición (Figura G.1) L en el bloque DSC. El instrumento debe estar ajustado para producir indicaciones en 3 pulg. [75 mm] y 7 pulg. [180 mm] en la pantalla.

G2.3.2 El transductor debe estar en posición J en el bloque DSC (cualquier ángulo). El instrumento debe estar ajustado para producir indicaciones en 1 pulg. [25 mm], 5 pulg. [125 mm] y 9 pulg. [230 mm] en la pantalla.

G2.3.3 El transductor debe estar en posición I en el bloque DC (cualquier ángulo). El instrumento debe estar ajustado para producir indicaciones en 1 pulg. [25 mm], 2 pulg. [50 mm], 3 pulg. [75 mm], 4 pulg. [100 mm], etc. en la pantalla.

NOTA: Este procedimiento establece una calibración de pantalla de 10 pulg. [250 mm] y puede modificarse para establecer otras distancias, según lo permitido por 6.24.5.1.

G2.4 Calibración de amplitud o sensibilidad

G2.4.1 El transductor debe estar en posición L en el bloque DSC (cualquier ángulo). La señal maximizada deberá ajustarse desde el orificio de 1/32 pulg. [0,8 mm] para lograr una indicación de altura de la línea de referencia horizontal.

G2.4.2 En el bloque SC, el transductor debe estar en posición:

N para el ángulo de 70°

O para el ángulo de 45°

P para el ángulo de 60°

La señal maximizada desde el orificio de 1/16 pulg. [1,6 mm] deberá ajustarse para lograr una indicación de altura de la línea de referencia horizontal.

G2.4.3 La lectura de decibels obtenida en G2.4.1 o G2.4.2 se debe utilizar como “nivel de referencia” “b” en la hoja del Informe de ensayo (Anexo L, Formulario L-11) en conformidad con 6.22.1.

G3. Procedimiento de linealidad horizontal

NOTA: Debido a que este procedimiento de calificación se realiza con una unidad de búsqueda de haz recto, la cual produce ondas longitudinales con una velocidad de sonido de casi el doble de las ondas de corte, es necesario duplicar los rangos de distancia de la onda de cizallamiento que se van a utilizar en la aplicación de este procedimiento.

G3.1 Una unidad de búsqueda de haz recto, que cumpla los requisitos de 6.21.6, deberá acoplarse en posición:

G en el bloque tipo IIW (Figura 6.16)

H en el bloque DC (Figura G.1)

M en el bloque DSC (Figura G.1)

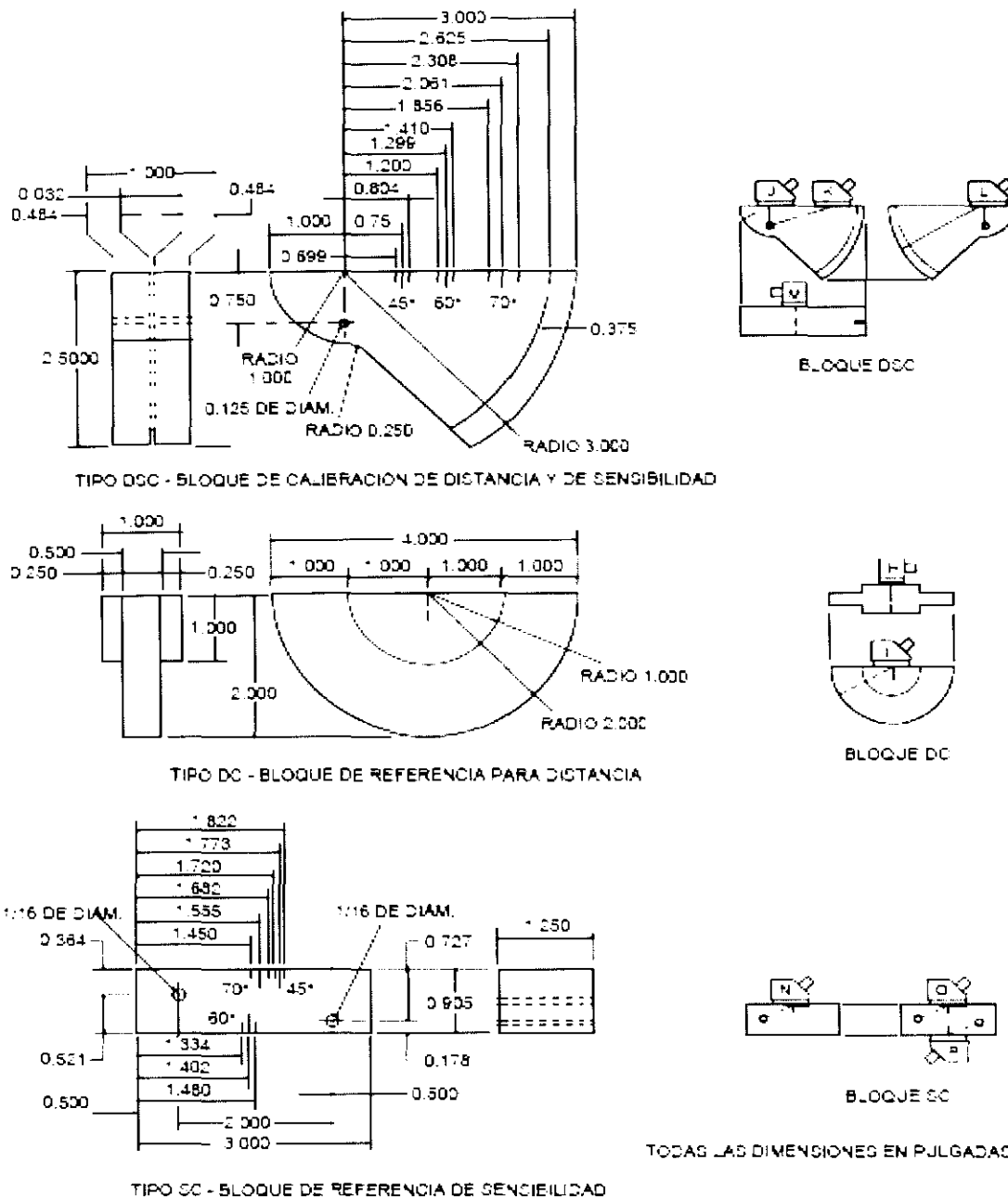
T o U en el bloque DS (Figura 6.16)

G3.2 Deberá lograrse un mínimo de cinco retrorreflexiones en el rango de calificación para ser certificado.

G3.3 La primera y la quinta retrorreflexión deberá ajustarse a sus localizaciones apropiadas con el uso de ajustes de retardo cero y de calibración de distancia.

G3.4 Cada indicación deberá ajustarse al nivel de referencia con el control de ganancia o atenuación para la evaluación de la ubicación horizontal.

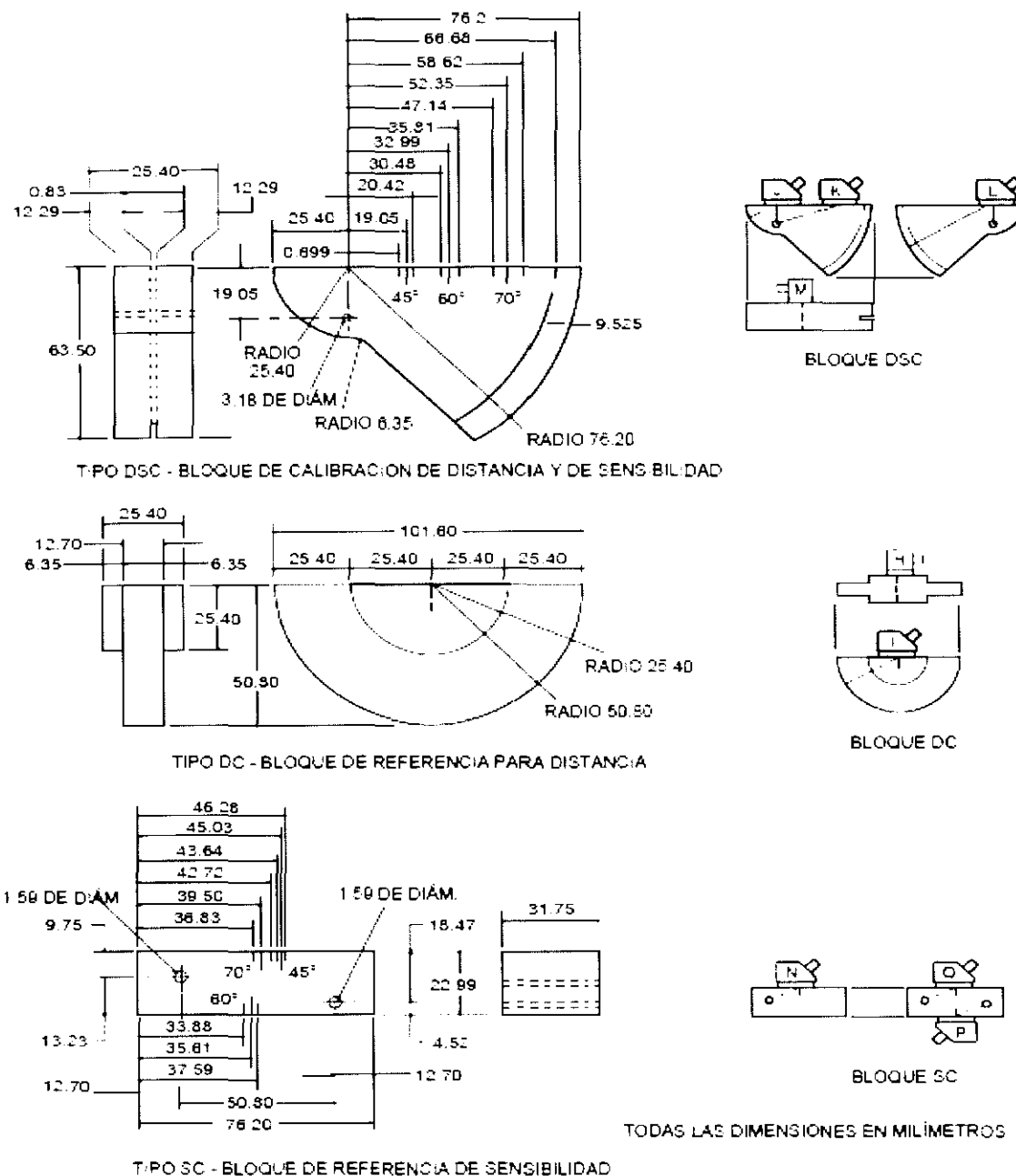
G3.5 Cada localización de deformación de trazos intermedios deberá corregirse dentro de $\pm 2\%$ del ancho de la pantalla.



Notas:

1. La tolerancia dimensional entre todas las superficies involucradas en la referencia o calibración debe estar dentro de $\pm 0,005$ pulg. de la dimensión detallada.
2. El acabado de todas las superficies a las que se les aplica sonido o desde las que se refleja sonido debe tener un máximo de 125 μ pulg. r.m.s.
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno liso y estar perforados a 90° del material de la superficie.
5. Las líneas de grados y las marcas de identificación deben estar grabadas en la superficie del material para mantener una orientación permanente.

Figura G.1—Otros bloques aprobados y posición típica del transductor (véase G2.3.1)



Notas:

1. La tolerancia dimensional entre todas las superficies involucradas en la referencia o calibración debe estar dentro de ± 0.13 mm de la dimensión detallada.
2. El acabado de todas las superficies a las que se les aplica sonido o desde las que se refleja sonido debe tener un máximo de $3.17 \mu\text{pulg. r.m.s.}$
3. Todo el material debe ser ASTM A36 o acústicamente equivalente.
4. Todos los orificios deben tener un acabado interno liso y estar perforados a 90° del material de la superficie.
5. Las líneas de grados y las marcas de identificación deben estar grabadas en la superficie del material para mantener una orientación permanente.

Figura G.1 (continuación)—Otros bloques aprobados y posición típica del transductor (véase G2.3.1) (métrica)

Anexo H (normativo)

Pautas sobre métodos alternativos para la determinación del precalentamiento

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

H1. Introducción

El propósito de esta guía es proporcionar algunos métodos opcionales alternativos para determinar las condiciones de soldadura (principalmente el precalentamiento) a fin de evitar el agrietamiento en frío. Los métodos se basan principalmente en la investigación en ensayos a pequeña escala efectuados por muchos años en diferentes laboratorios de todo el mundo. No hay métodos disponibles para predecir cuáles serán las condiciones óptimas en todos los casos, pero lo que esta guía sí considera son los factores más importantes, como por ejemplo el nivel de hidrógeno y la composición del acero que no están explícitamente incluidos en los requisitos en la Tabla 3.3. Por lo tanto, la guía puede ser valiosa ya que indica si los requisitos de la Tabla 3.3 son demasiado conservadores o, en algunos casos, no son lo suficientemente exigentes.

El usuario deberá consultar las secciones de Comentarios para obtener una presentación más detallada de los antecedentes científicos y la información de la investigación que conducen a los dos métodos propuestos.

Al utilizar esta guía como alternativa a la Tabla 3.3, deberá prestarse una cuidadosa consideración a las hipótesis hechas, los valores seleccionados y la experiencia previa.

H2. Métodos

Se usan dos métodos como base para estimar las condiciones de soldadura y así evitar el agrietamiento en frío:

- (1) Control de dureza HAZ
- (2) Control de hidrógeno

H3. Control de dureza HAZ

H3.1 Las disposiciones incluidas en esta guía para el uso de este método están restringidas a las soldaduras en filete.

H3.2 Este método está basado en la suposición de que no se producirá agrietamiento si la dureza HAZ se mantiene por debajo de determinado valor crítico. Esto se logra controlando el índice de enfriamiento por debajo del valor crítico, dependiendo de la templabilidad del acero. La templabilidad del acero en soldadura se relaciona con su propensión a la formación de una HAZ de alta dureza y puede caracterizarse por el índice de enfriamiento necesario para producir un nivel de dureza dado. Por lo tanto, los aceros con alta templabilidad pueden producir HAZ duras a valores inferiores de enfriamiento que un acero con templabilidad más baja.

Las ecuaciones y los gráficos están disponibles en la literatura técnica que relaciona el índice de enfriamiento de la soldadura con los espesores de los miembros de acero, tipo de junta, condiciones de soldadura y otras variables.

H3.3 La selección de la dureza crítica dependerá de una serie de factores, tales como el tipo de acero, el nivel de hidrógeno, la restricción y las condiciones de servicio. Los ensayos de laboratorio con soldaduras en filete muestran que no se produce agrietamiento en las HAZ si el número de dureza Vickers HAZ (HV) es menor que 350 HV, aun con electrodos de alto hidrógeno. Con electrodos de bajo hidrógeno, se puede admitir una dureza de 400 HV sin agrietamiento. No obstante, es probable que dicha dureza no sea tolerable en servicios donde haya un alto riesgo de agrietamiento debido a corrosión bajo tensiones, inicio de fractura por fragilidad u otros riesgos relacionados con la seguridad o integridad estructural.

El índice de enfriamiento crítico para una dureza dada, puede ser relacionado aproximadamente con el equivalente de carbono del acero (véase Figura H2). Debido a que la relación es solo aproximada, la curva que se muestra en la Figura H.2 puede ser conservadora para aceros al carbono o carbono-manganeso y por esto permiten el uso de curvas de elevada dureza con mínimo riesgo.

Alguno aceros de baja aleación, particularmente aquellos que contienen colombio (niobio), pueden ser más templables que lo indicado por la Figura H.2 y se recomienda el uso de una curva de dureza más baja.

H3.4 A pesar de que el método puede ser usado para determinar el nivel de precalentamiento, su finalidad más importante es la de determinar la entrada mínima de calor (y, por ende, el tamaño mínimo de la soldadura) que impide un endurecimiento excesivo. Es particularmente útil para determinar el tamaño mínimo de las soldaduras en filete de pasada única que podrán ser depositadas sin precalentamiento.

H3.5 La aproximación por dureza no considera la posibilidad de agrietamiento del metal de soldadura. Sin embargo, la experiencia demuestra que la entrada de calor determinada por este método es normalmente adecuada para impedir el agrietamiento del metal de soldadura, en la mayoría de los casos, en soldaduras en filete si el metal de aporte no es de alta resistencia y es en general de bajo hidrógeno [por ej., electrodo de bajo hidrógeno (SMAW), GMAW, FCAW, SAW].

H3.6 Debido a que este método depende exclusivamente de controlar la dureza HAZ, el nivel de hidrógeno y la restricción no se consideran en forma explícita.

H3.7 Este método no es aplicable a aceros templados y revenidos [véase limitaciones en H5.2(3)].

H4. Control de hidrógeno

H4.1 El método de control de hidrógeno se basa en la suposición de que no se producirá el agrietamiento si la cantidad promedio de hidrógeno que permanece en la junta luego de enfriarse hasta los 120 °F [50 °C] no excede un valor crítico que depende de la composición del acero y el grado de restricción. Usando este método se puede estimar la temperatura de precalentamiento necesaria para permitir la difusión de suficiente hidrógeno fuera de la junta.

H4.2 Este método está basado principalmente en los resultados de ensayos de soldadura en ranura con PJP con restricción; el metal de soldadura utilizado en los ensayos igualaba al metal base. No se han realizado ensayos exhaustivos de este método en soldaduras en filete; sin embargo, teniendo en cuenta la restricción, el método ha sido adaptado adecuadamente para dichas soldaduras.

H4.3 Para el método de control de hidrógeno, se requiere una determinación del nivel de restricción y del nivel de hidrógeno original en el charco de soldadura.

En esta guía, la restricción es clasificada como alta, media o baja, donde la categoría de restricción se deberá establecer conforme a la experiencia.

H4.4 El método de control de hidrógeno está basado en un único cordón de soldadura de baja entrada de calor que representa una pasada de raíz y asume que la HAZ se endurece. Por lo tanto, este método es particularmente útil para aceros de baja aleación y alta resistencia que tengan muy alta templabilidad, donde el control de dureza no es siempre factible. En consecuencia, debido a que se presume que la HAZ se endurece totalmente, el

precalentamiento predicho puede ser demasiado conservador para aceros al carbono.

H5. Selección del método

H5.1 Se sugiere el siguiente procedimiento como guía para la selección del método de control de dureza o de control de hidrógeno.

Determinar el carbono y el carbono equivalente:

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

para ubicar la posición de la zona del acero en la Figura H.1 (véase H6.1.1 para conocer las diferentes formas de obtener un análisis químico).

H5.2 Las características de comportamiento de cada zona y la medida recomendada son las siguientes:

(1) **Zona I.** El agrietamiento es improbable, pero puede ocurrir con hidrógeno alto o restricción alta. Usar el método de control de hidrógeno para determinar el precalentamiento de los aceros de esta zona.

(2) **Zona II.** El método de control de dureza y la dureza seleccionada deberán ser utilizados para determinar la entrada mínima de calor para soldaduras en filete de pasada única sin precalentamiento.

Si la entrada mínima de calor no resulta práctica, use el método de control de hidrógeno para determinar el precalentamiento.

Para soldaduras en ranura, debe utilizarse el método de control de hidrógeno para determinar el precalentamiento.

Para aceros con alto carbono, puede requerirse una entrada mínima de calor para el control de la dureza y un precalentamiento para el control de hidrógeno en ambos tipos de soldadura, es decir, soldadura en filete y en ranura.

(3) **Zona III.** Deberá usarse el método de control de hidrógeno. Donde se restringe la entrada de calor para preservar las propiedades de la HAZ (por ej., en algunos aceros templados y revenidos) deberá usarse el método de control de hidrógeno para determinar el precalentamiento.

H6. Guía detallada

H6.1 Método de control de dureza

H6.1.1 El carbono equivalente deberá ser calculado de la siguiente manera:

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

El análisis químico puede ser obtenido de:

- (1) Certificados de ensayos de la acería
- (2) Composición química típica de producción (acería)

(3) Composición química de la especificación (con valores máximos)

(4) Ensayos de los usuarios (análisis químicos)

H6.1.2 El índice de enfriamiento crítico deberá determinarse para una dureza HAZ máxima seleccionada de 400 HV o de 350 HV según la Figura H.2.

H6.1.3 Mediante los espesores correspondientes de placas para “brida” y “alma”, deberá seleccionarse el diagrama apropiado de la Figura H.3 y deberá determinarse la entrada mínima de energía para una soldadura en filete de pasada única. Esta entrada de energía se aplica a las soldaduras SAW.

H6.1.4 Para otros procesos, la entrada mínima de energía para soldaduras en filete de pasada única puede ser estimada aplicando los siguientes factores de multiplicación a la energía estimada en el proceso SAW en H6.1.3:

Proceso de soldadura Factor de multiplicación

SAW1
SMAW1,50
GMAW, FCAW1,25

H6.1.5 La Figura H.4 podrá utilizarse para determinar los tamaños de filete como una función de la entrada de energía.

H6.2 Método de control de hidrógeno

H6.2.1 El valor del parámetro de composición, P_{cm} , deberá ser calculado de la siguiente manera:

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

El análisis químico se determinará como se indica en H6.1.1.

H6.2.2 El nivel de hidrógeno deberá ser determinado y definirse de la siguiente manera:

(1) **H1 Hidrógeno extra bajo.** Estos consumibles deben tener un contenido de hidrógeno difusible menor que 5 ml/100 g del metal depositado cuando se mide de acuerdo con la norma ISO 3690-1976 o un contenido de humedad del recubrimiento del electrodo de 0,2% máximo de acuerdo con las normas AWS A5.1 o A5.5. Esto se puede establecer ensayando cada tipo, marca o combinación alambre/fundente utilizada después de la extracción del paquete o contenedor y la exposición a la duración prevista, con la debida consideración de las condiciones reales de almacenamiento previo al uso inmediato. Se puede considerar que lo que sigue a continuación cumple este requisito:

(a) Electrodo de bajo hidrógeno tomados de contenedores herméticamente sellados, secados a 700 °F–800 °F [370°–430 °C] por una hora y usados dentro de las dos horas de ser retirados,

(b) GMAW con alambres sólidos limpios.

(2) **H2 Bajo hidrógeno.** Estos consumibles deben tener un contenido de hidrógeno difusible menor que 10 ml/100 g del metal depositado cuando se mide de acuerdo con la norma ISO 3690-1976 o un contenido de humedad del recubrimiento del electrodo de 0,4% máximo de acuerdo con la norma AWS A5.1. Esto se puede establecer ensayando cada tipo, marca de consumible o combinación alambre/fundente utilizada. Se puede considerar que lo que sigue a continuación cumple este requisito:

(a) Electrodo de bajo hidrógeno tomados de contenedores herméticamente sellados, acondicionados de acuerdo con la sección 5.3.2.1 del código y usados dentro de las cuatro horas luego de ser retirados,

(b) SAW con fundente seco.

(3) **H3 Hidrógeno no controlado.** El resto de los consumibles que no alcanzan los requisitos de H1 o H2.

H6.2.3 Debe determinarse el grupo correspondiente al índice de susceptibilidad de la Tabla H.1.

H6.2.4 Niveles mínimos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas. La Tabla H.2 proporciona las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas que deberán utilizarse. La Tabla H.2 establece tres niveles de restricción. El nivel de restricción a utilizarse deberá determinarse según el criterio indicado en H6.2.5.

H6.2.5 Restricción. La clasificación de los tipos de soldadura con distintos niveles de restricción se determinará según la experiencia, el análisis de ingeniería, la investigación o el cálculo.

Se han establecido tres niveles de restricción:

(1) **Restricción baja.** Este nivel describe juntas soldadas en filete y en ranura comunes, en las cuales existe una libertad razonable de movimiento de los miembros.

(2) **Restricción media.** Este nivel describe juntas soldadas en filete y en ranura, en las cuales debido a que los miembros se encuentran ya fijos a una pieza estructural, existe una libertad de movimiento reducida.

(3) **Restricción alta.** Este nivel describe soldaduras en las cuales casi no existe libertad de movimiento para los miembros unidos (tales como soldaduras de reparación, especialmente con materiales de gran espesor).

Tabla H.1
Agrupamiento del índice de susceptibilidad como función del nivel de hidrógeno “H”
y parámetro de composición P_{cm} (véase H6.2.3)

Nivel de hidrógeno, H	Agrupamiento ^b del índice de susceptibilidad ^c				
	Equivalente de carbono – P_{cm}^a				
	< 0,18	< 0,23	< 0,28	< 0,33	< 0,38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

$$^a P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

^b Índice de susceptibilidad— $12 P_{cm} + \log_{10} H$.

^c Las agrupaciones de índices de susceptibilidad, desde A hasta G, abarcan el efecto combinado del parámetro de composición, P_{cm} , y el nivel de hidrógeno, H, de conformidad con la fórmula que muestra en la Nota b.

Las cantidades numéricas exactas se obtienen de la fórmula de la Nota b, utilizando los valores de P_{cm} y los siguientes valores de H, dados en ml/100g de metal de soldadura [véase H6.2.2, (1), (2), (3)]:

H1—5; H2—10; H3—30.

Para una mayor conveniencia, las agrupaciones de índices de susceptibilidad han sido expresadas en la tabla por medio de letras, desde A hasta G, para cubrir los siguientes rangos estrechos:

A = 3,0; B = 3,1–3,5; C = 3,6–4,0; D = 4,1–4,5; E = 4,6–5,0; F = 5,1–5,5; G = 5,6–7,0

Estas agrupaciones se usan en la Tabla H.2 en conjunto con la restricción y el espesor para determinar la temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas.

Tabla H.2
Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción (véase H6.2.4)

Nivel de restricción	Espesor ^a pulgadas	Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas (°F) ^b						
		Agrupación del índice de susceptibilidad						
		A	B	C	D	E	F	G
Bajo	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	140	280	300
	3/8–3/4 incl.	< 65	< 65	65	140	210	280	300
	> 3/4–1-1/2 incl.	< 65	< 65	65	175	230	280	300
	> 1-1/2–3 incl.	65	65	100	200	250	280	300
	> 3	65	65	100	200	250	280	300
Medio	< 3/8	< 65	< 65	< 65	< 65	160	280	320
	3/8–3/4 incl.	< 65	< 65	65	175	240	290	320
	> 3/4–1-1/2 incl.	< 65	65	165	230	280	300	320
	> 1-1/2–3 incl.	65	175	230	265	300	300	320
	> 3	200	250	280	300	320	320	320
Alto	< 3/8	< 65	< 65	< 65	100	230	300	320
	3/8–3/4 incl.	< 65	65	150	220	280	320	320
	> 3/4–1-1/2 incl.	65	185	240	280	300	320	320
	> 1-1/2–3 incl.	240	265	300	300	320	320	320
	> 3	240	265	300	300	320	320	320

(Continuación)

^a El espesor es aquel de la parte más gruesa soldada.

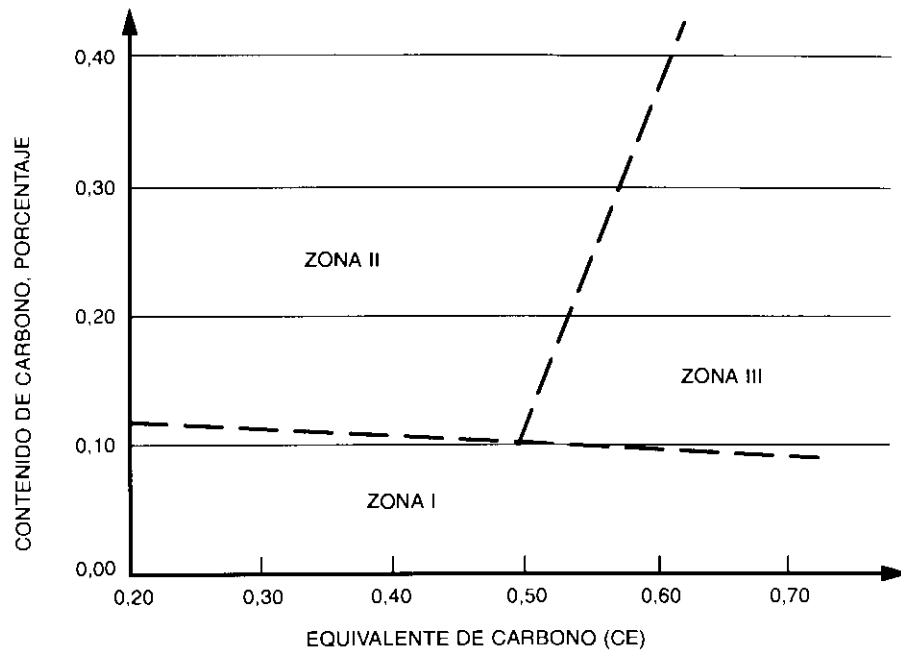
^b “<” indica que las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas más bajas que la temperatura mostrada pueden ser adecuada para evitar el agrietamiento por hidrógeno. Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas que son ambas más bajas que la temperatura indicada en la Tabla 3.3 serán calificadas por el ensayo.

Tabla H.2 (continuación)
Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción (véase H6.2.4)

Nivel de restricción	Espesor ^a mm	Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas (°C) ^b						
		Agrupación del índice de susceptibilidad						
		A	B	C	D	E	F	G
Bajo	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	60	140	150
	10–20 incl.	< 20	< 20	20	60	100	140	150
	> 20–38 incl.	< 20	< 20	20	80	110	140	150
	> 38–75 incl.	20	20	40	95	120	140	150
	> 75	20	20	40	95	120	140	150
Medio	< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	70	140	160
	10–20 incl.	< 20	< 20	20	80	115	145	160
	> 20–38 incl.	20	20	75	110	140	150	160
	> 38–75 incl.	20	80	110	130	150	150	160
	> 75	95	120	140	150	160	160	160
Alto	< 10	< 20	< 20	20	40	110	150	160
	10–20 incl.	< 20	20	65	105	140	160	160
	> 20–38 incl.	20	85	115	140	150	160	160
	> 38–75 incl.	115	130	150	150	160	160	160
	> 75	115	130	150	150	160	160	160

^a El espesor es aquel de la parte más gruesa soldada

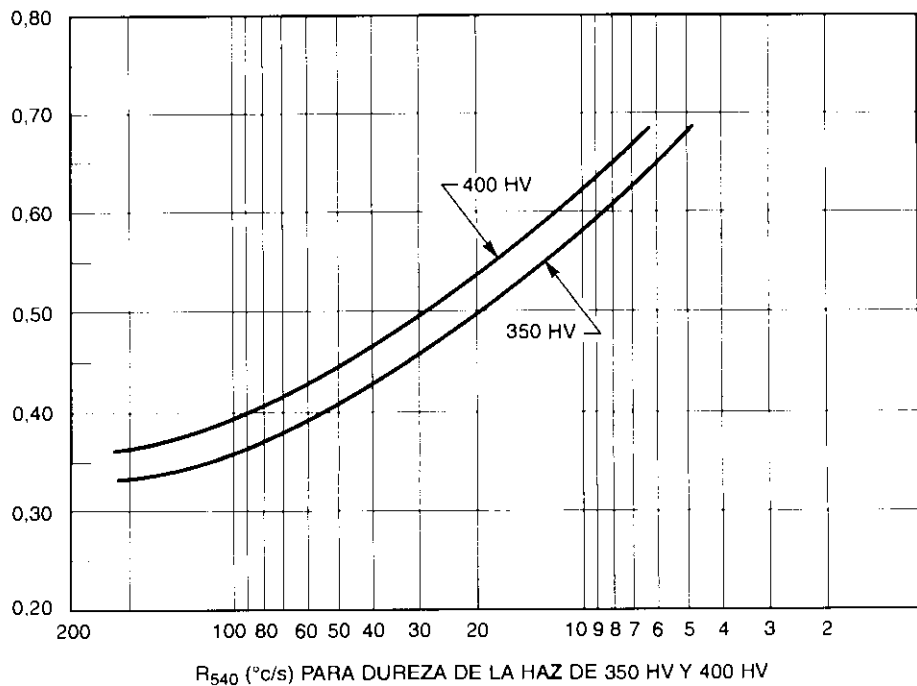
^b “<” indica que las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas más bajas que la temperatura mostrada pueden ser adecuada para evitar el agrietamiento por hidrógeno. Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas que son ambas más bajas que la temperatura indicada en la Tabla 3.3 serán calificadas por el ensayo.



Notas.

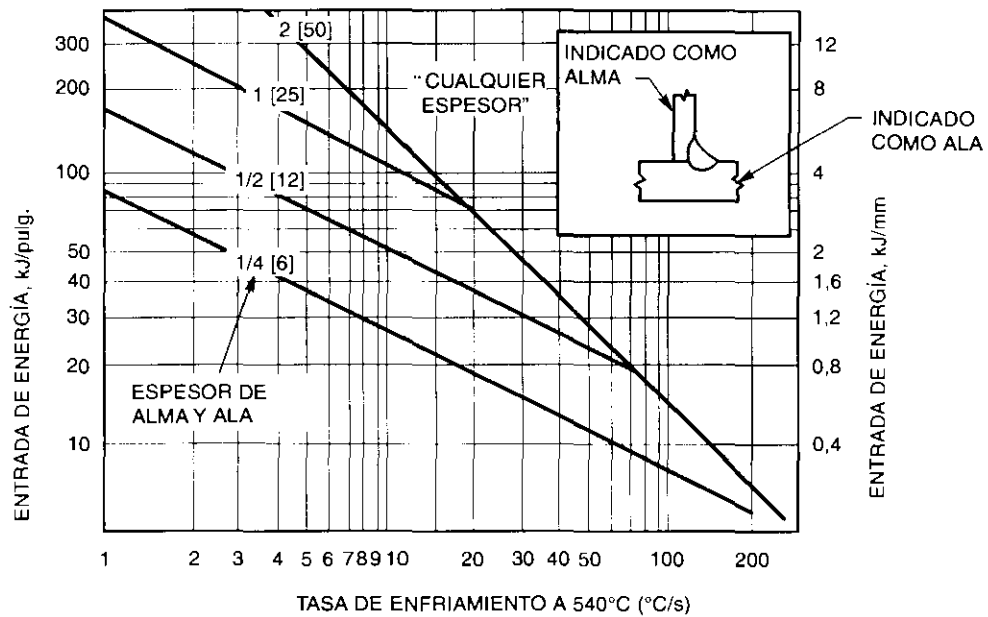
1. $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$.
2. véase H5.2(1), (2), o (3) para características aplicables de la zona

Figura H.1—Zona de clasificación de aceros (véase H5.1)



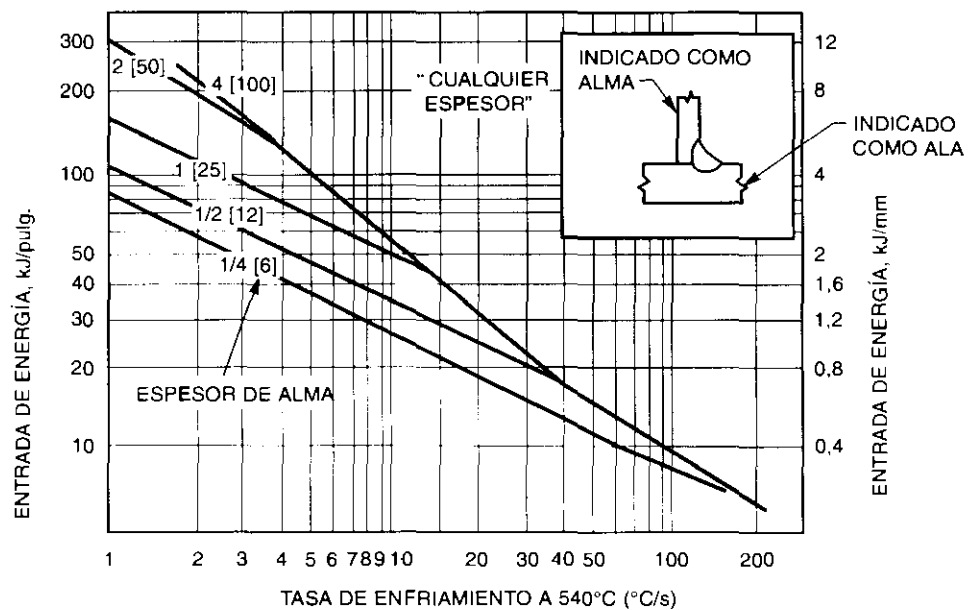
Nota: $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$.

Figura H.2—Índice de enfriamiento crítico para 350 HV y 400 HV (véase H3.3)



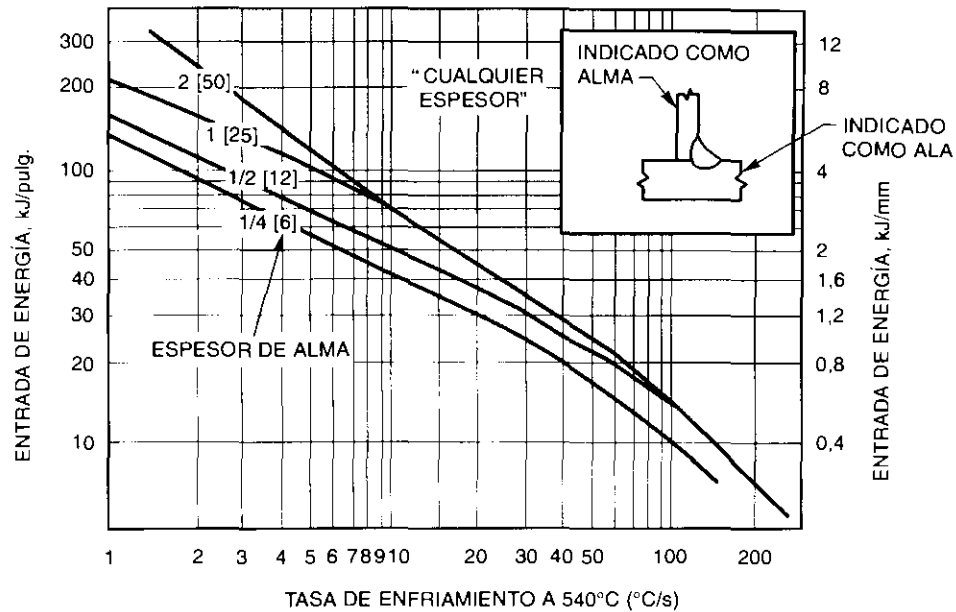
Nota: la entrada de energía determinada a partir de la gráfica no debe implicar conveniencia para aplicaciones prácticas. Para cierta combinación de espesores puede haber fusión a través del espesor.

(A) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALMA Y ALA DEL MISMO ESPESOR



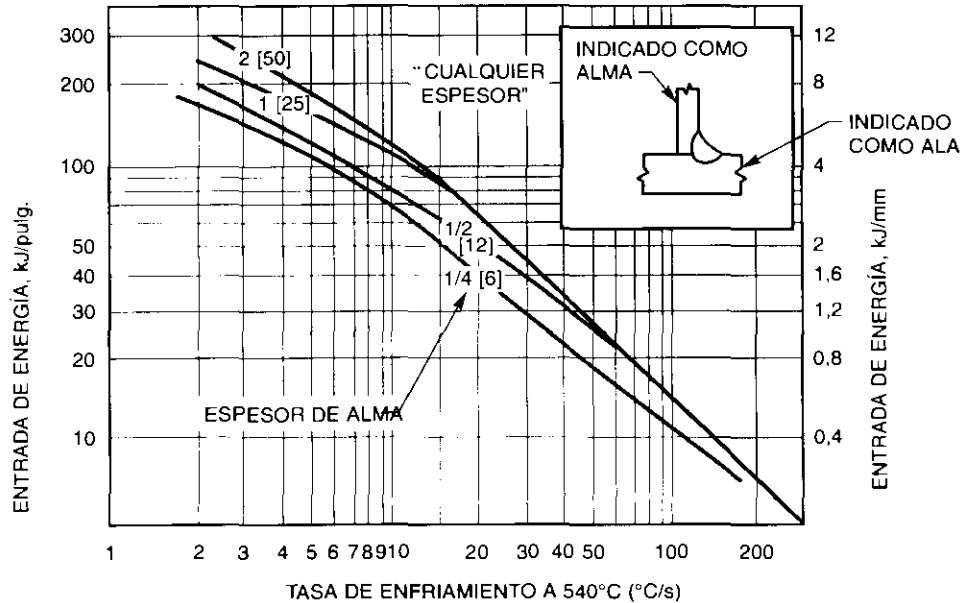
(B) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALAS DE 1/4 pulg. [6 mm] Y ESPESOR DE ALMA VARIABLE

Figura H.3—Gráficos para determinar los índices de enfriamiento para soldaduras en filete SAW de pasada única (véase H6.1.3)



Nota: la entrada de energía determinada a partir de la gráfica no debe implicar conveniencia para aplicaciones prácticas. Para cierta combinación de espesores puede haber fusión a través del espesor.

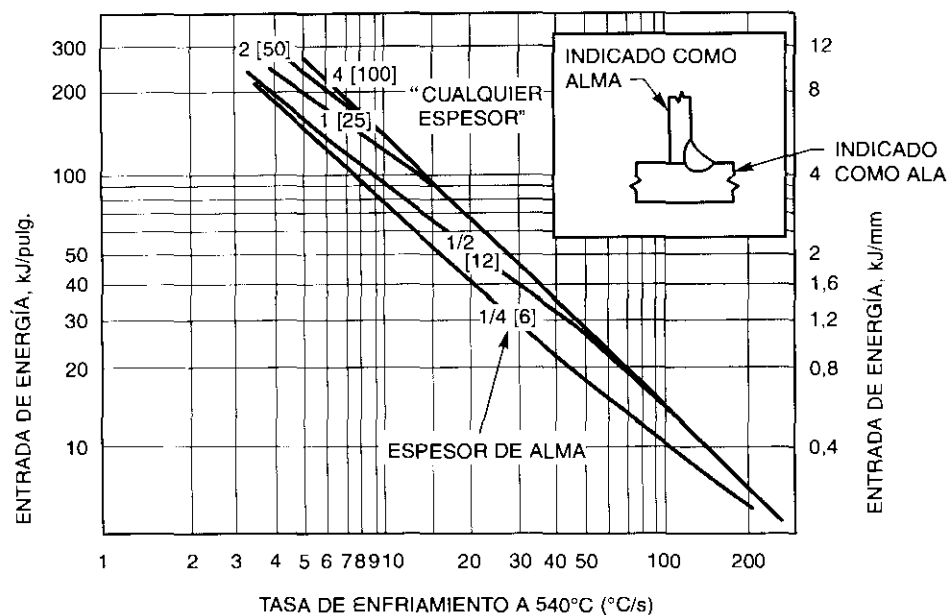
(C) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALAS DE 1/2 pulg. [12 mm] Y ESPESOR DE ALMA VARIABLE



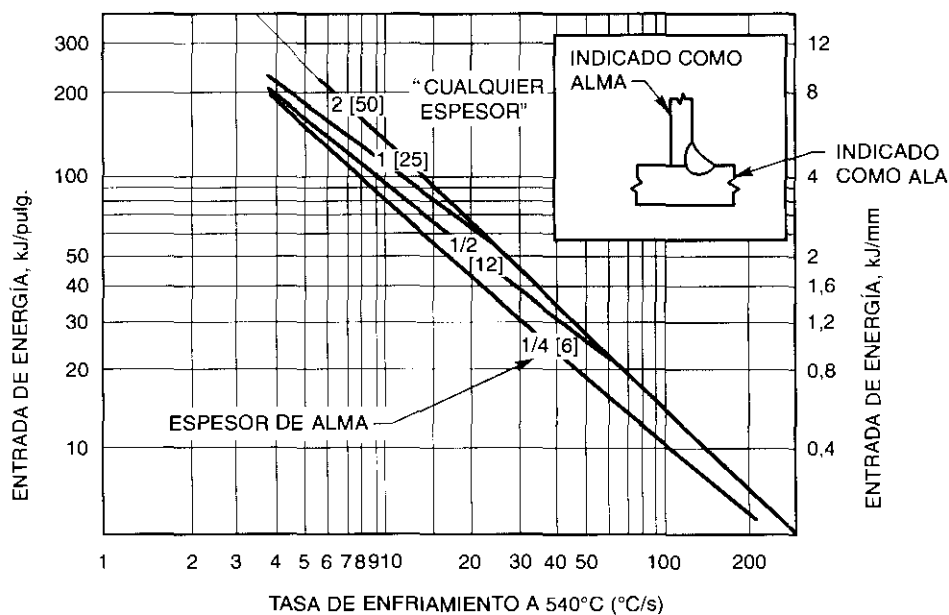
Nota: la entrada de energía determinada a partir de la gráfica no debe implicar conveniencia para aplicaciones prácticas. Para cierta combinación de espesores puede haber fusión a través del espesor.

(D) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALAS DE 1 pulg. [25 mm] Y ESPESOR DE ALMA VARIABLE

Figura H.3 (continuación)—Gráficos para determinar los índices de enfriamiento para soldaduras en filete SAW de pasada única (véase H6.1.3)



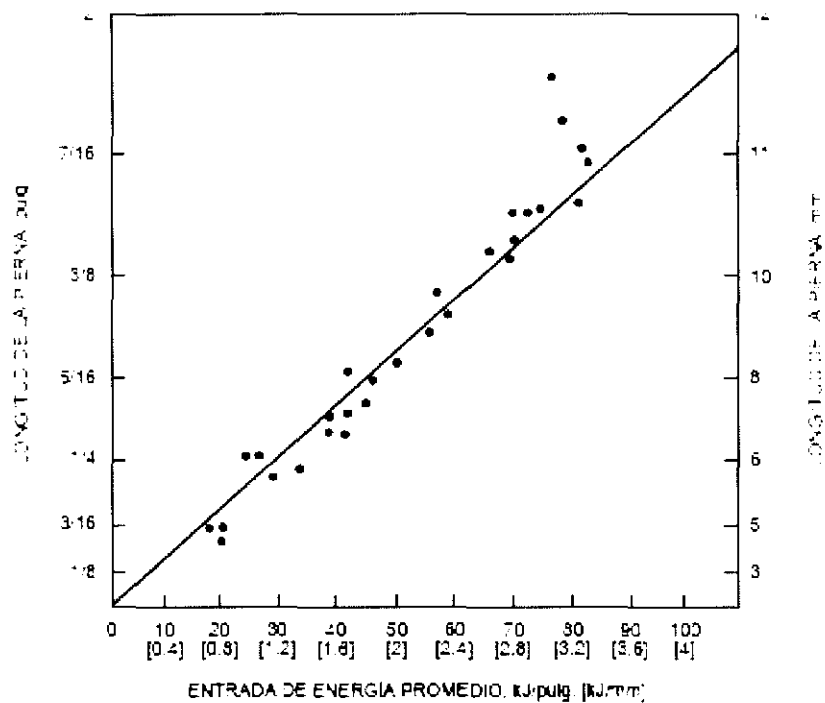
(E) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALAS DE 2 pulg. [50 mm] Y ESPESORES DE ALMA VARIABLES



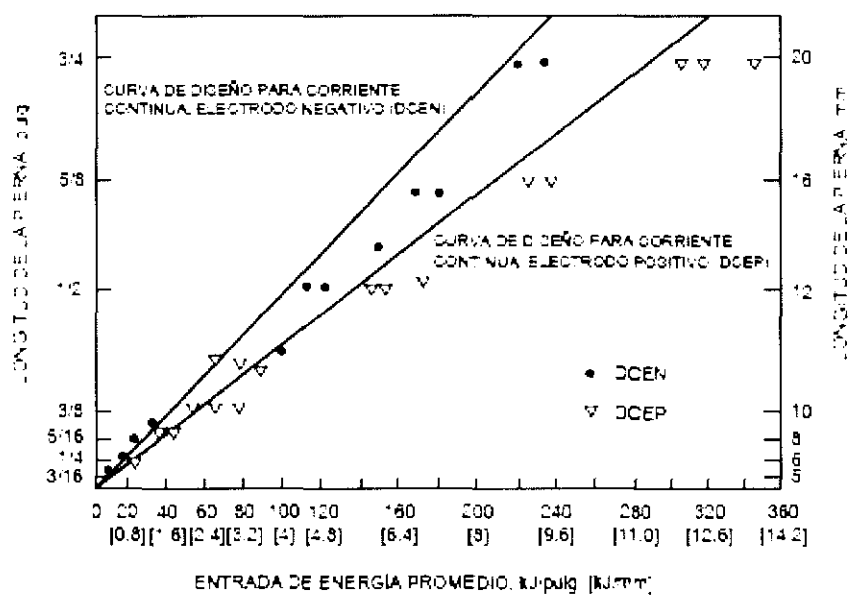
Nota: la entrada de energía determinada a partir de la gráfica no debe implicar conveniencia para aplicaciones prácticas. Para cierta combinación de espesores puede haber fusión a través del espesor.

(F) SOLDADURAS DE FILETE SAW DE PASADA SIMPLE CON ALAS DE 4 pulg. [100 mm] Y ESPESORES DE ALMA VARIABLES

Figura H.3 (continuación)—Gráficos para determinar los índices de enfriamiento para soldaduras en filete SAW de pasada única (véase H6.1.3)



(A) SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO (SMAW)



(B) SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW)

Figura H.4—Relación entre el tamaño de la soldadura en filete y la entrada de energía (véase H6.1.5)

Anexo I (normativo)

Símbolos para el diseño de soldadura de conexiones tubulares

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

Los símbolos utilizados en la Sección 9, Parte A son los siguientes:

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
α	parámetro ovalizante de cordón (alfa)	f_a	esfuerzo axial en el miembro ramal
a	ancho del producto de la sección hueca rectangular	f_a	esfuerzo axial en el miembro principal
a_x	relación de a al seno θ	f_b	esfuerzo por doblado en el miembro ramal
b	ancho transversal de tubos rectangulares	f_b	esfuerzo por doblado en el miembro principal
b_{et} ($b_{e(ov)}$)	ancho efectivo del ramal en miembro pasante	f_{by}	tensión nominal, doblado en plano
b_{eo} (b_e)	ancho efectivo del ramal en el cordón	f_{bz}	tensión nominal, doblado fuera de plano
b_{eoi} (b_{ep})	ancho efectivo del ramal para perforación externa	f_n	esfuerzo nominal en el miembro ramal
b_{gap}	ancho efectivo en la separación de las conexiones en K	g	separación en conexiones en K
β	(beta) relación del diámetro de d_b con respecto a D relación de r_b a R (secciones circulares) relación de b con respecto a D (secciones rectangulares)	H	profundidad del alma (cordón rectangular) en el plano del refuerzo
β_{gap}	ancho efectivo sin dimensión en la separación de las conexiones en-K	γ	(gamma) parámetro de flexibilidad del miembro principal; relación de R a t_c (secciones circulares); relación de D a $2t_c$ (secciones rectangulares)
β_{eoi}	relación sin dimensión de b_{eoi} al ancho del miembro principal	γ_b	radio a razón de espesor del tubo en la transición
β_{eop}	ancho efectivo sin dimensión para perforación externa	γ_t	miembro pasante γ (para conexión de traslape)
β_{eff}	efectivo β para la plastificación de la cara del cordón de la conexión en K	ID	diámetro interno
c	dimensión de esquina	K—	configuración de la conexión
D	diámetro externo (OD) (tubos circulares) o ancho externo del miembro principal (secciones rectangulares)	K_a	factor relativo de longitud
D	relación del daño por fatiga acumulativa, $\sum \frac{n}{N}$	K_b	factor relativo de sección
d_b	diámetro del miembro ramal	λ	(lambda) intersección del parámetro de sensibilidad
η	(eta) relación de a_x con respecto a D	L	tamaño de la dimensión de la soldadura en filete, según se muestra en la Figura 9.3
ϵ_{TR}	(epsilon) rango total de tensión	L	longitud de manguito de unión
F	tamaño de la soldadura en filete de pie	LF	factor de carga (factor de seguridad parcial para carga en LRFD)
F_{EXX}	resistencia a la tracción mínima clasificada del depósito de soldadura	l_1	longitud real de la soldadura, donde el miembro ramal contacta al miembro principal
F_y	carga de fluencia del metal base	l_2	longitud proyectada (un lado) de la soldadura de traslape, <u>medida perpendicular al miembro principal</u>
F_{yo}	carga de fluencia del miembro principal	M	momento aplicado
		M_c	momento en el cordón
		M_u	momento máximo
		n	ciclo de carga aplicada

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
N	cantidad de ciclos permitidos a un rango de-terminado de tensión	t_b	espesor de pared del miembro ramal miembro ramal para el dimensionamiento de soldaduras en ranura con CJP
OD	diámetro externo		miembro más delgado para el dimensiona- miento de soldaduras en ranura con PJP y soldaduras en filete
P	carga axial en miembro ramal	t_c	espesor de pared de la lata de la junta de unión del miembro principal
P_c	carga axial en el cordón	t_w	tamaño de la soldadura (garganta efectiva)
P_u	carga máxima	t'_w	<u>el tamaño de la soldadura (garganta efectiva)</u> <u>o el espesor t_b del miembro ramal interior,</u> <u>el que resulte menor</u>
P_l	componente de carga del miembro individual perpendicular al eje del miembro princi- pal	τ	(tau) parámetro geométrico del espesor rela- tivo del miembro ramal al miembro prin- cipal; relación de t_b a t_c
p	longitud del rastro proyectado del miembro de traslape	τ_1	$t_{\text{traslape}}/t_{\text{pasante}}$
q	cantidad de traslape	θ	(theta) ángulo agudo entre los dos ejes de miembros
ϕ	(phi) ángulo de junta incluido		ángulo entre las líneas centrales del miembro
π	(pi) relación de la circunferencia al diámetro del círculo		ángulo de intersección de la riostra
Ψ	(psi) ángulo diedro local. véase definición en Anexo J	$\bar{U}$	razón de utilización de la tensión axial y de doblado a un esfuerzo admisible, en un punto bajo consideración en el miembro principal
$\bar{\Psi}$	(psi bar) ángulo complementario al ángulo diedro local en el cambio en la transición	V_p	esfuerzo de cizallamiento por punzonado
Q_b	modificador geométrico	V_w	esfuerzo admisible para la soldadura entre los miembros ramales
Q_f	término de interacción de la tensión	x	variable algebraica $\frac{1}{2 \pi \sin \theta}$
Q_q	geometría del miembro ramal y modificador del patrón de carga	$Y-$	configuración de la conexión
R	radio externo, miembro principal	y	variable algebraica $\frac{1}{3 \pi} \cdot \frac{3 \cdot \beta^2}{2 - \beta^2}$
R	abertura de la raíz (acoplamiento de la junta)	Z	dimensión de pérdida en Z
r	radio de esquina de las secciones huecas rec- tangulares medidas por el medidor del radio	ζ	(zeta) razón de abertura a D
r	radio efectivo de intersección		
r_b	radio del miembro ramal		
r_m	radio al punto medio del espesor de la pared del miembro ramal		
r_w	radio al punto medio de la garganta efectiva		
SCF	factor de concentración de tensión		
Σl_i	(sigma) suma de las longitudes reales de las soldaduras		
$T-$	configuración de la conexión		
$TCBR$	tensión/compresión o doblado, o ambos, rango total de la tensión nominal		
t	espesor de pared del tubo		

Anexo J (normativo)

Términos y definiciones

Este anexo es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, Código de soldadura estructural—Acero, e incluye elementos obligatorios para usar con este código.

Los términos y definiciones de este glosario están divididos en tres categorías: (1) términos generales de soldadura compilados por el Comité AWS sobre Definiciones y Símbolos; (2) términos definidos por el Comité de Soldadura Estructural AWS que se aplican únicamente a UT, designado por la continuación del término (UT); y (3) otros términos, precedidos por asteriscos, los cuales se definen en relación con este código.

A los fines de este documento, se aplican los siguientes términos y definiciones:

A

abertura de la raíz. Separación en la raíz de la junta entre las piezas de trabajo.

***accesorios auxiliares.** Componentes o aditamentos anexados a los miembros principales que soportan carga mediante soldaduras. Tales miembros pueden o no llevar carga.

aleta. Defecto en una barra u otra sección laminada causada por el acero que se extiende hacia la separación entre los cilindros. Esto produce un exceso de relleno espeso que, si se vuelve a laminar, por lo general se convierte en un traslape.

ángulo de bisel. El ángulo entre el bisel de un miembro de unión y un plano perpendicular a la superficie del miembro.

ángulo de ranura. Ángulo total incluido de la ranura entre las piezas de trabajo.

anillo de respaldo. Respaldo en forma de anillo, generalmente utilizado en la soldadura de tubería.

***ángulo de bisel.** véase ángulo de bisel.

***ángulo de borde (estructuras tubulares).** Ángulo agudo entre un borde biselado hecho en preparación para una soldadura y una tangente a la superficie del miembro, medido localmente en un plano perpendicular a la línea de intersección. Todos los biseles abiertos hacia fuera de la riostra.

***ángulo de intersección de la riostra, q (estructuras tubulares).** El ángulo agudo formado entre las líneas centrales de la riostra.

***ángulo de ranura, f (estructuras tubulares).** Ángulo entre las caras opuestas de la ranura que van a rellenarse con metal de soldadura, determinados después de que la junta se haya ajustado.

***ángulo diedro local, Y (estructuras tubulares).** Ángulo medido en un plano perpendicular a la línea de la soldadura, entre tangentes a las superficies externas de los tubos que van a unirse en las soldaduras. Ángulo diedro externo, donde uno ve una sección localizada de la conexión, de modo que las superficies de intersección pueden tratarse como planas.

***ángulo diedro.** véase ángulo diedro local.

***atenuación (UT).** La pérdida en energía acústica, la cual ocurre entre dos puntos del trayecto. Esta pérdida puede deberse a la absorción, reflexión, etc. (En este código, utilizando el método de ensayo de pulso-eco de la onda de cizallamiento, el factor de atenuación es de 2 dB por pulgada de distancia de recorrido del sonido después de la primera pulgada).

B

***bache de gas.** Término no estandarizado para porosidad.

***base de perno.** Punta del perno al extremo de la soldadura, incluyendo el fundente y el contenedor, y 1/8 pulg. [3 mm] del cuerpo del perno adyacente a la punta.

C

calificación de desempeño de soldadores. Demostración de la capacidad de un soldador para realizar soldaduras que cumplen con las normas prescritas.

calificación de la WPS. Demostración de que la soldadura hecha mediante un procedimiento específico puede cumplir con las normas prescritas.

calificación. véase calificación de desempeño de soldadores y calificación de la WPS.

***capa.** Estrato del metal de soldadura o del material de superficie. La capa puede consistir en uno o en más cordones de soldadura colocados uno al lado del otro.

***clasificación de decibeles (UT).** véase el término preferido clasificación de indicaciones.

***clasificación de defectos (UT).** véase clasificación de indicaciones.

***clasificación de indicación (UT).** Lectura de decibeles en relación con el nivel de referencia cero después de haber sido corregido para la atenuación de sonido.

cara de la raíz. Porción de la cara de la ranura dentro de la raíz de la junta.

cara de la ranura. Superficie de un miembro de unión incluida en la ranura.

cara de soldadura. Superficie expuesta de una soldadura en un lado desde el cual se ha hecho la soldadura.

certificación del soldador. Certificación escrita de que un soldador ha realizado soldaduras que cumplen con normas prescritas para el desempeño del soldador.

CJP (penetración completa de la junta). Condición en la raíz de la junta de una soldadura en ranura en la cual el metal de soldadura se extiende a través de todo el espesor de la junta.

***Código de Construcción.** El término Código de Construcción, dondequiera que aparezca esta expresión en este código, se refiere a la ley o a las especificaciones de construcción u otras normativas sobre construcción, en conjunto con las que se aplica este código. En ausencia de leyes o especificaciones de construcción aplicables a nivel local, o de otras normativas de construcción, se recomienda exigir que la construcción cumpla con las Especificaciones para el diseño, la fabricación y el montaje del acero estructural para construcciones del Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC).

***conexión tubular.** Conexión en la parte de una estructura que contiene dos o más miembros de intersección, de los cuales al menos uno es un miembro tubular.

***Contratista.** Cualquier empresa, o individuo que represente una empresa, responsable de la construcción, el montaje, la fabricación o soldadura de conformidad con las disposiciones de este código.

cordón de soldadura. Soldadura resultante de una pasada. véase cordón recto estrecho y cordón oscilado.

cordón recto estrecho. Tipo de cordón de soldadura hecho sin ningún movimiento apreciable del tejido.

cordón oscilado. Tipo de cordón de soldadura que se realiza depositando la soldadura con un movimiento oscilatorio.

corte con oxígeno (OC). Grupo de procesos de corte térmico que separa o quita el metal por medio de una reacción química entre el oxígeno y el metal base a elevada temperatura. La temperatura necesaria es mantenida por el calor de un arco, la llama de oxcombustible o alguna otra fuente.

cráter. Depresión en la cara de soldadura en la terminación de un cordón de soldadura.

***CVN.** Charpy entalla en V.

D

defecto. Discontinuidad o discontinuidades que, por su propia naturaleza o por efectos acumulados, (por ejemplo, una grieta de longitud total), provocan que una parte o un producto no satisfaga las normas o las especificaciones mínimas de aceptación aplicables. Este término implica rechazo.

***decibel (dB) (UT).** Expresión logarítmica de una razón de dos amplitudes o intensidades de energía acústica.

discontinuidad. Interrupción de la estructura típica de un material, tal como la falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.

***discontinuidad inaceptable.** Véase defecto.

***discontinuidad tipo fusión.** Significa la inclusión de escorias, fusión incompleta, penetración incompleta de la junta y discontinuidades similares asociadas con la fusión.

***discontinuidad transversal.** Discontinuidad de la soldadura, cuya mayor dimensión está en una dirección perpendicular al eje de la soldadura "X", véase Anexo L, Formulario L-11.

***distancia de la trayectoria del sonido (UT).** Distancia entre la interfaz del material de ensayo de la unidad de búsqueda, y el reflector medido a lo largo de la línea central del haz de sonido.

***distancia del haz acústico (UT).** Véase distancia de la trayectoria del sonido.

***documentos del contrato.** Todos los códigos, especificaciones, diseños u otros requisitos adicionales que estén especificados contractualmente por el Propietario.

E

EGW (soldadura con electrogás) Proceso de soldadura que usa un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura; empleando una progresión de soldadura aproximadamente vertical

con respaldo para confinar el metal de soldadura fundido. El proceso se utiliza con o sin gas de protección suministrado externamente y sin la aplicación de presión.

eje de la soldadura. Línea a través de la longitud de una soldadura, perpendicular a y en el centro geométrico de su sección transversal.

eje de una soldadura. véase eje de la soldadura.

***electrodo en paralelo.** Véase SAW.

***ensayos No Destructivos (NDT).** Procesos para determinar si un material o componente es apropiado para algún propósito de acuerdo con criterios establecidos, sin llegar a deteriorarlo e impedir su uso futuro.

***esfuerzo de tracción nominal del metal de soldadura.** Esfuerzo de tracción del metal de soldadura indicado por el número de clasificación del metal de aporte (por ej., el esfuerzo de tracción nominal de E60XX es 60 ksi [420 Mpa]).

ESW (soldadura por electroescoria). Proceso de soldadura que produce coalescencia de metales con escoria fundida que derrite el metal de aporte y las superficies de las piezas de trabajo. El charco de soldadura está protegido por esta escoria, la cual se mueve a lo largo de la sección transversal completa de la junta mientras se realiza la soldadura. El proceso es iniciado por un arco que calienta la escoria. El arco luego se apaga por la escoria de conducción, la cual se mantiene fundida por su resistencia al paso de la corriente eléctrica entre el electrodo y las piezas de trabajo.

F

***Falta de nitidez geométrica.** El aspecto borroso o la falta de definición en una imagen radiográfica resultante del tamaño de la fuente, la distancia del objeto a la película, y la distancia de la fuente a objeto. La falta de nitidez geométrica puede expresarse matemáticamente de la siguiente manera:

$$U_g = F (L_i - L_o) / L_o$$

Donde U_g es la falta de nitidez geométrica, F es el tamaño del punto focalizado o la radiación gamma, L_i es la distancia de la fuente a la película, y L_o es la distancia de la fuente a objeto.

***fatiga.** Fatiga, tal como se utiliza aquí, se define como el daño que puede dar lugar a fracturas después de una cantidad suficiente de fluctuaciones de esfuerzo. El rango de esfuerzo se define como la magnitud máxima de estas fluctuaciones. En el caso de inversión de esfuerzos, el rango de esfuerzos deberá calcularse como la suma numérica (diferencia algebraica) de la tracción máxima repetida y de los esfuerzos de compresión, o la suma de los esfuerzos de cizallamiento de la dirección opuesta en un punto dado, a causa de condiciones cambiantes de la carga.

FCAW (soldadura por arco con núcleo de fundente). Proceso de soldadura por arco que usa un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se utiliza con gas de protección a partir de un fundente contenido dentro

del electrodo tubular, con o sin protección adicional de un gas proporcionado externamente, y sin la aplicación de presión.

***FCAW-G (soldadura por arco con núcleo de fundente—gas de protección).** Variación del proceso de soldadura por arco con núcleo de fundente, en el cual la protección adicional se obtiene de un gas o una mezcla de gases suministrado externamente.

***FCAW-S (soldadura por arco con núcleo de fundente—autoprotegido).** Proceso de soldadura por arco con núcleo de fundente donde la protección es proporcionada exclusivamente mediante un fundente contenido dentro del electrodo tubular.

***fundente de aleación.** Un fundente del cual depende en gran parte el contenido de aleación del metal de soldadura.

fusión completa. Fusión sobre todas las caras de fusión y entre todos los cordones de soldadura adjuntos.

fusión. Fundir el metal de aporte y el metal base (sustrato) en forma conjunta, o solo el metal base, para producir una soldadura.

G

garganta de una soldadura en filete.

garganta real. Distancia más corta entre la raíz de la soldadura y la cara de una soldadura en filete.

garganta teórica. Distancia desde el inicio de la raíz de la junta perpendicular a la hipotenusa del triángulo recto más grande que se puede inscribir dentro de la sección transversal de una soldadura en filete. Esta dimensión se basa en la suposición de que la abertura de la raíz es igual a cero.

garganta de una soldadura en ranura. Término no estandarizado para tamaño de la soldadura en ranura.

gas de protección. Gas de protección utilizado para evitar o reducir la contaminación atmosférica.

GMAW (soldadura a gas y arco con electrodo metálico). Proceso de soldadura por arco que usa un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se utiliza con protección proveniente de gas suministrado externamente y sin la aplicación de presión.

GMAW-S (soldadura a gas y arco con electrodo metálico—arco en corto circuito). Variación del proceso de soldadura a gas y arco con electrodo metálico en el cual el electrodo consumido es depositado durante cortocircuitos repetidos.

GTAW. Soldadura a gas y arco con electrodo de tungsteno.

guía de consumibles de ESW. Variación del proceso de soldadura por electroescoria en el cual el metal de aporte es proporcionado por un electrodo y su miembro guía.

guía de consumibles de ESW. véase ESW.

H

HAZ (zona afectada por el calor) Porción del metal base cuyas propiedades metálicas o microestructuras han sido alteradas por el calor de la soldadura, soldadura con latón, soldadura a menor temperatura o corte térmico.

I

indicador de calidad de imagen. véase IQI.

***indicación (UT).** Señal visualizada en el osciloscopio que significa la presencia de un reflector de onda sonora en la parte que se está sometiendo a un ensayo.

***Ingeniero.** Un individuo debidamente designado que actúa para y en nombre del Propietario en todas las cuestiones dentro del alcance del código.

***Inspector de Verificación.** Persona debidamente designada que actúa para y en nombre del Propietario en todas las cuestiones de inspección y calidad especificadas por el Ingeniero.

***Inspector del Contratista.** La persona debidamente designada que actúa para y en nombre del Contratista en todas las cuestiones de inspección y calidad dentro del alcance del código y los documentos del contrato.

***IQI (indicador de calidad de imagen).** Dispositivo cuya imagen en una radiografía se usa para determinar el nivel de calidad RT (test radiográfico). No está diseñado para ser utilizado en la evaluación de tamaño ni para establecer límites de aceptación de discontinuidades.

J

junta a tope. Una junta entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.

junta de esquina. Junta entre dos miembros colocados aproximadamente en ángulos rectos entre sí en forma de L.

junta en T. Junta entre dos miembros colocados aproximadamente en ángulos rectos entre sí en forma de T.

junta soldada simple. Junta que está soldada solamente de un lado.

junta traslapada. Junta entre dos miembros traslapados en planos paralelos.

junta. Unión de los miembros o los bordes de los miembros que van a unir o que se hayan unido.

***junta tubular.** Junta en la interface creada por la intersección de un miembro tubular con otro (el cual puede o no ser tubular).

L

lengüeta de soldadura. Material adicional que se extiende más allá de cualquiera de los extremos de la junta, en el cual se inicia o termina la soldadura.

***línea de referencia horizontal (UT).** Línea horizontal cerca del centro del alcance del instrumento UT a la cual se ajustan todos los ecos para la lectura de decibeles.

***longitud efectiva de la soldadura.** Longitud a través de la cual existe la sección transversal correctamente proporcionada de la soldadura. En una soldadura curvada, deberá medirse a lo largo del eje de la soldadura.

M

máquina para soldar. Equipo que se utiliza para realizar la operación de soldadura. Por ejemplo, la máquina para soldar de punteado, la máquina para soldar por arco y la máquina para soldar por costura.

martillado. Trabajo mecánico de los metales utilizando golpes de impacto.

metal base. El metal o la aleación que está soldado, soldado con latón, soldado a menor temperatura o cortado.

metal de aporte. Metal o aleación que se agregará para hacer una junta soldada, soldada con latón o soldada a menor temperatura.

***MT.** Ensayo por partícula magnética.

N

***nivel de defecto (UT).** véase nivel de indicación.

***nivel de escaneo (UT).** El ajuste de decibeles utilizados durante el escaneo, según se describe en las Tablas 6.2 y 6.3.

***nivel de indicación (UT)** Lectura de la ganancia calibrada o del control de atenuación obtenida para la indicación de la altura de la línea de referencia desde una discontinuidad.

***nivel de rechazo de la longitud de amplitud (UT).** Longitud máxima de discontinuidad admisible por varios indicadores asociados con el tamaño de la soldadura, según se indica en las Tablas 6.2 y 6.3.

***nivel de referencia (UT).** Lectura en decibeles obtenida de una indicación de la altura horizontal de la línea de referencia a partir de un reflector de referencia.

***nodo (UT).** véase pierna.

NOTA: Cuando un miembro forma un ángulo con el otro miembro, y el ángulo es mayor que 105°, la longitud de la pierna (tamaño) tiene menor significado que la garganta efectiva, que es el factor que controla la resistencia de la soldadura.

O

operario de soldadura. Persona que opera el equipo de soldadura por control adaptivo, automático, mecanizado o robótico.

***OEM (fabricante original del equipo).** Un solo Contratista que asume parte o todas las

responsabilidades asignadas por este código al Ingeniero.

P

pasada de respaldo. Una pasada de soldadura hecha para una soldadura de respaldo.

pasada de soldadura. Progresión simple de la soldadura a lo largo de una junta. El resultado de una pasada es un cordón o una capa de soldadura.

pasada. Véase pasada de soldadura.

penetración completa. Término no estandarizado para CJP.

penetración de la junta. Distancia hasta donde se extiende el metal de soldadura desde la cara de la soldadura hasta el interior de una junta, excluyendo el refuerzo de la soldadura.

penetración parcial de la junta. Véase PJP.

pie de la soldadura. Unión de la cara de soldadura y el metal base.

pie de soldadura. Véase pie de la soldadura.

pierna de soldadura en filete. Distancia desde la raíz de la junta hasta el pie de la soldadura en filete.

pierna de una soldadura en filete. véase pierna de soldadura en filete.

PJP. Penetración de la junta que es intencionalmente menor que la completa.

porosidad. Discontinuidades tipo cavidades producidas por gas atrapado durante la solidificación o en el depósito de un rociador térmico.

posición de soldadura horizontal, soldadura en filete. Posición de soldadura en la cual esta se ubica en el lado superior de una superficie aproximadamente horizontal y contra una superficie aproximadamente vertical (véase Figura 4.1, 4.2, 4.3, y 4.4).

posición de soldadura sobre cabeza. Posición de la soldadura en la cual la soldadura se efectúa desde la parte de abajo de la junta (véase Figuras 4.1, 4.2, 4.3, y 4.4).

posición fija horizontal (soldadura de tubos). Posición de una junta de tubo en la cual el eje de esta es aproximadamente horizontal, y el tubo no se gira durante la soldadura (véase Figuras 4.1, 4.2, y 9.17).

posición horizontal rotada (soldadura de tubos). Posición de una junta de tubo en la cual el eje de esta es aproximadamente horizontal, y la soldadura se realiza en la posición plana girando el tubo (véase Figuras 4.1, 4.2, y 9.17).

posición plana de soldadura. Posición utilizada para soldar desde la parte superior de la junta en un punto donde el eje de la soldadura está en una posición aproximadamente horizontal y la cara de soldadura queda en un plano aproximadamente horizontal.

precalentamiento. Aplicación de calor al metal base inmediatamente antes de la soldadura, soldadura con latón, soldadura a menor temperatura, pulverización térmica o corte.

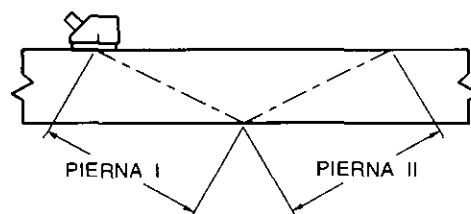
proceso mecanizado (XXXX-ME). Operación con un equipo que requiere el ajuste manual de un operador en respuesta a la observación visual, con el soplete, la pistola, el conjunto de guía de alambre o el portaelectrodo sujetado por un dispositivo mecánico. véase soldadura mecanizada.

profundidad de la fusión. Distancia en la que se extiende la fusión dentro del metal base o del cordón previo desde la superficie fundida durante la soldadura.

***pasada de cubierta.** véase pasada de terminación.

***pasada de terminación.** Una o más pasadas de soldadura que forman la cara de la soldadura (superficie expuesta de la soldadura completa). Las pasadas de capa adyacentes pueden cubrir parcialmente, pero no completamente una pasada de terminación.

***pierna (UT).** Trayecto que recorre la onda de cizallamiento en línea recta antes de ser reflejado por la superficie del material que se está sometiendo a ensayo. véase el diagrama para la identificación de la pierna. Nota: Pierna I más pierna II igual a una trayectoria en V.



***planos.** Se refiere a los planos de diseño, planos de detalle y planos de montaje.

***porosidad vermicular (ESW y EGW).** Porosidad extendida cuya mayor dimensión reside en una dirección aproximadamente paralela al eje de la soldadura.

***porosidad vermicular (general).** Porosidad extendida cuya mayor dimensión reside en una dirección aproximadamente paralela al eje de la soldadura. Se denomina con frecuencia como orificios de alfiler cuando la porosidad se extiende hasta la superficie de la soldadura.

***posición vertical (soldadura de tubo).** Posición de la junta de un tubo en la cual se efectúa la soldadura en posición horizontal y el tubo no se rota durante la soldadura (véase Figuras 4.1, 4.2, y 9.17).

***probeta de metal de soldadura para ensayo.** Es una probeta de ensayo con la sección reducida compuesta completamente del metal de soldadura.

***procedimiento de soldadura de juntas.** Materiales y métodos detallados y las prácticas empleadas en la soldadura de una junta en particular.

***Propietario.** Individuo o empresa que ejerce la propiedad legal del producto o el montaje estructural producido según este código.

***PT.** Ensayo del líquido penetrante.

***PWHT.** Tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Q

R

raíz de junta. Véase raíz de la junta.

raíz de la junta. Aquella porción de una junta que se va a soldar en donde los miembros están más cerca entre sí. En la sección transversal, la raíz de la junta puede ser un punto, una línea o un área.

raíz de la soldadura. Puntos, tal como se muestran en la sección transversal, donde la superficie de la raíz se une a las superficies de un metal base.

raíz de soldadura. Véase raíz de la soldadura.

ranurado con oxígeno. Rebaje térmico que utiliza una variación del proceso de corte con oxígeno para formar un bisel o una ranura.

ranurado del lado opuesto. Remoción del metal de soldadura y del metal base desde el lado de la raíz de la soldadura en una junta soldada para facilitar la fusión completa y CJP, luego de una soldadura posterior de ese lado.

ranurado por arco. Ranurado térmico que utiliza una variación del proceso de corte por arco para formar un bisel o una ranura.

ranurado térmico. Variación del proceso de corte térmico que quita el metal fundiendo o quemando toda la porción removida para formar un bisel o una ranura.

ranurado. véase ranurado térmico.

***rebaba.** Material que se forma alrededor de la soldadura y que es expulsado o eliminado de una junta de soldadura.

refuerzo de la soldadura. Soldadura excedente en cuanto a la cantidad requerida para rellenar una junta.

refuerzo de la soldadura. véase refuerzo de la soldadura.

respaldo. Un material o dispositivo colocado contra la parte de atrás de la junta, o a ambos lados en una soldadura en el proceso ESW y EGW, para apoyar y retener el metal de soldadura fundido. El material puede estar parcialmente fundido o puede permanecer no fundido durante la soldadura, y puede ser de metal o no.

***reflector de referencia (UT).** Reflector de la geometría conocida contenida en el bloque de referencia IIW, o en otros bloques aprobados.

***remate.** Continuación de una soldadura en filete alrededor de la esquina de un miembro como una prolongación de la soldadura principal.

***repisa.** Placas, barras de acero o elementos similares que se utilizan para soportar el desbordamiento del metal de soldadura en exceso depositado en una junta de soldadura en ranura horizontal.

***resolución (UT).** Habilidad del equipo de prueba ultrasónica de proporcionar indicaciones separadas de reflectores estrechamente espaciados.

***RT.** Pruebas radiográficas.

S

salpicaduras. Partículas metálicas expulsadas durante la soldadura por fusión que no forman parte de la soldadura.

SAW (soldadura por arco sumergido). Proceso de soldadura que utiliza uno o varios arcos que se forman entre el electrodo de metal desnudo y el charco de soldadura. El arco y el metal fundido están protegidos por una capa de fundente granular sobre las piezas de trabajo. El proceso se realiza sin presión y con metal de aporte proveniente del electrodo y, a veces, de una fuente complementaria (varilla de soldar, fundente o gránulos de metal).

***electrodo único.** Un electrodo conectado exclusivamente a una fuente de alimentación, la cual puede consistir en una o más unidades de alimentación.

***electrodo en paralelo.** Dos electrodos conectados eléctricamente en paralelo y exclusivamente a la misma fuente de alimentación. Ambos electrodos se alimentan generalmente por medio de un alimentador de electrodo único. La corriente de soldadura, cuando se especifica, es el total de los dos.

***electrodos múltiples.** Combinación de dos o más electrodos únicos o en sistemas de electrodos en paralelo. Cada uno de los sistemas del componente tiene su propia fuente de alimentación independiente y su propio alimentador de electrodos.

secuencia aleatoria. Secuencia longitudinal en la cual los incrementos del cordón de soldadura se hacen al azar.

secuencia de soldadura. Orden para realizar las pasadas en una soldadura.

***sellado.** Deformación plástica de la soldadura y de las superficies del metal base por medios mecánicos para sellar o eliminar discontinuidades.

separación de la raíz. Término no estandarizado para abertura de la raíz.

SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido). Proceso de soldadura por arco entre un electrodo cubierto y el charco de soldadura. El proceso se utiliza con el revestimiento de la descomposición de la cubierta del electrodo, sin la aplicación de presión, y con el metal de aporte del electrodo.

socavación. Ranura fundida dentro del metal base adyacente al pie o la raíz de la soldadura que se deja sin rellenar con el metal de soldadura.

soldabilidad. La capacidad de un material para ser soldado bajo condiciones impuestas de fabricación en una estructura específica apropiadamente diseñada y para realizar satisfactoriamente el servicio requerido.

la soldadura y el metal base a través de toda la profundidad de la junta o como se detalla en las Figuras 9.9, 9.12 a la 9.16, y 9.24. Se permite una soldadura en ranura tubular con CJP hecha de un solo lado, sin respaldo, cuando el tamaño o la configuración, o ambos, impiden el acceso al lado de la raíz de la soldadura.

superficie de empalme. Superficie de un miembro que está en contacto o proximidad cercana a otro miembro al cual se va a unir.

T

tal como se soldó. La condición del metal de soldadura, las juntas soldadas y las piezas soldadas después de la soldadura, pero previo a cualquier tratamiento posterior térmico, mecánico o químico.

tamaño de la soldadura en filete. Para las soldaduras en filete de piernas iguales, las longitudes de las piernas del triángulo isósceles recto más grande que pueda inscribirse dentro de la sección transversal de la soldadura en filete. Para las soldaduras en filete de piernas desiguales, las longitudes de las piernas del triángulo recto más grande que pueda inscribirse dentro de la sección transversal de la soldadura en filete.

tamaño de la soldadura en ranura. Penetración de la junta de una soldadura en ranura.

tamaño de la soldadura.

tamaño de soldadura. Véase tamaño de la soldadura.

***tándem.** Se refiere a la disposición geométrica de los electrodos en la cual una línea a través del arco es paralela a la dirección de la soldadura.

temperatura de precalentamiento, soldadura. Temperatura del metal base en el volumen que rodea al punto de la soldadura inmediatamente antes de comenzar. En una soldadura de pasadas múltiples, también es la temperatura inmediatamente antes de que se inicie la segunda pasada y las posteriores.

temperatura entre pasadas. En una soldadura realizada con varias pasadas, la temperatura del área soldada entre una y otra pasada de soldadura.

***tensión en el punto caliente (estructuras tubulares)** Rango cíclico total de la tensión, la cual se podría medir en el punto de la concentración más alta de esfuerzo en una conexión soldada. Cuando se mide la tensión en el punto caliente, el tensómetro debería ser lo suficientemente pequeño como para evitar promediar tensiones altas y bajas en las regiones de gradiente inclinada.

traslape, soldadura de fusión. Prominencia del metal de soldadura más allá del pie o de la raíz de la soldadura.

***tratamiento térmico posterior a la soldadura.** Cualquier tratamiento térmico después de soldar.

***trayectoria en V (UT).** Distancia que recorre un haz de sonido de onda de cizallamiento desde la interface del

material de ensayo de la unidad de búsqueda hasta la otra cara del material de ensayo y de regreso a la superficie original.

tubería rectangular. Producto tubular de corte transversal cuadrado o rectangular. véase tubular.

***tubos.** Sección transversal circular hueca producida o fabricada de acuerdo con una especificación de producto de tubos. véase tubular.

***tubular.** Un termino genérico que se refiere a secciones, incluidos productos de tubos (véase tubo) y la familia de productos de sección hueca cuadrados, rectangulares y redondos producidos o fabricados de conformidad con una especificación de producto tubular. También se denomina sección estructural hueca (HSS).

U

***UT.** Prueba ultrasónica.

V

vertical descendente. Término no estandarizado para posición de soldadura plana.

W

***WPS (especificación del procedimiento de soldadura).** Métodos y prácticas detallados que incluyen todos los procedimientos de soldadura de juntas involucrados en la producción de una soldadura. véase **procedimiento de soldadura de juntas**.

Z

zona afectada por el calor. véase HAZ.

zona de fusión. Área del metal base fundido, la cual se determina midiendo la sección transversal de una soldadura.

Anexo K (informativo)

Guía para los escritores de especificaciones

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

Una declaración en un documento de contrato de que toda la soldadura se realizará en conformidad con AWS D1.1, *Código de soldadura estructural—Acero*, cubre solo los requisitos de soldadura obligatorios. Las demás disposiciones del código son opcionales. Se aplican solo cuando están especificadas. Las siguientes son algunas de las disposiciones opcionales que se usan más comúnmente y ejemplos de cómo pueden estar especificadas.

Disposición opcional	Especificación típica
Inspección de la construcción /montaje [cuando no es responsabilidad del contratista (6.1.2)]	La inspección de la construcción/montaje la llevará a cabo el propietario. <i>o</i> La inspección de la construcción/montaje la llevará a cabo una agencia de ensayos contratada por el propietario. <i>NOTA: Cuando la inspección de la construcción/montaje es realizada por el propietario o la agencia de ensayos contratada por el propietario, se deben proporcionar los detalles completos respecto de dichos ensayos.</i>
Inspección de verificación (6.1.2.2)	La inspección de verificación (6.1.2.2) debe ser realizada por el contratista. <i>o</i> La inspección de verificación debe ser realizada por el propietario. <i>o</i> La inspección de verificación debe ser realizada por una agencia de ensayos contratada por el propietario. <i>o</i> La inspección de verificación no se aplicará.
Ensayos no destructivos	Generalidades NDT: Para cada tipo de junta (que no sea visual [6.14] ni tipo de esfuerzo [tracción, compresión y cizalladura]) se indica el tipo de NDT que se usará, el alcance de la inspección, cualquier técnica especial que se usará y los criterios de aceptación. Ejemplos específicos (se interpretarán como ejemplos y no recomendaciones) a continuación. El ingeniero determinará los requisitos específicos para cada condición.

(Continuación)

Disposición opcional	Especificación típica
Ensayos no destructivos (continuación)	Fabricación de estructura cargada estáticamente: Soldaduras en ranuras de tracción con conexión de momento en juntas a tope—25% de inspección ultrasónica de cada una de las cuatro primeras juntas, y descende al 10% de cada una de las juntas restantes. Criterios de aceptación— Tabla 6.2. Soldaduras en filete—MT—Inspección del 10% de la longitud de cada soldadura. Criterios de aceptación— Tabla 6.1 <u>para soldaduras no tubulares y Tabla 9.16 para soldaduras tubulares.</u> Fabricación de estructura cargada cíclicamente: Empalmes a tope de tracción—100% de UT, o 100% de RT—Criterios de aceptación—UT: 6.13.2; RT: 6.12.2. Soldaduras de esquina de penetración completa en miembros cargados axialmente: Esfuerzos de tracción—100% de UT, patrones de escaneo D o E—Criterios de aceptación—Tabla 6.3. Esfuerzos de compresión—25%, UT, movimientos de escaneo A, B o C. Criterios de aceptación—Tabla 6.1. Soldaduras en filete—MT—Inspección del 10% de la longitud de cada soldadura—Criterios de aceptación—6.12.2.
(6.15.3)	o El rechazo de cualquier porción de una soldadura inspeccionada en menos del 100% requerirá la inspección del 100% de dicha soldadura. o
(6.15.3)	El rechazo de cualquier porción de una soldadura inspeccionada en una longitud parcial requerirá la inspección de la longitud establecida en cada lado de la discontinuidad.

Anexo L (informativo)

Formularios de calificación e inspección de equipos de UT

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

El anexo contiene ejemplos para el uso de los tres formularios, L-8, L-9, y L-10, para el registro de los datos del ensayo de UT. Cada uno de los ejemplos de los formularios L-8, L-9, y L-10 muestra cómo se pueden usar los formularios en la inspección ultrasónica de soldaduras. El formulario L-11 es para informar los resultados de la inspección ultrasónica de soldaduras.

Informe de calibración de unidad ultrasónica—AWS

Modelo de unidad ultrasónica _____ N.º de serie _____

Unidad de búsqueda—tamaño _____ Tipo _____ Frecuencia _____ MHz

Calibración—Fecha _____ Intervalo _____ Método _____

N.º de serie del bloque _____ Datos _____ Encontrados _____ Ajustados _____

INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS

- Comience con el nivel de dB más bajo desde el cual puede obtener una indicación de altura de pantalla de 40 por ciento, directamente sobre los dos en la sección del bloque DS. Agregue 6 dB y registre esta lectura de dB como “a” y la altura de la pantalla como “b” como el punto de inicio en el cuadro de tabulación.
- Luego de registrar estos valores en las Filas “a” y “b”, deslice el transductor para obtener una nueva altura de pantalla de 40 por ciento. Sin movéase el transductor, agregue 6 dB y registre la nueva lectura de dB en la nueva altura de pantalla en la fila apropiada. Repita este paso todas las veces que la unidad lo permita.
- Encuentre los valores promedio de % de la pantalla de la Fila “b” descartando las primeras 3 y las últimas 3 tabulaciones. Use esto como %₂ para calcular la lectura corregida.
- La siguiente ecuación se utiliza para calcular la Fila “c”:
 %₁ es Fila “b”
 %₂ es el promedio de Fila “b” descartando las primeras tres y las últimas tres tabulaciones.
 dB₁ es Fila “a”
 dB₂ es Fila “c”

$$dB_2 = 20 \times \log\left(\frac{\%_2}{\%_1}\right) + dB_1$$
- El error de dB “d” se establece restando la Fila “c” a la Fila “a”: (a – c = d).
- El error de dB colectivo “e” se establece comenzando con el error de dB “d” más cercano a 0,0, sumando colectivamente los valores del error de dB “d” horizontalmente, colocando los subtotales en la Fila “e”.
- Moviéndose horizontalmente, izquierda y derecha desde la línea % promedio, encuentre el tramo en donde las cifras del error de dB colectivo más grande y más pequeña permanecen en o por debajo de 2 dB. Cuente la cantidad de espacios horizontales de movimiento, reste uno y multiplique el resto por seis. Este valor de dB es el rango aceptable de la unidad.
- Para establecer el rango aceptable gráficamente, se debe usar el Formulario L-8 en conjunto con el Formulario L-9 de la siguiente manera:
 - Aplique los valores colectivos del error de dB “e” verticalmente en la desviación horizontal que coincide con los valores de lectura de dB “a”.
 - Establezca una línea curva que pase a través de esta serie de puntos.
 - Aplique un margen horizontal alto de 2 dB sobre esta curva posicionado verticalmente de modo que la sección más larga quede completamente incluida dentro de la altura del error de 2 dB.
 - Esta longitud representa el rango de dB aceptable de la unidad.

Fila	Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	Lectura de dB													
b	Altura de la pantalla													
c	Lectura corregida													
d	Error de dB													
e	Error de dB colectivo													

Precisión requerida: El rango mínimo admisible es _____ . %₂ (promedio) _____ %

El equipo es: Aceptable para usar _____ No aceptable para usar _____ Fecha límite de la recalibración _____

Rango calificado total _____ dB a _____ dB = _____ dB Error total _____ dB (Del cuadro de arriba)

Rango calificado total _____ dB a _____ dB = _____ dB Error total _____ dB (Del Formulario L-9)

Calibrado por _____ Nivel _____ Ubicación _____

Formulario L-8

Informe de calibración de unidad ultrasónica—AWS

Modelo de unidad ultrasónica USN-50 N.º de serie 47859-5014
 Unidad de búsqueda—tamaño 1" REDONDO Tipo SAB Frecuencia 2,25 MHz
 Calibración—Fecha 17 de junio de 1996 Intervalo 2 meses Método AWS D1.1
 N.º de serie del bloque 1234-5678 Fecha XX Encontrado Ajustado

INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS

- Comience con el nivel de dB más bajo desde el cual puede obtener una indicación de altura de pantalla de 40 por ciento, directamente sobre los dos en la sección del bloque DS. Agregue 6 dB y registre esta lectura de dB como "a" y la altura de la pantalla como "b" como el punto de inicio en el cuadro de tabulación.
- Luego de registrar estos valores en las Filas "a" y "b", deslice el transductor para obtener una nueva altura de pantalla de 40 por ciento. Sin movéase el transductor, agregue 6 dB y registre la nueva lectura de dB en la nueva altura de pantalla en la fila apropiada. Repita este paso todas las veces que la unidad lo permita.
- Encuentre los valores promedio de % de la pantalla de la Fila "b" descartando las primeras 3 y las últimas 3 tabulaciones. Use esto como %₂ para calcular la lectura corregida.
- La siguiente ecuación se utiliza para calcular la Fila "c":

$$dB_2 = 20 \times \log\left(\frac{\%_2}{\%_1}\right) + dB_1$$

%₁ es Fila "b"
 %₂ es el promedio de Fila "b" descartando las primeras tres y las últimas tres tabulaciones.
 dB₁ es Fila "a"
 dB₂ es Fila "c"
- El error de dB "d" se establece restando la Fila "c" a la Fila "a": (a – c = d).
- El error de dB colectivo "e" se establece comenzando con el error de dB "d" más cercano a 0,0, sumando colectivamente los valores del error de dB "d" horizontalmente, colocando los subtotales en la Fila "e".
- Moviéndose horizontalmente, izquierda y derecha desde la línea % promedio, encuentre el tramo en donde las cifras del error de dB colectivo más grande y más pequeña permanecen en o por debajo de 2 dB. Cuente la cantidad de espacios horizontales de movimiento, reste uno y multiplique el resto por seis. Este valor de dB es el rango aceptable de la unidad.
- Para establecer el rango aceptable gráficamente, se debe usar el Formulario L-8 en conjunto con el Formulario L-9 de la siguiente manera:
 - Aplique los valores colectivos del error de dB "e" verticalmente en la desviación horizontal que coincide con los valores de lectura de dB "a".
 - Establezca una línea curva que pase a través de esta serie de puntos.
 - Aplique un margen horizontal alto de 2 dB sobre esta curva posicionado verticalmente de modo que la sección más larga quede completamente incluida dentro de la altura del error de 2 dB.
 - Esta longitud representa el rango de dB aceptable de la unidad.

FILA	NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	Lectura de dB	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78
b	Altura de la pantalla	69	75	75	77	77	77	77	78	77	78	79	80	81
c	Lectura corregida	7,1	12,3	18,3	24,1	30,1	36,1	42,1	48,0	54,1	60,0	65,9	71,8	77,7
d	Error de dB	-1,1	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	+0,1	+0,2	+0,3
e	Error de dB colectivo	-2,2	-1,1	-0,8	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	+0,1	+0,3	+0,6

Precisión requerida: El rango mínimo admisible es 60 dB.

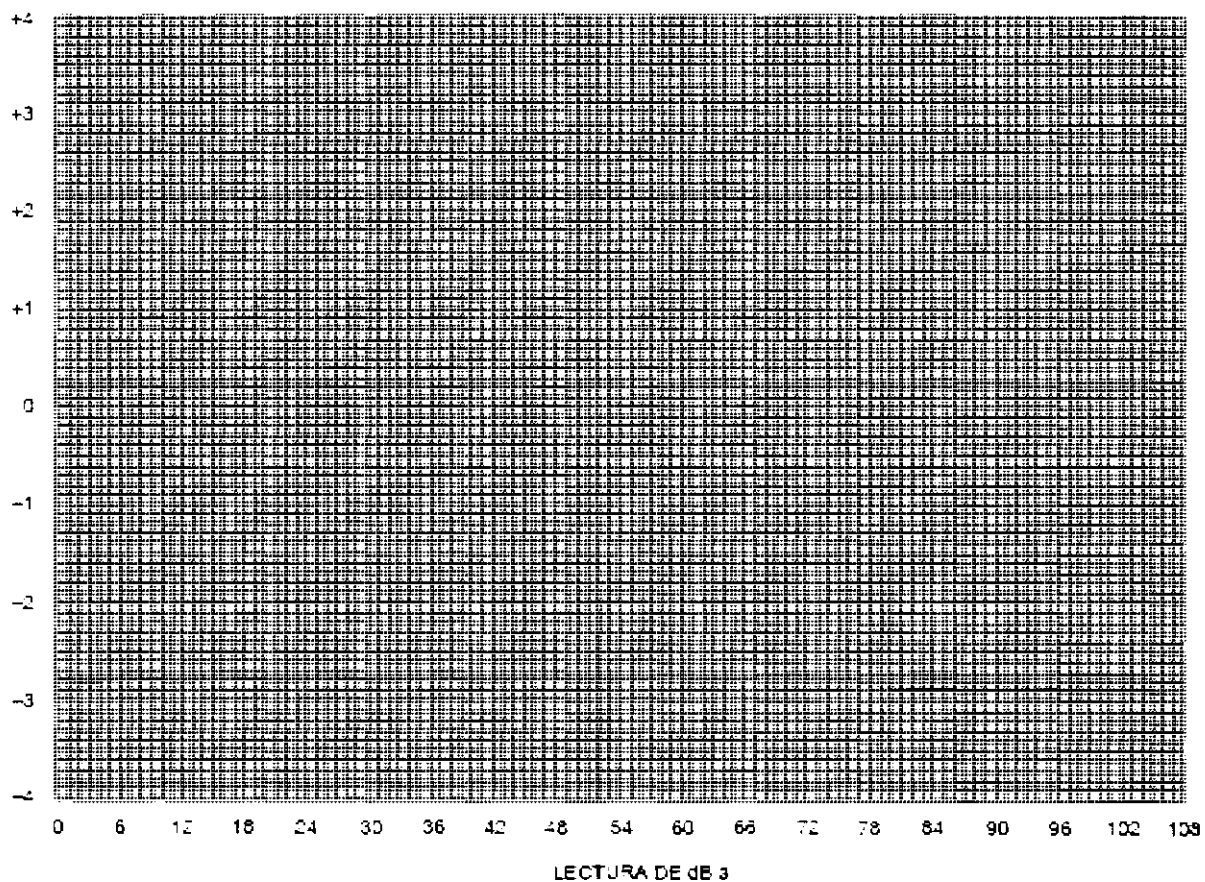
%₂ (promedio) _____ %

El equipo es: Aceptable para usar _____ No aceptable para usar _____ Fecha límite de la recalibración _____

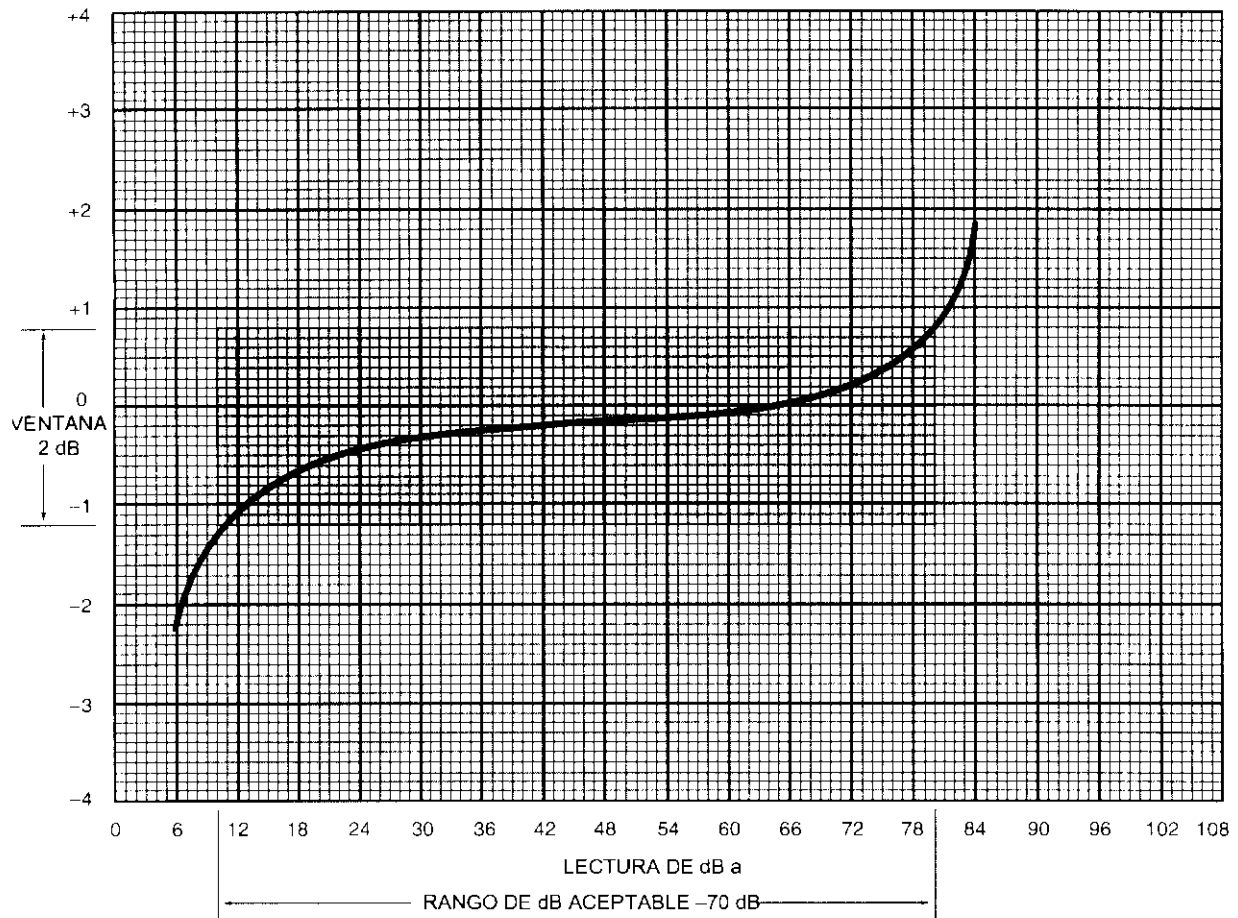
Rango calificado total _____ dB a _____ dB = _____ dB Error total _____ dB (Del cuadro de arriba)

Rango calificado total _____ dB a _____ dB = _____ dB Error total _____ dB (Del Formulario L-9)

Calibrado por _____ Nivel _____ Ubicación _____

Evaluación de la precisión de dBERROR COLECTIVO e DE dB

Evaluación de la precisión de dB—AWS

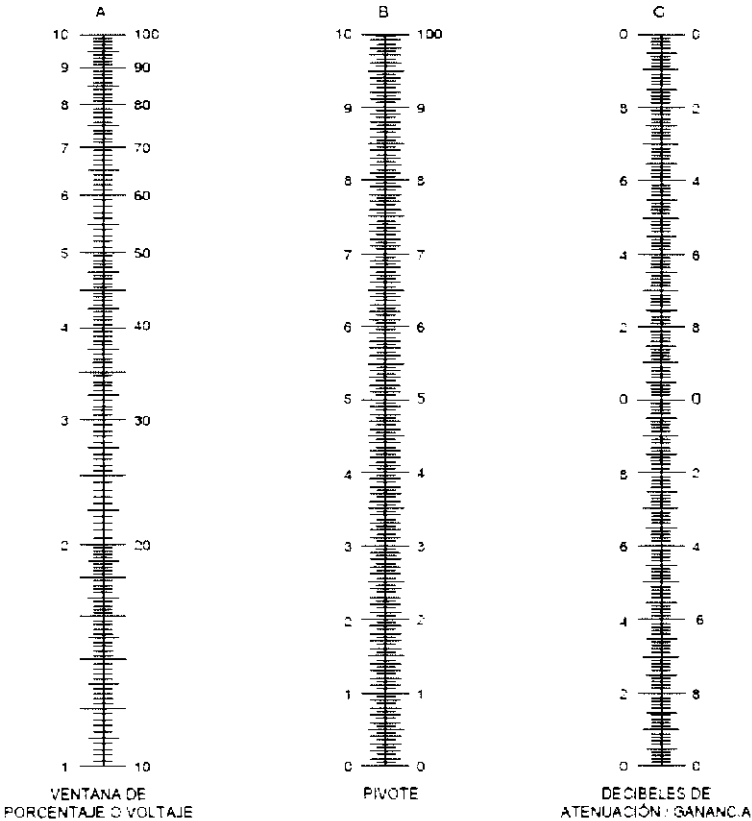
ERROR COLECTIVO e DE dB

LA CURVA EN EL FORMULARIO L-9 SE DERIVA DE LOS CÁLCULOS DEL FORMULARIO L-8.
 EL ÁREA SOMBREADA EN LA GRÁFICA ANTERIOR MUESTRA EL ÁREA SOBRE LA CUAL LA UNIDAD DE EJEMPLO CALIFICA
 PARA ESTE CÓDIGO

Nota: La primera línea de ejemplo del uso del Formulario L-8 se muestra en este ejemplo.

Formulario L-9

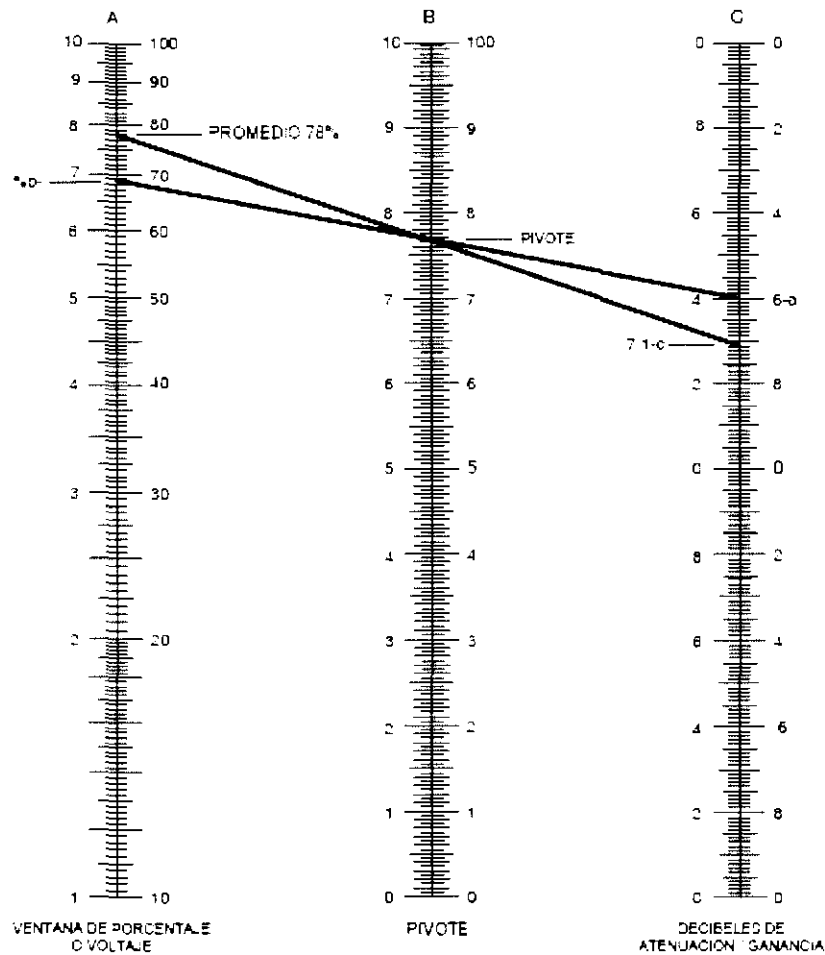
Nomograma de valores de decibeles (atenuación o ganancia)



Nota: véase 6.28.2.3 para obtener instrucciones sobre el uso de este nomograma.

Nomograma de valores de decibeles (atenuación o ganancia)—AWS

EL USO DEL NOMOGRAMA EN LA RESOLUCIÓN DE LA NOTA 3 ES TAL COMO SE MUESTRA EN EL SIGUIENTE EJEMPLO:



Procedimiento para usar el nomograma:

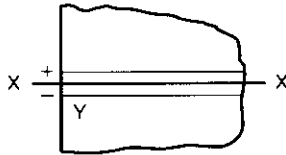
- Extienda una línea recta entre la lectura de decibeles de la fila "a" aplicada a la escala C y el porcentaje correspondiente de la fila "b" aplicado a la escala A.
- Use el punto donde la línea recta de arriba cruza la línea pivote B como una línea pivote para una segunda línea recta.
- Extienda una segunda línea recta desde el punto de signo promedio en la escala A a través del punto pivote desarrollado arriba y en la escala C de dB.
- Este punto en la escala C indica el dB corregido para uso en la fila "c."

Notas:

1. La lectura de 6 dB y la escala de 69% provienen de la lectura del instrumento y se convierten en dB₁ "b" y %₁ "c", respectivamente.
2. %₂ es 78 – constante.
3. dB₂ (que es dB "d" corregido) equivale a 20 veces el registro X $(78/69) + 6$ o 7,1.

Informe de UT de soldaduras

Proyecto _____ N.º de informe _____



Identificación de soldadura _____
 Espesor del material _____
 Junta de soldadura AWS _____
 Proceso de soldadura _____
 Requisitos de calidad—N.º de sección _____
 Comentarios _____

Número de línea	Número de indicación	Ángulo de transductor	Desde la cara	Pie ^a	Decibeles				Discontinuidad				Evaluación de discontinuidad	Comentarios	
					Nivel de indicación	Nivel de referencia	Factor de atenuación	Clasificación de indicación	Longitud	Distancia angular (trayectoria del sonido)	Profundidad desde superficie "A"	Distancia			
												Desde X			Desde Y
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 6, Parte F de AWS D1.1/D1.1M, (_____) Código de soldadura estructural—Acero.
 (año)

Fecha del ensayo _____

Inspeccionada por _____

Nota: Este formulario es aplicable a la Sección 2, Partes B o C (estructuras no tubulares cargadas estáticamente o cíclicamente). **NO** use este formulario para estructuras tubulares (Sección 9, Parte A).

Fabricante o contratista _____

Autorizado por _____

Fecha _____

^a Use pie I, II o III (véase Anexo J para obtener la definición de Pie).

Notas:

1. Para lograr la clasificación “d”
 - a. Con instrumentos con control de ganancia, use la fórmula $a - b - c = d$.
 - b. Con instrumentos con control de ganancia, use la fórmula $b - a - c = d$.
 - c. Un signo de más o menos debe acompañar la cifra “d”, a menos que “d” equivalga a cero.
2. La distancia desde X se usa para describir la ubicación de una discontinuidad de soldadura en una dirección perpendicular a la línea de referencia de soldadura. A menos que la cifra sea cero, debe acompañarla un signo más o menos.
3. La distancia desde Y se usa para describir la ubicación de una discontinuidad de soldadura en una dirección paralela a la línea de referencia de soldadura. Esta cifra se obtiene midiendo la distancia desde el extremo “Y” de la soldadura hasta el principio de dicha discontinuidad.
4. La evaluación de áreas de soldadura reparadas y vueltas a ensayar debe estar tabulada en una nueva línea del formulario de informe. Si se utiliza el formulario original del informe, el número de indicación debe estar precedido por R_n. Si se utilizan formularios adicionales, el número de R debe preceder el número del informe.

Anexo M (Informativo)

Ejemplos de formularios de soldadura

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

Este anexo contiene ejemplos de formularios para el registro de datos de ensayos de calificación del procedimiento de información de la WPS, resultados del ensayo de calificación, calificación del soldador, calificación del operario de soldadura y datos de la calificación del soldador de punteado que exige este código. También se incluyen formularios de informes de laboratorio para registrar los resultados de NDT de soldaduras.

Se recomienda que la calificación y la información de NDT que exige este código se registren en estos formularios o formularios similares que haya preparado el usuario. Se permiten variaciones de estos formularios para adaptarse a las necesidades del usuario.

M1. Uso de los formularios

Para detalles de las juntas en la WPS, se puede usar un bosquejo o una referencia al detalle de la junta precalificada aplicable (por ej., B-U4a).

Los formularios WPS contienen líneas para incluir información que puede que el código no exija; no es necesario completar estas líneas para cumplir con los requisitos del código.

M2. WPS precalificadas

M2 es suficiente para documentar WPS precalificadas.

M3. Ejemplos de formularios

Se incluyeron ejemplos de WPS completadas y un PQR para fines informativos. Se proporcionan formularios separados para WPS y PQR para los procesos de soldadura

categorias GTAW/SMAW, GMAW/FCAW y SAW. Los nombres son ficticios y los datos de los ensayos proporcionados no corresponden a ningún ensayo real y no deben utilizarse. El comité cree que estos ejemplos ayudarán a los usuarios del código para producir documentación aceptable.

M4. WPS calificadas por ensayos

La WPS puede ser calificada mediante ensayos en conformidad con las disposiciones de la Sección 4. En este caso, se requiere un PQR de respaldo además de la WPS. Para la WPS, especifique los rangos permitidos calificados mediante ensayos o especifique las tolerancias apropiadas en la variable esencial (por ej., 250 amperios $\pm$ 10%).

Para el PQR, se deben registrar los detalles reales de la junta y los valores de las variables esenciales que se utilizaron en los ensayos. Se proporciona un ejemplo de un formulario PQR completado, a modo de orientación para completar el formulario. Se debe adjuntar una copia del Informe de Prueba en Fábrica (MTR) para el material sometido a ensayos. También se deben incluir Informes de datos de laboratorio de los ensayos como información de respaldo o se puede utilizar un Formulario de resultados del ensayo PQR similar al ejemplo que figura en este anexo. Se proporcionan en el formulario referencias cruzadas a los ensayos mecánicos requeridos correspondientes a la WPS que se va a calificar, a modo de referencia. Tenga en cuenta que no todos los ensayos mencionados son requeridos.

Índice de formularios

Formulario N.º	Título	Página N.º
M-1	Formularios de registro de calificación del procedimiento (PQR)	389
M-2	Formularios de especificación del procedimiento de soldadura (WPS)	395
M-3	Registro de ensayos de calificación de la WPS para soldadura de electroescoria y por electrogás	400
M-4	Formularios de registro de ensayos para calificación de desempeño de soldadores, operarios de soldadura o soldadores de punteado (proceso único)	401
M-5	Formularios de registro de ensayos para calificación de desempeño de soldadores, operarios de soldadura o soldadores de punteado (proceso múltiple)	403
M-6	Informe de inspección radiográfica de soldaduras	405
M-7	Informe de ensayo de partícula magnética de soldaduras	406
M-8	Formulario de ensayo de calificación de aplicación de soldadura de pernos, ensayo de preproducción, PQR o WQR	407

Ejemplo de formulario PQR en blanco (GTAW y SMAW – página 1)
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Nombre de la compañía _____

N.º de PQR _____

N.º de rev. _____

Fecha _____

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Espesor	Tamaño (NPS)	Programa	Diámetro
Material base							
Soldado a							
Material de respaldo							
Otro							

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Angulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)

PROCEDIMIENTO								
Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso								
Tipo (<i>manual, mecanizado, etc.</i>)								
Posición								
Progresión vertical								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Diámetro								
Fabricante/nombre comercial								
Composición del gas de protección (GTAW)								
Caudal (GTAW)								
Tamaño de la boquilla (GTAW)								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—
Diámetro del electrodo (GTAW)								
Polaridad y tipo de corriente								
Amperios								
Voltios								
Alimentador de alambre frío o caliente (GTAW)								
Velocidad de avance								
Entrada de calor máxima								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Oscilación (GTAW mec./auto.)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

Formulario M-1 (frente)

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo de formulario PQR en blanco (GMAW y FCAW – página 1)
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Nombre de la compañía

N.º de PQR

N.º de rev.

Fecha

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Espesor	Tamaño (NPS)	Programa	Diámetro
Material base							
Soldado a							
Material de respaldo							
Otro							

DETALLES DE LA JUNTA

Tipo de ranura	
Angulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA

Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)
PROCEDIMIENTO

Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso								
Tipo (<i>semiautomático, mecanizado, etc.</i>)								
Posición								
Progresión vertical								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Diámetro								
Fabricante/nombre comercial								
Composición del gas de protección								
Caudal								
Tamaño de la boquilla								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—
Polaridad y tipo de corriente								
Modo de transferencia (GMAW)								
Tipo de fuente de alimentación (<i>cc, cv, etc.</i>)								
Amperios								
Voltios								
Velocidad de alimentador de alambre								
Velocidad de avance								
Entrada de calor máxima								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Oscilación (<i>mecanizada/automática</i>)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Número de electrodos								
Dist. del tubo de contacto al trabajo								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

Formulario M-1 (frente)

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo del formulario PQR en blanco (SAW – página 1)
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Nombre de la compañía

N.º de PQR

N.º de rev.

Fecha

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Espesor	Tamaño (NPS)	Programa	Diámetro
Material base							
Soldado a							
Material de respaldo							
Otro							

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Ángulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)

PROCEDIMIENTO								
Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso	SAW							
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)								
Posición								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Diámetro del electrodo								
Clasificación del fundente/electrodo								
Fabricante/nombre comercial								
Metal de aporte complementario								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—
Polaridad y tipo de corriente								
Amperios								
Voltios								
Velocidad de alimentador de alambre								
Velocidad de avance								
Entrada de calor máxima								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Número de electrodos								
Espaciamiento longitudinal de los arcos								
Espaciamiento lateral de los arcos								
Ángulo de electrodos paralelos								
Ángulo de electrodo (mec./auto.)								
Normal a dirección de avance								
Oscilación (mecanizada/automática)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

Formulario M-1 (frente)

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

N.º de POR

N.º de rev.

✓	Tipo de ensayos	Referencia de cláusula(s)/figura(s)	Criterios de aceptación	Resultado	Comentarios
	Inspección visual	4.9.1	4.9.1		
	Inspección radiográfica	4.9.2.1	4.9.2.2		
	Prueba ultrasónica	4.9.2.1	4.9.2.2		
	2 Doblados de raíz transversales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Doblados de cara transversales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Doblados de raíz longitudinales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Doblados de cara longitudinales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Doblados laterales	4.9.3.1/Fig. 4.9	4.9.3.3		
	4 Doblados laterales	4.9.3.1/Fig. 4.9	4.9.3.3		
	2 Ensayos de tracción	4.9.3.4/Fig. 4.10	4.9.3.5		
	Tracciones en metales completamente soldados	4.9.3.6/Figs. 4.14 y 4.18	4.14.1.3(b)		
	3 Macroataque	4.9.4	4.9.4.1		
	4 Macroataque	4.9.4	4.9.4.1		
	Ensayos CVN	4 Parte D/Fig. 4.28	4.30 y tabla 4.14		

Número de probeta	Ancho	Espesor	Área	Máxima carga de tracción	Máximo esfuerzo de la unidad	Tipo de falla y ubicación

Número de probeta	Ubicación de la entalla	Tamaño de la probeta	Temperatura del ensayo	Energía absorbida	Porcentaje de cizallamiento	Expansión lateral	Promedio

Nombre del soldador	Número de ID	Número de sello	Ensayos realizados por
			Laboratorio
			Número de ensayo
			Número de archivo

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M, () Código de soldadura estructural Acero.

Titulo	
Nombre	Firma
Fecha	

Formulario M-1 (reverso)

(véase <http://go.aws.org/DIforms>)

Ejemplo de PQR (GMAW y FCAW – página 1)
REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Red Inc.

Nombre de la compañía

231

N.º de PQR

0

N.º de rev.

01/18/2015

Fecha

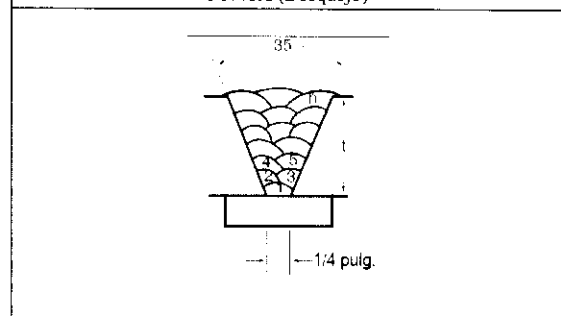
METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Espesor	Tamaño (NPS)	Programa	Diámetro
Material base	ASTM A131	A	I	1 pulgada	—	—	—
Soldado a	ASTM A131	A	I	1 pulgada	—	—	—
Material de respaldo	ASTM A131	A	I	1/4 pulgada	—	—	—
Otro							

DETALLES DE LA JUNTA

Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de la ranura	35° incluido
Abertura de la raíz	1/4 pulgada
Cara de la raíz	—
Ranurado del lado opuesto	Ninguno
Método	—

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA

Temperatura	—
Tiempo de la temperatura	—
Otro	—

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)**PROCEDIMIENTO**

Capa(s) de soldadura	—	—	—	—	—			
Pasada(s) de soldadura	I	2-8	9-11	12-15	16			
Proceso	FCAW	FCAW	FCAW	FCAW	FCAW			
Tipo (semiautomático, mecanizada, etc.)	Semi-automático	Semi-automático	Semi-automático	Semi-automático	Semi-automático			
Posición	4G	4G	4G	4G	4G			
Progresión vertical	—	—	—	—	—			
Metal de aporte (espec. de AWS)	A5.20	A5.20	A5.20	A5.20	A5.20			
Clasificación de AWS	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C	E71T-1C			
Diámetro	0,045 pulgadas	0,045 pulgadas	0,045 pulgadas	0,045 pulgadas	0,045 pulgadas			
Fabricante/nombre comercial	—	—	—	—	—			
Composición del gas de protección	100% CO₂	100% CO₂	100% CO₂	100% CO₂	100% CO₂			
Caudal	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh	45-55 cfh			
Tamaño de la boquilla	#4	#4	#4	#4	#4			
Temperatura de precalentamiento	75° mín.	75° mín.	75° mín.	75° mín.	75° mín.			
Temperatura entre pasadas	75°-350°	75°-350°	75°-350°	75°-350°	75°-350°			
Características eléctricas								
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP	DCEP			
Modo de transferencia (GMAW)	—	—	—	—	—			
Tipo de fuente de alimentación (cc, cv, etc.)	—	—	—	—	—			
Amperios	180	200	200	200	200			
Voltios	26	27	27	27	27			
Velocidad de alimentador de alambre (Amperios)	(Amperios)	(Amperios)	(Amperios)	(Amperios)	(Amperios)			
Velocidad de avance	8 ipm	10 ipm	11 ipm	9 ipm	11 ipm			
Entrada de calor máxima	—	—	—	—	—			
Técnica								
cordón recto o cordón oscilado u ondulado	Recto	Recto	Recto	Recto	Recto			
Pasada múltiple o única (por lado)	Pasada múltiple	Pasada múltiple	Pasada múltiple	Pasada múltiple	Pasada múltiple			
Oscilación (mecanizada/automática)	—	—	—	—	—			
Número de electrodos	1	1	1	1	1			
Dist. del tubo de contacto al trabajo	3/4-1 pulgada	3/4-1 pulgada	3/4-1 pulgada	3/4-1 pulgada	3/4-1 pulgada			
Martillado	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno			
Limpieza entre pasadas	Cepillo de alambre	Cepillo de alambre	Cepillo de alambre	Cepillo de alambre	Cepillo de alambre			
Otro								

Formulario M-1 (frente)

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo de PQR (GMAW y FCAW – página 2)

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

231 0
N.º de PQR N.º de rev.

ENSAYOS

✓	Tipo de ensayos	Referencia de cláusula(s)/figura(s)	Criterios de aceptación	Resultado	Comentarios
✓	Inspección visual	4.9.1	4.9.1	Aceptable	
✓	Inspección radiográfica	4.9.2.1	4.9.2.2	Aceptable	
	Prueba ultrasónica	4.9.2.1	4.9.2.2		
	2 Dobladados de raíz transversales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Dobladados de cara transversales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Dobladados de raíz longitudinales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Dobladados de cara longitudinales	4.9.3.1/Fig. 4.8	4.9.3.3		
	2 Dobladados laterales	4.9.3.1/Fig. 4.9	4.9.3.3		
✓	4 Dobladados laterales	4.9.3.1/Fig. 4.9	4.9.3.3	Aceptable	Abertura de < 1/16"
✓	2 Ensayos de tracción	4.9.3.1/Fig. 4.10	4.9.3.5	Aceptable	
✓	Tracciones en metales completamente soldados	4.9.3.1/Figs. 4.14 y 4.18	4.14.1.3(b)	Aceptable	*véase nota
	3 Macroataque	4.9.4	4.9.4.1		
	4 Macroataque	4.9.4	4.9.4.1		
✓	Ensayos CVN	4 Parte D/Fig 4.28	4.30 y tabla 4.14		

Notas: *Tracciones en metales completamente soldados: T/Y: 83 100/72 600 psi, alargamiento en 2": 28%, ensayo de laboratorio n.º PW 231

DETALLES DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

Número de probeta	Ancho	Espesor	Área	Máxima carga de tracción	Máximo esfuerzo de la unidad	Tipo de falla y ubicación
231-1	0,75 pulgadas	100 pulgadas	0,75 pulgadas ²	52 500 lb	70 000 psi	Metal dúctil/para soldadura
231-2	0,75 pulgadas	100 pulgadas	0,75 pulgadas ²	52 275 lb	69 700 psi	Metal dúctil/para soldadura

DETALLES DE LOS ENSAYOS DE TENACIDAD

Número de probeta	Ubicación de la entalla	tamaño de la probeta	Temperatura del ensayo	Energía absorbida	Porcentaje de cizallamiento	Expansión lateral	Promedio
231-7	BM	10 × 10 mm	-20 °F	126 ft-lbf	50%	45 mils	125/50/45
231-8	BM	10 × 10 mm	-20 °F	124 ft-lbf	50%	45 mils	
231-9	BM	10 × 10 mm	-20 °F	125 ft-lbf	50%	45 mils	
231-10	HAZ	10 × 10 mm	-20 °F	86 ft-lbf	50%	45 mils	85 ft-lbf 50% 45 mils
231-11	HAZ	10 × 10 mm	-20 °F	84 ft-lbf	50%	45 mils	
231-12	HAZ	10 × 10 mm	-20 °F	85 ft-lbf	50%	45 mils	
231-13	WM	10 × 10 mm	-20 °F	27 ft-lbf	50%	45 mils	28 ft-lbf 50% 45 mils
231-14	WM	10 × 10 mm	-20 °F	29 ft-lbf	50%	45 mils	
231-14	WM	10 × 10 mm	-20 °F	28 ft-lbf	50%	45 mils	

CERTIFICACIÓN

Nombre del soldador	Número de ID	Número de sello	Ensayos realizados por
W. T. Williams	261	—	Laboratorio
			Red Inc. y ABC Testing
			Número de ensayo
			PQR 231 (de acuerdo con D. Miller)
			Número de archivo
			WeldingForms/PQR231.pdf

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M, () Código de soldadura estructural—Acero.

(año)

Formulario M-1 (reverso)

Título	
Gerente de control de calidad	
Nombre	Firma
R. M. Boncrack	
Fecha	
12/15/2015	

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo de formulario WPS en blanco (GTAW y SMAW)
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía

N.º de WPS

N.º de rev.

Fecha

Autorizado por _____

Fecha

PQR(s) de respaldo

Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo
Material base			
Soldado a			
Material de respaldo			
Otro			

ESPOSOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP		
Ranura CJP c/CVN		
Soldaduras en ranura con PJP		
Soldaduras en filete		
DIAMETRO		

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Ángulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)	

PROCEDIMIENTO								
Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso								
Tipo (<i>manual, mecanizado, etc.</i>)								
Posición								
Progresión vertical								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Díámetro								
Fabricante/nombre comercial								
Composición del gas de protección (GTAW)								
Caudal (GTAW)								
Tamaño de la boquilla (GTAW)								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—
Díámetro del electrodo (GTAW)								
Polaridad y tipo de corriente								
Amperios								
Voltios								
Alimentador de alambre frío o caliente (GTAW)								
Velocidad de avance								
Entrada de calor máxima								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Oscilación (GTAW mec./auto.)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

Formulario M-2

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Nombre de la compañía		N.º de WPS	N.º de rev.	Fecha
Autorizado por	Fecha	POR(s) de respaldo	Informe: CVN	

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo
Material base			
Soldado a			
Material de respaldo			
Otro			

ESPOSOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP		
Ranura CJP c/CVN		
Soldaduras en ranura con PJP		
Soldaduras en filete		
DIAMETRO		

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Angulo de la ranura	
Abertura de la raiz	
Cara de la raiz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)	

PROCEDIMIENTO									
Capa(s) de soldadura									
Pasada(s) de soldadura									
Proceso									
Tipo (<i>semiautomático, mecanizado, etc.</i>)									
Posición									
Progresión vertical									
Metal de aporte (espec. de AWS)									
Clasificación de AWS									
Diámetro									
Fabricante/nombre comercial									
Gas de protección (composición)									
Caudal									
Tamaño de la boquilla									
Temperatura de precalentamiento									
Temperatura entre pasadas									
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Polaridad y tipo de corriente									
Modo de transferencia									
Tipo de fuente de alimentación (<i>cc, cv, etc.</i>)									
Amperios									
Voltios									
Velocidad de alimentador de alambre									
Velocidad de avance									
Entrada de calor máxima									
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado									
Pasada múltiple o única (por lado)									
Oscilación (<i>mecanizada automática</i>)									
Longitud transversal									
Velocidad transversal									
Tiempo de permanencia									
Número de electrodos									
Distancia del tubo de contacto al trabajo									
Martillado									
Limpieza entre pasadas									
Otro									

Ejemplo del formulario WPS en blanco (SAW)
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la compañía

N.º de WPS

N.º de rev.

Fecha

Autorizado por _____

Fecha

PQR(s) de respaldo

Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo
Material base			
Soldado a			
Material de respaldo			
Otro			

ESPOSOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP		
Ranura CJP c/CVN		
Soldaduras en ranura con PJP		
Soldaduras en filete		
DIAMETRO		

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	
Angulo de la ranura	
Abertura de la raíz	
Cara de la raíz	
Ranurado del lado opuesto	
Método	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	
Tiempo de la temperatura	
Otro	

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)	

PROCEDIMIENTO								
Capa(s) de soldadura								
Pasada(s) de soldadura								
Proceso	SAW							
Tipo (<i>semiautomático, mecanizado, etc.</i>)								
Posición								
Metal de aporte (espec. de AWS)								
Clasificación de AWS								
Diámetro del electrodo								
Clasificación del fundente/electrodo								
Fabricante/nombre comercial								
Metal de aporte complementario								
Temperatura de precalentamiento								
Temperatura entre pasadas								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—
Polaridad y tipo de corriente								
Amperios								
Voltios								
Velocidad de alimentador de alambre								
Velocidad de avance								
Entrada de calor máxima								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado								
Pasada múltiple o única (por lado)								
Número de electrodos								
Espaciamiento longitudinal de los arcos								
Espaciamiento lateral de los arcos								
Angulo de electrodos paralelos								
Angulo de electrodo (mec./auto.)								
Normal a dirección de avance								
Oscilación (<i>mecanizada automática</i>)								
Longitud transversal								
Velocidad transversal								
Tiempo de permanencia								
Martillado								
Limpieza entre pasadas								
Otro								

Formulario M-2

(véase <http://go.aws.org/DIforms>)

Ejemplo de WPS (precalificada)
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

LECO

Nombre de la compañía

C. W. Hayes

Autorizado por

01/03/2015

Fecha

W2081

N.º de WPS

Ninguno (precalificado)

PQR(s) de respaldo

2

N.º de rev.

01/03/2015

Fecha

N.º

Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo
Material base	ASTM A36	—	II
Soldado a	ASTM A36	—	II
Material de respaldo	ASTM A36	—	—
Otro			

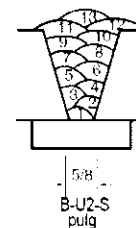
ESPESOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP	> 3/4-2,5 pulgadas	—
Ranura CJP c/CVN	—	—
Soldaduras en ranura con PJP	—	—
Soldaduras en filete	—	—
DIÁMETRO	—	—

DETALLES DE LA JUNTA

Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de la ranura	20°
Abertura de la raíz	5/8 pulgada
Cara de la raíz	—
Ranurado del lado opuesto	Ninguno
Método	—

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA

Temperatura	N.C.
Tiempo de la temperatura	—
Otro	—

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)**PROCEDIMIENTO**

Capa(s) de soldadura	Todo								
Pasada(s) de soldadura	Todo								
Proceso	SAW								
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)	Mecanizado								
Posición	F								
Metal de aporte (espec. de AWS)	A5.17								
Clasificación de AWS	EM12K								
Diámetro del electrodo	5/32 pulgada								
Clasificación del fundente/electrodo	F7A2-EM12K								
Fabricante/nombre comercial	(Flux XYZ)								
Metal de aporte complementario	—								
Temperatura de precalentamiento	150 °F mín.								
Temperatura entre pasadas	500 °F máx.								
Características eléctricas	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Polaridad y tipo de corriente	DCEP								
Amperios	500-600								
Voltios	26-30								
Velocidad de alimentador de alambre	—								
Velocidad de avance	20-25 ipm								
Entrada de calor máxima	—								
Técnica	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado	Recto								
Pasada múltiple o única (por lado)	Pasada múltiple								
Número de electrodos	1								
Espaciamiento longitudinal de los arcos	—								
Espaciamiento lateral de los arcos	—								
Angulo de electrodos paralelos	—								
Angulo de electrodo (mec./auto.)	5° ± 2°								
Normal a dirección de avance	90° ± 2°								
Oscilación (mecanizada/automática)	Ninguno								
Longitud transversal	—								
Velocidad transversal	—								
Tiempo de permanencia	—								
Martillado	Ninguno								
Limpieza entre pasadas	Escoria removida								
Otro	—								

Formulario M-2

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo de WPS (proceso único)
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

RED Inc.

Nombre de la compañía

J. Jones

Autorizado por

12/01/2015

Fecha

2010

N.º de WPS

231

PQR(s) de respaldo

0

N.º de rev.

12/01/2015

Fecha

N.º

Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo
Material base	ASTM A131	A	I
Soldado a	ASTM A131	A	I
Material de respaldo	ASTM A131	A	I
Otro			

ESPESOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP	3/4-1-1/2 pulgadas	—
Ranura CJP c/CVN	—	—
Soldaduras en ranura con PJP	—	—
Soldaduras en filete	—	—
DIAMETRO	—	—

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de la ranura	35° incluido
Abertura de la raíz	1/4 pulgada
Cara de la raíz	—
Ranurado del lado opuesto	Ninguno
Método	—

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	—
Otro	—

PROCEDIMIENTO	
Capa(s) de soldadura	Todo
Pasada(s) de soldadura	Todo
Proceso	FCAW
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)	Semiautomático
Posición	OH
Progresión vertical	—
Metal de aporte (espec. de AWS)	A5.20
Clasificación de AWS	E71T-1C
Diámetro	0,045 pulgadas
Fabricante/nombre comercial	—
Gas de protección (composición)	100% CO ₂
Caudal	45-55 cfh
Tamaño de la boquilla	#4
Temperatura de precalentamiento	60° min.
Temperatura entre pasadas	60°-350°
Características eléctricas	—
Polaridad y tipo de corriente	DCEP
Modo de transferencia	—
Tipo de fuente de alimentación (cc, cv, etc.)	CV
Amperios	180-220
Voltios	25-26
Velocidad de alimentador de alambre	(Amperios)
Velocidad de avance	8-12 ipm
Entrada de calor máxima	—
Técnica	—
cordón recto o cordón oscilado u ondulado	Recto
Pasada múltiple o única (por lado)	Pasada múltiple
Oscilación (mecanizada, automática)	—
Número de electrodos	1
Dist. del tubo de contacto al trabajo	1/2-1 pulgadas
Martillado	Ninguno
Limpieza entre pasadas	Cepillo de alambre
Otro	—

Formulario M-2

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE LA WPS PARA SOLDADURA DE ELECTROESCORIA Y POR ELECTROGAS

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Especificación de material _____
 Proceso de soldadura _____
 Posición de soldadura _____
 Especificación de metal de aporte _____
 Clasificación de metal de aporte _____
 Metal de aporte _____
 Fundente _____
 Gas de protección _____ Caudal _____
 Punto de rocío del gas _____
 Rango de espesor que califica para este ensayo _____
 Pasada única o múltiple _____
 Arco único o múltiple _____
 Corriente de la soldadura _____
 Temperatura de precalentamiento _____
 Temperatura de postcalentamiento _____
 Nombre del soldador _____
 Flex. del tubo de guía _____
 Composición del tubo de guía _____
 Diámetro del tubo de guía _____
 Velocidad de elevación vertical _____
 Longitud transversal _____
 Velocidad transversal _____
 Permanencia _____
 Tipo de moldura de zócalo _____

INSPECCIÓN VISUAL (Tabla 6.1, Limitaciones cargadas cíclicamente)

Apariencia _____
 Socavación _____
 Porosidad de la tubería _____
 Fecha del ensayo _____
 Presenciado por _____

RESULTADOS DEL ENSAYO

Ensayo de tracción en sección reducida

Resistencia a la tracción, psi

1. _____
2. _____

Ensayo de tracción de metal completamente soldado

Resistencia a la tracción, psi _____

Resistencia/punto elástico psi _____

Alargamiento en 2 pulgadas, % _____

Ensayos de doblado lateral

1. _____ 3. _____
2. _____ 4. _____

Inspección ultrasónica radiográfica

N.º de informe RT _____

N.º de informe UT _____

Ensayos de impacto

Tamaño de probeta _____ Temp. de ensayo _____

ft-lbf: 1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____ Prom. _____

Alto _____ Bajo _____

N.º de ensayo de laboratorio _____

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pasada N.º	Tamaño del electrodo	Corriente de la soldadura		Detalle de la junta
		Amperios	Voltios	

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M. (_____) Código de soldadura estructural--Acero..

(año)

N.º de procedimiento _____

Fabricante o contratista _____

N.º de revisión _____

Autorizado por _____

Formulario M-3

Fecha _____

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Ejemplo de formulario en blanco de calificación de soldador (proceso único)
REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO
DE SOLDADORES, OPERARIOS DE SOLDADURA O SOLDADORES POR PUNTOS

Nombre			Fecha del ensayo		Rev.
Número de ID			N.º de registro		
N.º de sello			N.º de ensayo est.		
Compañía			N.º de WPS		
División			Calificado para		

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Tamaño (NPS)	Programa	Espesor	Diámetro
Material base							
Soldado a							

VARIABLES	Valores reales	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldadura		
Metal base		

	Ranura	Filete	Ranura	Filete
Espesor de la placa				
Espesor de la tubería/tubo				
Diámetro de la tubería				

Proceso de soldadura		
Tipo (<i>manual, semiautomático, mecanizado, automático</i>)		
Respaldo		
Metal de aporte (espec. de AWS)		
Clasificación de AWS		
F-Número		
Posición		
Ranura – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas		
Ranura – Tubería < 24 pulgadas		
Filete – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas		
Filete – Tubería < 24 pulgadas		
Progresión		
Modo de transferencia GMAW		
Electrodos únicos o múltiples		
Tipo de gas/fundente		

RESULTADOS DEL ENSAYO

Tipo de ensayo	Criterios de aceptación	Resultados	Comentarios

CERTIFICACIÓN

Ensayo realizado por	
Laboratorio	
Número de ensayo	
Número de archivo	

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M () *Código de soldadura estructural – Acero..*
 (año)

Fabricante o contratista _____

Autorizado por _____

Fecha _____

Ejemplo de calificación del soldador (proceso único)
REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO
DE SOLDADORES, OPERARIOS DE SOLDADURA O SOLDADORES POR PUNTOS

Nombre	Z. W. Elder	Fecha del ensayo	12/12/2015	Rev.
Número de ID	00-001-ZWE	N.º de registro	WPQ-001	0
N.º de sello	ZWE-1	N.º de ensayo est.	ST-001	0
Compañía	RED Inc.	N.º de WPS	WPS-001	0
División	—	Calificado para	AWS D1.1	

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Tamaño (NPS)	Programa	Espesor	Diámetro
Material base	ASTM A36	UNS K02600	I	—	—	3/8 pulgada	—
Soldado a	ASTM A36	UNS K02600	I	—	—	3/8 pulgada	—

VARIABLES	Valores reales	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldadura	Placa – Ranura (Fig. 4.31) con respaldo	Soldaduras en ranura, filete, tapón y en ranura (Ranura con PJP en T-, Y- y K- solamente)
Metal base	Grupo I a grupo I	Cualquier metal base calificado AWS D1.1

	Ranura	Filete	Ranura	Filete
Espesor de la placa	3/8 pulgada	—	1/8 pulgada – 3/4 pulgada	1/8 pulgada mín.
Espesor de la tubería/tubo	—	—	1/8 pulgada – 3/4 pulgada	Ilimitado
Diámetro de la tubería	—	—	24 pulgadas mín.	Ilimitado

Proceso de soldadura	GMAW	GMAW
Tipo (<i>manual, semiautomático, mecanizado, automático</i>)	Semiautomático	Semiautomático, mecanizado, automático
Respaldo	Con	Con (incluido ranurado del lado opuesto y soldadura de respaldo)
Metal de aporte (espec. de AWS)	A5.18	A5.xx
Clasificación de AWS	ER70S-6	Todo
F-Número	—	—
Posición	2G, 3G y 4G	
Ranura – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas		Todo
Ranura – Tubería < 24 pulgadas		—
Filete – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas		Todo
Filete – Tubería < 24 pulgadas		Todo
Progresión	Vertical hacia arriba	Vertical hacia arriba
Modo de transferencia GMAW	Globular	Rociado, pulsado, globular
Electrodos únicos o múltiples	Único	Único
Tipo de gas/fundente	A5.32 SG-C	A5.xx aprobado

RESULTADOS DEL ENSAYO

Tipo de ensayo	Criterios de aceptación	Resultados	Comentarios
Inspección visual según 4.9.1	4.9.1	Aceptable	—
Cada posición: 1 Doblado de raíz según 4.8.3.1 y Fig. 4.8	4.9.3.3	Aceptable	—
Cada posición: 1 doblado de cara según 4.9.3.1 y Fig. 4.8	4.9.3.3	Aceptable	3G: Abertura pequeña de (<1/16 pulgada)

CERTIFICACIÓN

Ensayo realizado por	
Laboratorio	Welding Forms Lab
Número de ensayo	Ensayo XYZ ficticio
Número de archivo	Welding Forms/Sample-WPQ-for-GMAW.pdf

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M () Código de soldadura estructural Acero..
 (año)

Fabricante o contratista _____

Autorizado por _____

Red Inc.

Fecha **E. M. Pleado (Control de calidad, gerente)**

Ejemplo de formulario en blanco de calificación de soldador (proceso múltiple)
REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO
DE SOLDADORES, OPERARIOS DE SOLDADURA O SOLDADORES POR PUNTOS

Nombre			Fecha del ensayo		Rev.
Número de ID			N.º de registro		
N.º de sello			N.º de ensayo est.		
Compañía			N.º de WPS		
División			Calificado para		

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Tamaño (NPS)	Programa	Espesor	Diámetro
Material base							
Soldado a							

VARIABLES	Valores reales	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldadura		
Metal base		

	Ranura	Filete	Ranura	Filete
Espesor de la placa				
Espesor de la tubería/tubo				
Diámetro de la tubería				

Proceso de soldadura						
Tipo (<i>manual, semiautomático, mecanizado, automático</i>)						
Respaldo						
Metal de aporte (espec. de AWS)						
Clasificación de AWS						
F-Número						
Posición						
Ranura – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas						
Ranura – Tubería < 24 pulgadas						
Filete – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas						
Filete – Tubería < 24 pulgadas						
Progresión						
Modo de transferencia GMAW						
Electrodos únicos o múltiples						
Tipo de gas/fundente						

RESULTADOS DEL ENSAYO

Tipo de ensayo	Criterios de aceptación	Resultados	Comentarios

CERTIFICACIÓN

Ensayo realizado por	
Laboratorio	
Número de ensayo	
Número de archivo	

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M () *Código de soldadura estructural Acero*.
 (año)

Fabricante o contratista _____ Autorizado por _____

Fecha _____

Ejemplo de calificación del soldador (proceso múltiple)
REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO
DE SOLDADORES, OPERARIOS DE SOLDADURA O SOLDADORES POR PUNTOS

Nombre	Z. W. Elder	Fecha del ensayo	12/12/2015	Rev.
Número de ID	00-001-ZWE	N.º de registro	WPQ-003	0
N.º de sello	ZWE-01	N.º de ensayo est.	ST-003	0
Compañía	RED Inc.	N.º de WPS	WPS-003	0
División	—	Calificado para	AWS D1.1	

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	AWS N.º de grupo	Tamaño (NPS)	Programa	Espesor	Diámetro
Material base	ASTM A36	UNS K02600	II	—	—	1 pulgada	—
Soldado a	ASTM A36	UNS K02600	II	—	—	1 pulgada	—

VARIABLES	Valores reales	RANGO CALIFICADO
Tipo de junta de soldadura	Placa – Ranura (Fig. 4.31) con respaldo	Soldaduras en ranura, filete, tapón y en ranura (Ranura con PJP en T-, Y- y K- solamente)
Metal base	Grupo II a grupo II	Cualquier metal base calificado AWS D1.1

	Ranura	Filete	Ranura	Filete
Espesor de la placa	1 pulgada	—	1/8 pulgada mín.	1/8 pulgada mín.
Espesor de la tubería/tubo	—	—	1/8 pulgada mín.	Ilimitado
Diámetro de la tubería	—	—	24 pulgadas mín.	Ilimitado

Proceso de soldadura	GTAW	SMAW	FCAW	GTAW	SMAW	FCAW
Tipo (<i>manual, semiautomático, mecanizado, automático</i>)	Manual	Manual	Semiautomático	Man./mec./Auto.	Manual	Semi./mec./Auto.
Respaldo	Con	Con	Con	Con	Con	Con
Metal de aporte (espec. de AWS)	A5.18	A5.1	A5.20	A5.xx	A5.xx	A5.xx
Clasificación de AWS	ER70S-2	E7018	E70T-6	Todo	Todo	Todo
F-Número	—	4	—	—	1 a 4	—
Posición	1G	1G	1G			
Ranura – Placa y tubería > 24 pulgadas				F	F	F
Ranura – Tubería < 24 pulgadas				—	—	—
Filete – Placa y tubería ≥ 24 pulgadas				F, H	F, H	F, H
Filete – Tubería < 24 pulgadas				F, H	F, H	F, H
Progresión	—	—	—	—	—	—
Modo de transferencia GMAW	—	—	—	—	—	—
Electrodos únicos o múltiples	Único	—	Único	Único	—	Único
Tipo de gas/fundente	A5.32 SG-A	—	Ninguno	A5.xx aprobado	—	A5.xx aprobado

RESULTADOS DEL ENSAYO

Tipo de ensayo	Criterios de aceptación	Resultados	Comentarios
Inspección visual según 4.9.1	4.9.1	Aceptable	—
2 doblados laterales transversales según 4.9.3.1 y Fig. 4.9	4.9.3.3	Aceptable	—

CERTIFICACIÓN

Ensayo realizado por	
Laboratorio	Welding Forms Lab
Número de ensayo	Ensayo XYZ ficticio
Número de archivo	Welding Forms/Sample-WPQ-for-GTAW-SMAW-FCAW.pdf

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M () Código de soldadura estructural Acero.
 (año)

Fabricante o contratista _____ Autorizado por _____

Fecha _____

Formulario M-5

Red Inc.

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

E. M. Pleado (Control de calidad, gerente)

12/12/2015

INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA DE SOLDADURAS

Proyecto _____
Requisitos de calidad—N.º de sección _____
Informado a _____

BOSQUEJO DE UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SOLDADURA

Técnica
Fuente _____
Película a fuente _____
Tiempo de exposición _____
Pantallas _____
Tipo de película _____

(Describa longitud, ancho y espesor de todas las juntas radiografiadas)

[illegible]

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas y probadas en conformidad con los requisitos de AWS D1.1/D1.1M, (_____) Código de soldadura estructural Acero.
(año)

Radiógrafo(s)	Fabricante o contratista
Intérprete	Autorizado por
Fecha del ensayo	Fecha

Formulario M-6 (véase <http://go.aws.org/D1forms>)

INFORME DE ENSAYO DE PARTÍCULA MAGNÉTICA DE SOLDADURAS

Proyecto

Requisitos de calidad—Nº de sección

Informado a

BOSQUEJO DE UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SOLDADURA

Cantidad: _____ Total aceptado: _____ Total rechazado: _____

[illegible]

INSPECCIÓN PREVIA

Preparación de superficie:

EQUIPO

Marca de instrumento: _____ Modelo: _____ N.º S: _____

MÉTODO DE INSPECCIÓN

☐ Seco ☐ Mojado ☐ Visible ☐ Fluorescente

Cómo se aplicaron los medios:

☐ Residual ☐ Continuo ☐ Verdadero-Continuo

☐ Residual ☐ Continuo ☐ Verdadero Continuo

☐ CA ☐ CC ☐ Media onda

☐ Puntas de contacto ☐ Yugo ☐ Vaina de cable ☐ Otro

Dirección hacia campo: ☐ Circular ☐ Longitudinal

Resistencia de campo: _____

(Amperios-vueltas, densidad de campo, fuerza de magnetización, número y duración de la aplicación de fuerza).

INSPECCIÓN POSTERIOR

Técnica de desmagnetización (si se requiere): _____

Limpieza (si se requiere): _____ Método de marcado: _____

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas y probadas en conformidad con los requisitos de AWS D1.1/D1.1M, () Código de soldadura estructural—Acero.
(año)

Inspector _____ Fabricante o contratista _____

Nivel	Autorizado por

Fecha del ensayo _____ Fecha _____

Formulario M-7

(véase <http://go.aws.org/DIforms>)

**FORMULARIO DE DATOS DEL ENSAYO DE CALIFICACIÓN DE APLICACIÓN DE SOLDADURA DE
PERNOS SEGÚN SUBCLÁUSULA 7.6** ☐ **Sí**
ENSAYO DE PREPRODUCCIÓN SEGÚN SUBCLÁUSULA 7.7.1 (WPS) ☐ **Sí** ☐
O REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) ☐ **Sí** ☐
O REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WQR) ☐ **Sí** ☐

Nombre de la compañía _____
Nombre del operario _____
Número de ensayo _____
Material del perno de la soldadura _____
Tamaño del perno de la soldadura y N.º de pieza/fabricante _____

Material base

Especificación _____
Aleación y templado _____
Condición de la superficie HR ☐ CR ☐
Revestimiento _____
Método de limpieza _____
Calibre del material de cubierta _____

Forma del material base

Plano ☐ Redondo ☐ Tubo ☐
Ángulo ☐ Interior ☐ Exterior ☐ Radio interno ☐
Espesor _____

Casquillo

N.º de pieza/fabricante _____
Descripción del casquillo _____

**Datos de los equipos Configuraciones de aplicación,
corriente y configuraciones de tiempo**

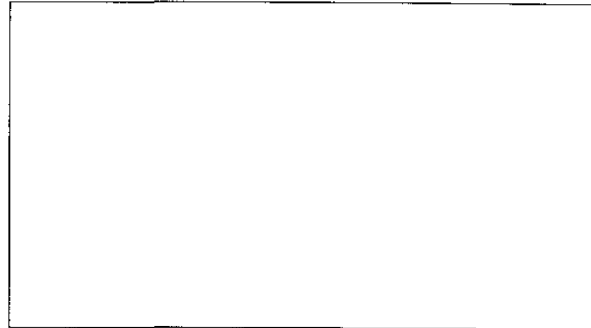
Marca _____ Modelo _____
Pistola de pernos: Marca _____ Modelo _____
Tiempo de soldadura (segundos) _____
Corriente (amperaje) _____
Polaridad: DCEN _____ DCEP _____
Elevación _____
Caída (protrusión) _____
Tamaño del cable de la soldadura Longitud _____
Número de conexiones a tierra (contactos de la pieza de trabajo) _____

Posición de soldadura

Plana (bajo mano) ☐ Horizontal (lateral) ☐ Angular—grados desde lo normal ☐ Sobrecabeza ☐

Gas de protección

Gas(es) de protección/composición _____
Caudal _____

Detalle de aplicación/bosquejo de base de pernos**RESULTADOS DEL ENSAYO DE SOLDADURA**

N.º de perno	Aceptación visual	Opción #1: ensayo de doblado	Opción #2: ensayo de tracción	Opción #3: ensayo de torsión*
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

*Nota: Ensayo de torsión opcional para sujetadores roscados solamente.

Ensayos mecánicos realizados por _____ Fecha _____
(Compañía)

Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 7 de AWS D1.1/D1.1M, (_____) *Código de soldadura estructural Acero..*

(año)

Firmado por _____
(Contratista/aplicador/otro)

Título _____ Fecha _____

Formulario M-8

Compañía _____

(véase <http://go.aws.org/D1forms>)

Anexo N (informativo)

Pautas para la preparación de consultas técnicas para el Comité de Soldadura Estructural

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

N1. Introducción

La Junta Directiva de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) adoptó una política por medio de la cual todas las interpretaciones oficiales de las normas AWS se manejan de manera formal. Bajo esta política, todas las interpretaciones son hechas por el comité responsable de la norma. La comunicación oficial de una interpretación se dirige a través del miembro del personal de AWS que trabaja con dicho comité. La política exige que todas las solicitudes de una interpretación se presenten por escrito. Dichas solicitudes se manejarán lo más rápido posible, pero debido a la complejidad del trabajo y a los procedimientos que deben seguirse, algunas interpretaciones pueden requerir más tiempo.

N2. Procedimiento

Todas las consultas deben dirigirse al:

Director gerente
División de Servicios Técnicos
Sociedad Americana de Soldadura
8669 NW 36 Street, # 130
Miami, FL 33166

Todas las consultas deben contener el nombre, la dirección y la afiliación del consultante, y deben proporcionar suficiente información para que el comité comprenda el punto de inquietud de la consulta. Si el punto no se define con claridad, se devolverá la consulta para que el consultante la aclare de mejor forma. Para un manejo eficiente, todas las consultas deben estar escritas a máquina y en el formato que se especifica a continuación.

N2.1 Alcance. Cada consulta debe abordar una sola disposición del código, a menos que el punto de la consulta implique dos o más disposiciones interrelacionadas. La(s) disposición(es) se identificará(n) en el contexto de la con-

sulta junto con la edición del código que contiene la(s) disposición(es) que el consultante aborda.

N2.2 Propósito de la consulta. El propósito de la consulta debe indicarse en esta parte de la consulta. El propósito puede ser obtener una interpretación de un requisito del código o bien solicitar la revisión de una disposición específica del código.

N2.3 Contenido de la consulta. La consulta debe ser concisa pero completa a la vez, para que el comité pueda comprender rápidamente y en plenitud el punto de la consulta. Se deben utilizar bosquejos cuando sea apropiado, y se deben citar todos los párrafos, figuras y tablas (o el Anexo) pertinentes a la consulta. Si el punto de la consulta es obtener una revisión del código, la consulta debe proporcionar una justificación técnica para dicha revisión.

N2.4 Respuesta propuesta. El consultante debe, a modo de respuesta propuesta, indicar una interpretación de la disposición que es el punto de la consulta, o la redacción para una revisión propuesta, si eso es lo que desea el consultante.

N3. Interpretación de las disposiciones del código

Las interpretaciones de las disposiciones del código las hace el Comité de Soldadura Estructural. El secretario del comité deriva todas las consultas al director del subcomité específico que tiene jurisdicción sobre la porción del código mencionado en la consulta. El subcomité revisa la consulta y la respuesta propuesta para determinar la respuesta adecuada para la consulta. Luego de que el subcomité desarrolla la respuesta, la consulta y la respuesta se presentan al Comité de Soldadura Estructural en pleno para su revisión y aprobación. Luego de la aprobación por

parte del comité, la interpretación es una interpretación oficial de la Sociedad, y el secretario transmite la respuesta al consultante y a la revista *Welding Journal* para su publicación.

N4. Publicación de las interpretaciones

Todas las interpretaciones oficiales aparecerán en la revista *Welding Journal* y serán publicadas en el sitio web de la AWS.

N5. Consultas por teléfono

Las consultas por teléfono a las oficinas centrales de la AWS sobre el *Código de soldadura estructural* deben limitarse a preguntas generales o a asuntos relacionados directamente con el uso del código. La política de la Junta Directiva de la AWS exige que todos los miembros del personal de la AWS respondan a una solicitud por teléfono de una interpretación oficial de cualquier norma de la AWS con la información de que dicha interpretación solamente se puede obtener a través de una solicitud por escrito. El personal de las oficinas centrales no puede

proporcionar servicios de consultoría. Sin embargo, el personal puede derivar a la persona que llama a cualquiera de los consultores cuyos nombres están registrados en las oficinas centrales de la AWS

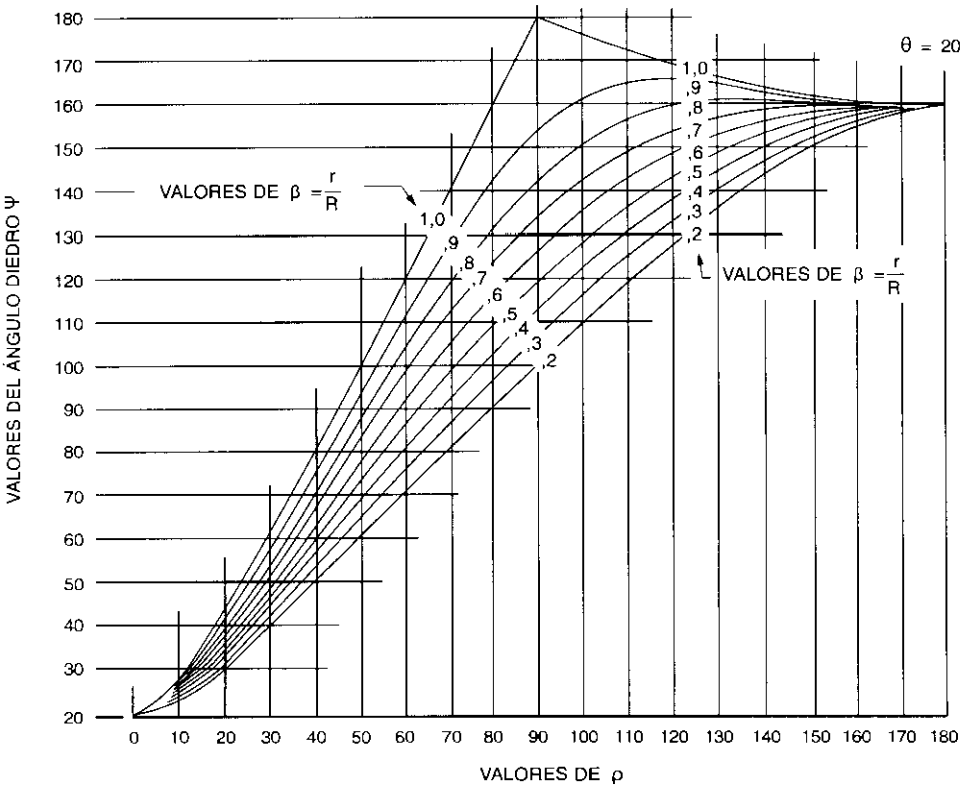
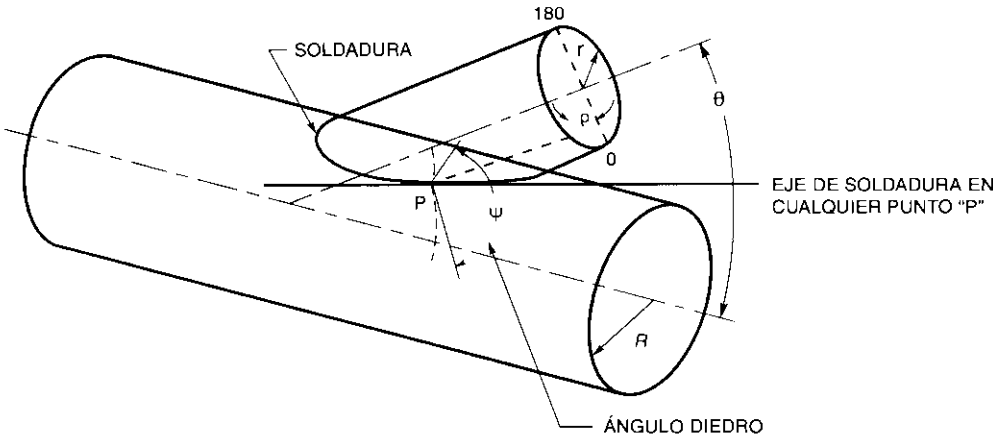
N6. El Comité de Soldadura Estructural

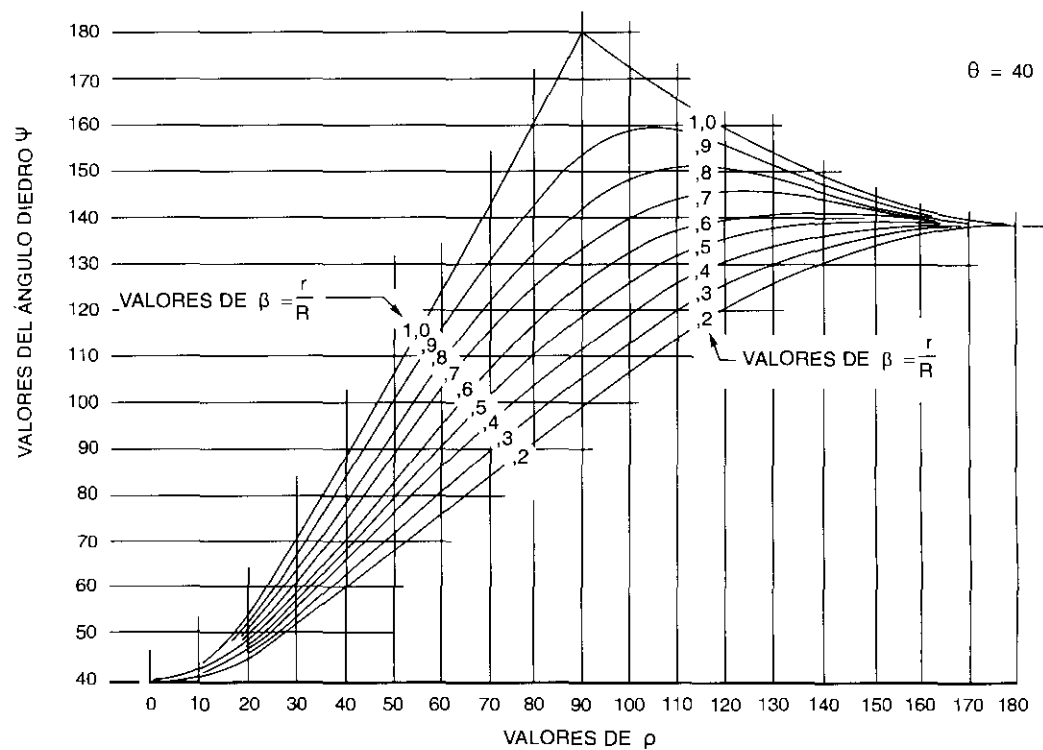
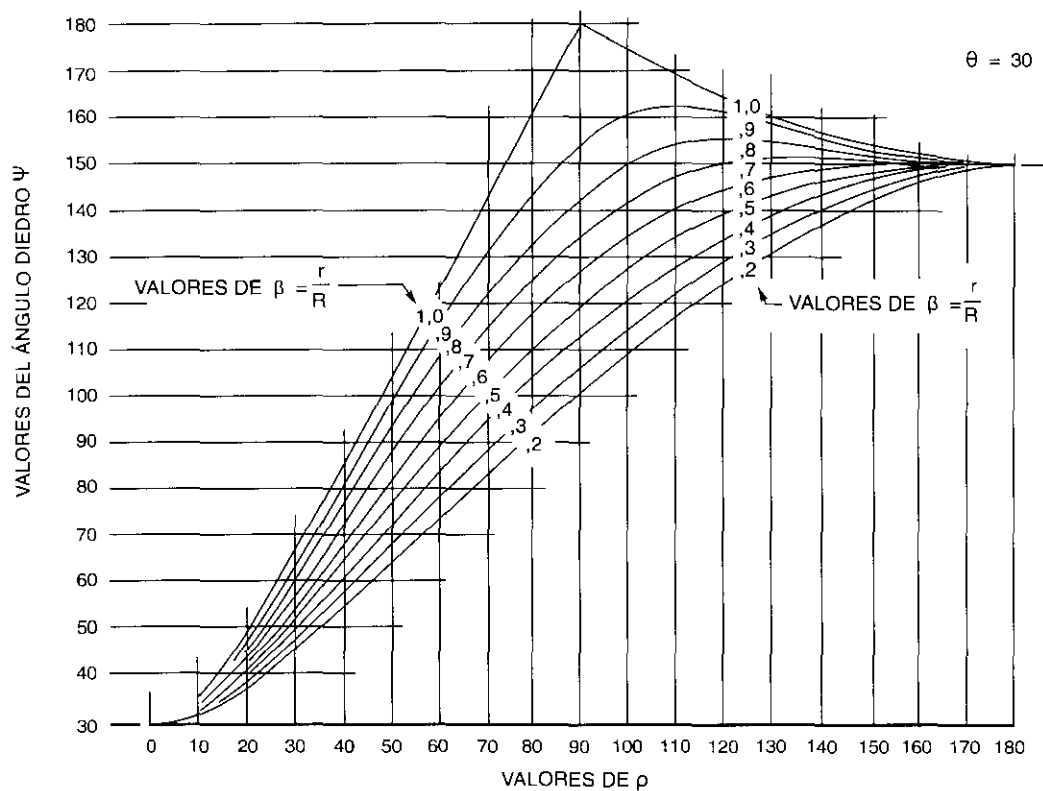
Las actividades del Comité de Soldadura Estructural en relación con las interpretaciones se limitan estrictamente a la interpretación de las disposiciones del código o a la consideración de revisiones de disposiciones existentes según nuevas informaciones o tecnologías. Ni el personal de la AWS ni los comités pueden ofrecer servicios de interpretación o consultoría sobre: (1) problemas de ingeniería específicos, o (2) requisitos del código que se aplican a fabricaciones fuera del alcance del código o puntos no cubiertos específicamente por el código. En tales casos, la persona debe consultar a un ingeniero competente con experiencia en el campo de interés específico.

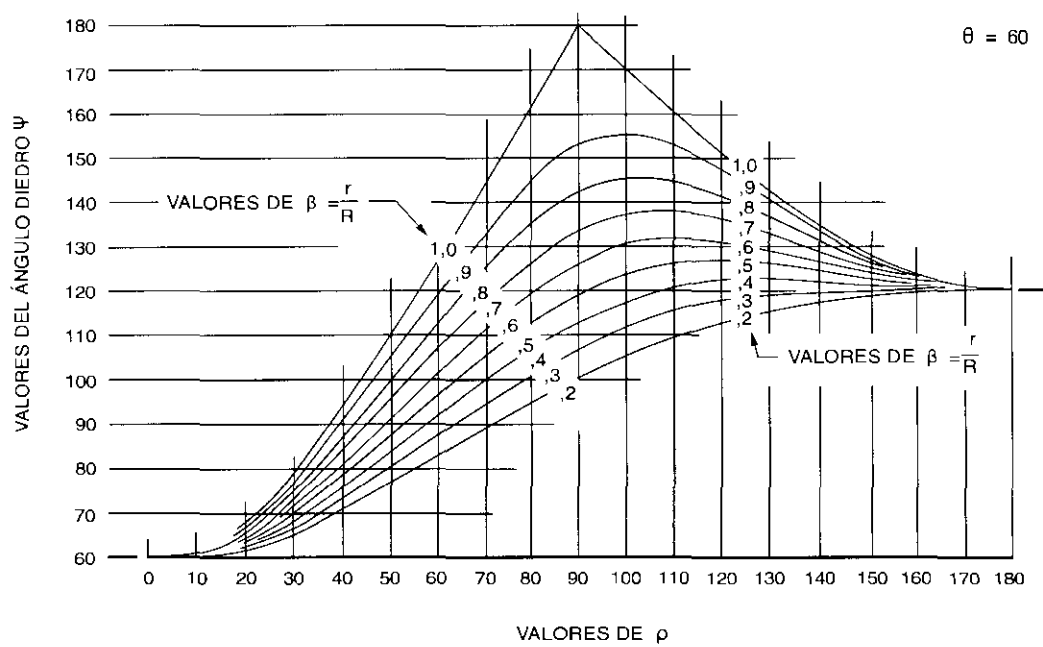
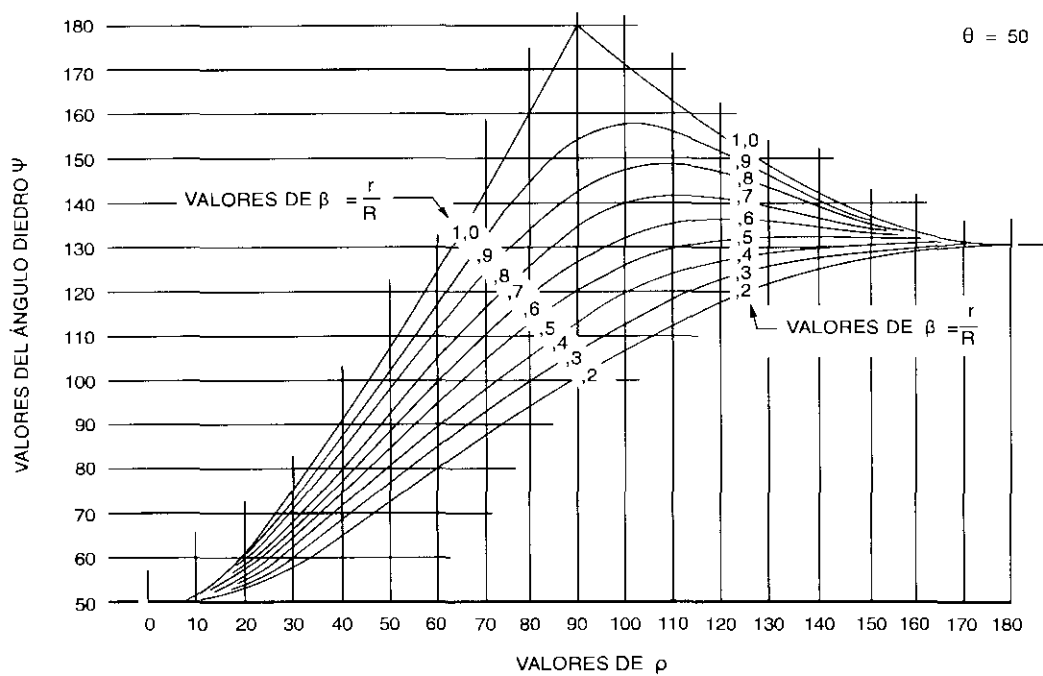
Anexo Q (informativo)

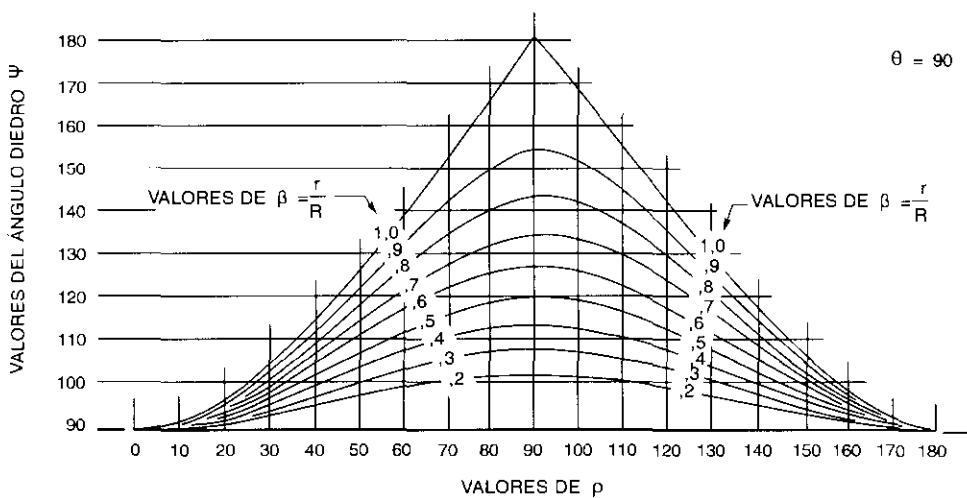
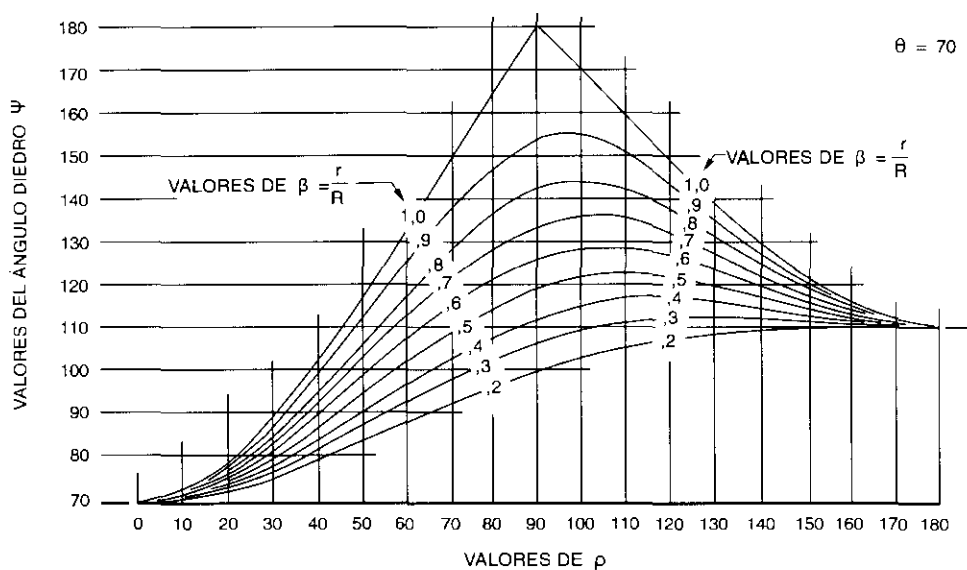
Ángulo diedro local

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.









Anexo P (informativo)

Contenidos de WPS precalificada

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

La soldadura precalificada requiere una WPS por escrito que incluya las siguientes subsecciones del código según corresponda para las soldaduras de interés. Además de los requisitos de una WPS por escrito, este código impone muchos otros requisitos y limitaciones en soldaduras precalificadas. El código le exige a la organización que utiliza soldaduras precalificadas cumplir con los requisitos pertinentes.

Es posible que la especificación de la WPS satisfaga las necesidades de los usuarios. Es posible que se haga referencia a elementos como las tolerancias de ensamblaje.

1.2	Limitaciones	5.3.1.2	Idoneidad de la clasificación – Requisitos para consumibles de soldadura y electrodos
2.4.1.4	Tamaño efectivo de soldaduras en ranuras abocinadas	5.3.2	Electrodos de SMAW (todas las subsecciones)
2.4.2.9	Tamaño máximo de la soldadura en juntas traslapadas – Soldaduras en filete	5.3.3	Electrodos y fundentes de SAW (todas las subsecciones)
2.4.4.2	Ranuras alargadas	5.3.4	Electrodos de GMAW/FCAW
2.4.3	Juntas en T oblicuas (todas las subsecciones)	5.5	Variables de WPS
3.2.1	Procesos precalificados	5.7	Control de la entrada de calor para aceros revenidos y templados
3.3	Combinaciones metal base/metal de aporte	5.9	Respaldo (todas las subsecciones)
3.5	Requisitos mínimos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas (todas las subsecciones)	5.13	Tamaños mínimos de soldaduras en filete
3.6	Limitación de las variables de WPS (todas las subsecciones)	5.14	Preparación del metal base (todas las subsecciones)
3.7	Requisitos generales de WPS (todas las subsecciones)	5.21.1.1	Superficie unida
3.9.2	Requisitos de la soldadura en filete —Juntas en T oblicuas	5.24	Técnica para soldaduras de tapón y en ranura (todas las subsecciones)
3.10	Requisitos de soldaduras de tapón y en ranura	5.26	Martillado (todas las subsecciones)
3.12	Requisitos de la PJP (todas las subsecciones)	5.29.1	Limpieza durante el proceso
3.13	Requisitos de soldadura en ranura con CJP (todas las subsecciones)	7.5.5	Opción de soldadura en filete FCAW, GMAW, SMAW (todas las subsecciones)
Tabla 3.7	Variables precalificadas de WPS	7.7.5	Reparación del área de remoción
5.2.2	Metal base para lengüetas de soldadura, respaldo y espaciadores	9.10	Requisitos de la PJP (todas las subsecciones)
		9.11	Requisitos de soldadura en ranura con CJP (todas las subsecciones)
		9.23	Respaldo (todas las subsecciones)

Anexo Q (informativo)

Inspección de UT de soldaduras mediante técnicas alternativas

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

Q1. Generalidades

El propósito de este anexo es describir técnicas alternativas para la UT de soldaduras. Las técnicas descritas son métodos probados que se usan en la actualidad para otras aplicaciones, pero no aparecen detallados actualmente en el código. Las técnicas alternativas presentadas requieren procedimientos calificados por escrito, calificaciones especiales del operario de UT, y se necesitan métodos de calibración especiales para obtener la precisión que se requiere en el calibrado de la discontinuidad. El uso de este anexo y los procedimientos resultantes desarrollados, incluso los criterios de aceptación aplicables, están sujetos a la aprobación del ingeniero.

Este anexo no es obligatorio, a menos que se especifique en los documentos del contrato. Cuando se especifica, sin embargo, todos los requisitos que se incluyen en el presente (según corresponda) se considerarán obligatorios a menos que se modifiquen específicamente en los documentos del contrato.

Se pueden utilizar requisitos aplicables del código en relación con la instrumentación y las calificaciones del operario, excepto lo enmendado en el presente, para complementar este anexo. Sin embargo, no se pretende que estas técnicas se utilicen para complementar los requisitos existentes de la Sección 6 del código, ya que los procedimientos y las técnicas especificados en ella están completos y representan un enfoque diferente para el UT de las soldaduras.

Parte A *Procedimientos básicos del UT*

Q2. Introducción

Los requisitos básicos del procedimiento de UT, la instrumentación y los operarios que figuran en esta Parte A son necesarios para garantizar una máxima precisión en la evaluación y medición de la discontinuidad. Los métodos que se describen aquí no son nuevos. Han sido utilizados por otras industrias, incluso las estructuras de construcción naval

y marinas, durante los últimos 25 años. Si bien no han sido prohibidos, no han sido organizados y específicamente puestos a disposición para su uso en los documentos de la AWS. Algunos de los métodos incluidos en esta sección también se encuentran en API RP 2X del American Petroleum Institute, *Prácticas recomendadas para la inspección ultrasónica de fabricación estructural marina y pautas para la calificación de técnicos ultrasónicos*. Se puede obtener más información útil por remisión. Para un máximo control de la medición de discontinuidades, se ha puesto énfasis en: el procedimiento de UT que estará por escrito y calificado, requisitos especiales para el técnico de UT y requisitos de instrumentación y calibración para UT. AWS reconoce las limitaciones e inconsistencias inherentes de la inspección ultrasónica para la caracterización y medición de discontinuidades. Es necesario que el técnico de UT pruebe las precisiones obtenibles utilizando los procedimientos y equipos correspondientes.

Los resultados de calificación del procedimiento deben entregarse al ingeniero. AWS no hace declaración alguna por las posibles precisiones que se obtengan utilizando los métodos que se establecen en este documento.

Q3. Procedimiento de UT

Toda UT debe realizarse en conformidad con un procedimiento por escrito que debe contar como mínimo con la siguiente información respecto del método y técnicas de UT:

- (1) Los tipos de configuraciones de juntas de soldadura que serán examinadas
- (2) Los criterios de aceptación para los tipos de juntas de soldadura que serán examinadas (criterios adicionales cuando los criterios de aceptación de la Sección 6, Parte C no son invocados por el ingeniero)
- (3) Tipo de equipos de UT (fabricante, número de modelo, número de serie)

(4) Tipo de transductor, incluyendo frecuencia, tamaño, forma, ángulo y tipo de cuña en caso de ser diferente al que figura en 6.21.6 o 6.21.7

(5) Preparación de la superficie de escaneo y requisitos del acoplante

(6) Tipo de bloque(s) de ensayo de calibración con los reflectores de referencia apropiados

(7) Método de calibración e intervalo de calibración

(8) Método para examinar laminados antes de la evaluación de la soldadura, si el método es diferente a 6.25.5

(9) Marcado de índice de raíz de la soldadura y otros métodos preliminares de marcado de soldadura

(10) Requisitos del patrón de escaneo y sensibilidad

(11) Métodos para determinar la altura, la longitud y el nivel de amplitud del lugar de la discontinuidad

(12) Métodos de corrección de transferencia para rugosidad de la superficie, revestimientos de la superficie y curvatura de la parte, si corresponde

(13) Método para verificar la precisión de la inspección completada. Esta verificación puede ser mediante la reinspección ultrasónica por parte de otros (auditorías), otros métodos NDE, probeta de macroataque, ranurado u otras técnicas visuales, según lo apruebe el ingeniero.

(14) Requisitos de documentación para inspecciones, incluso cualquier verificación realizada

(15) Requisitos de retención de documentación.

El procedimiento por escrito será calificado mediante ensayos a las maquetas de soldaduras que representan las soldaduras de producción que se van a examinar. Las soldaduras de muestra serán seccionadas, examinadas apropiadamente y documentadas para probar el rendimiento satisfactorio del procedimiento. El procedimiento y todos los datos que califiquen serán aprobados por un individuo que cuente con certificación Nivel III en UT mediante ensayos en conformidad con ASNT SNT-TC-1A y que además esté calificado por su experiencia en la inspección de los tipos específicos de juntas de soldadura que se van a examinar.

Q4. Operario y equipos de UT

Además de los requisitos de 6.14.6, 6.20, y 9.30.2, el operario de UT debe demostrar su capacidad de usar el procedimiento por escrito, incluso todas las técnicas especiales requeridas y, cuando se requieren la altura y longitud de la discontinuidad, debe establecer la capacidad y precisión para determinar estas dimensiones.

Los equipos de UT deben cumplir los requisitos de 6.21 y lo exigido en este anexo. Se pueden usar otros equipos que utilicen computarización, sistemas de procesamiento de imágenes,

escaneo mecanizado y dispositivos de grabación, cuando son aprobados por el ingeniero. Se pueden usar transductores con frecuencias de hasta 6 MHz, con tamaños de hasta 1/4 de pulgada [6 mm] y de cualquier forma, siempre que estén incluidos en el procedimiento y calificados apropiadamente.

Q5. Norma de referencia

El reflector estándar debe tener un orificio lateral perforado de 1,5 mm de diámetro, o equivalente. El reflector se puede colocar en cualquier diseño de bloque de calibración, modelo de soldadura o pieza de producción real, a elección del usuario. La orientación y las tolerancias para la ubicación del reflector se muestran en la Figura Q.1. Un bloque de calibración recomendado se muestra en la Figura Q.2. Otros usos posibles del reflector se muestran en la Figura Q.3. Cuando se coloca en maquetas de soldaduras y secciones de soldaduras de producción, el reflector debe estar en ubicaciones donde sea difícil dirigir haces de sonido, para asegurar la detección de discontinuidades en todas las áreas de interés.

Q6. Métodos de calibración

Los métodos de calibración descritos en el presente se consideran aceptables y deben usarse para llevar a cabo estos procedimientos de UT alternativos. El código reconoce que el usuario individual puede preferir otros métodos de calibración. Si se usan otros métodos, deben producir resultados al menos iguales a los métodos recomendados en el presente. El reflector estándar descrito en Q5 debe considerarse el reflector estándar para estos y todos los demás métodos que se puedan utilizar.

Q6.1 Sensibilidad estándar. La sensibilidad estándar debe consistir en la suma de los siguientes puntos:

(1) **Sensibilidad básica.** La indicación maximizada del reflector estándar, más

(2) **Corrección de amplitud por distancia.** Se determina por las indicaciones de múltiples reflectores estándar en profundidades que representan el mínimo, el medio y el máximo que se va a examinar, más

(3) **Corrección de transferencia.** Ajuste para el tipo de material, la forma y las condiciones de la superficie de escaneo, según se describe a continuación:

Para obtener una estandarización de sensibilidad precisa, se debe realizar la corrección de transferencia. Esto garantizará que se utilicen las diferencias en las propiedades acústicas, las superficies de escaneo y la forma de la pieza entre el patrón de calibración y el bloque de calibración al momento de realizar la calibración de sensibilidad estándar. Los valores de la corrección de transferencia deben determinarse inicialmente antes de la inspección y cuando el tipo de material, la forma, el espesor y las superficies de escaneo varían de manera tal que se espera que los diferentes valores superen el $\pm 25\%$ de los valores originales. Los valores de la corrección de transferencia deben determinarse como se muestra en la Figura Q.4.

Q6.1.1 Sensibilidad de escaneo. La sensibilidad de escaneo debe ser la sensibilidad estándar + aproximadamente 6 dB–12 dB o según se requiera para verificar la penetración del sonido desde indicaciones de reflejos en la superficie. La evaluación de las indicaciones debe realizarse con referencia a la sensibilidad estándar, salvo que no se requiera la sensibilidad estándar si la sensibilidad más alta o más baja es más apropiada para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad (altura y longitud).

Q6.2 Onda de compresión

Q6.2.1 Profundidad (barrido horizontal). Deben usarse indicaciones de múltiples reflejos obtenidos del espesor del patrón de calibración o de un área calibrada de una soldadura de maqueta o de producción, como se muestra en la Figura Q.5. La precisión de la calibración debe estar entre el $\pm 5\%$ del espesor real para la inspección de metal base en laminados y el $\pm 2\%$ para determinar la ubicación y el tamaño de la discontinuidad (altura).

Q6.2.2 Calibración de la sensibilidad (estándar). La unidad de búsqueda debe ubicarse sobre los reflectores estándar a un mínimo de 3 profundidades para garantizar la cobertura en todo el espesor que se va a examinar, en conformidad con la Figura Q.6. Se deben registrar los valores de dB obtenidos de las indicaciones maximizadas de cada reflector. Se debe establecer la curva de amplitud de distancia (DAC) o utilizar métodos electrónicos para conocer las ubicaciones de indicación de la pantalla que representan el reflector estándar en los diversos espesores que se van a examinar.

Q6.3 Onda de cizalla

Q6.3.1 Profundidad (barrido horizontal). Se deben utilizar las indicaciones de los reflectores estándar seleccionados para cubrir la profundidad máxima que se va a usar durante la inspección en conformidad con la Figura Q.7. La precisión debe estar entre el $\pm 1\%$ para facilitar la medición más precisa de la altura de la discontinuidad. Se debe utilizar la técnica de retraso para las discontinuidades con una profundidad mayor que aproximadamente 1,5 pulgadas para maximizar la exactitud de la lectura más precisa de profundidad de discontinuidad (y la altura de discontinuidad).

Q6.3.2 Sensibilidad (estándar). Se deben utilizar reflectores estándar ubicados en las profundidades mínima, media y máxima debajo de la superficie que se va a usar para la inspección en conformidad con la Figura Q.7. Se deben maximizar las indicaciones y establecer una DAC o utilizar métodos electrónicos para localizar las indicaciones de la pantalla que representan el reflector estándar en las diversas profundidades seleccionadas. La DAC debe ajustarse, basándose en los resultados de la corrección de transferencia. Los métodos de calibración de la sensibilidad descritos en el presente no son esenciales cuando se requiere el tamaño de la discontinuidad real (altura y longitud). En este caso, solo es necesario mantener suficiente sensibilidad en toda la parte que se va a examinar, para así encontrar todas las discontinuidades y poderlas evaluar apropiadamente.

Q7. Escaneo

El escaneo debe ser según se describe en 6.30 y 9.30.7. Además, en el caso de aplicaciones especiales no cubiertas en las referencias del código que se mencionaron anteriormente, deben usarse los métodos de escaneo de la Figura Q.8, según corresponda.

Q8. Métodos de caracterización de discontinuidades en soldaduras

Q8.1 Las discontinuidades deben ser caracterizadas de la siguiente manera:

- (1) Esférica (poros individuales y porosidad muy espaciada, escoria no alargada)
- (2) Cilíndrica (escoria alargada, poros alineados de porosidad, cordones huecos)
- (3) Planar (fusión incompleta, penetración de junta inadecuada, grietas)

Q8.2 Los siguientes métodos deben usarse para determinar las características básicas de la discontinuidad:

Q8.2.1 Esférica. El sonido se refleja de manera uniforme en todas las direcciones. La indicación permanece sin cambios a medida que la unidad de búsqueda se mueve alrededor de la discontinuidad esférica, como se muestra en la Figura Q.9.

Q8.2.2 Cilíndrica. El sonido se refleja de manera uniforme en una dirección, pero cambia en otras direcciones. La indicación permanece sin cambios cuando la unidad de búsqueda se mueve en una dirección, pero cambia drásticamente cuando se mueve en otras direcciones, como se muestra en la Figura Q.10.

Q8.2.3 Planar. El sonido se refleja a su nivel máximo desde solo un ángulo de incidencia con una superficie plana. La indicación cambia con cualquier movimiento angular de la unidad de búsqueda, como se muestra en la Figura Q.11. Las indicaciones de grietas suelen tener muchos picos como resultado de la gran cantidad de facetas de discontinuidad por lo general presentes.

Q9. Métodos de ubicación y medición de discontinuidades de soldaduras

Q9.1 Calibración. La calibración debe basarse en la profundidad desde la superficie en conformidad con Q6. Las discontinuidades pueden medirse con el nivel más alto posible de precisión, utilizando los métodos descritos en esta sección; sin embargo, se le recuerda al usuario que la UT, al igual que todos los demás métodos NDT, ofrece dimensiones de discontinuidad relativas. La orientación y forma de la discontinuidad, junto con las limitaciones del método NDT, pueden resultar en variaciones importantes entre las dimensiones relativas y las reales.

Q9.2 Altura. La altura de la discontinuidad (dimensión de profundidad) debe determinarse utilizando los siguientes métodos:

Q9.2.1 La altura de indicación debe maximizarse moviendo la unidad de búsqueda hacia y desde la discontinuidad en conformidad con A de la Figura Q.12. La altura de indicación debe ajustarse a un valor conocido (por ej., 80% de la altura de la pantalla completa [FSH]).

Q9.2.2 La unidad de búsqueda debe moverse hacia la discontinuidad hasta que la altura de indicación comienza a bajar de manera rápida y continua hacia la línea base. Debe observarse la ubicación del borde delantero (izquierdo) de la indicación en la ubicación B en la Figura Q.12 en relación con la escala de línea base horizontal de la pantalla. Debe usarse una escala métrica o una escala de división de 0,10 pulgadas [2,5 mm].

Q9.2.3 La unidad de búsqueda debe moverse lejos de la discontinuidad hasta que la altura de indicación comienza a bajar de manera rápida y continua hacia la línea base. Debe observarse la ubicación del borde delantero de la indicación en la ubicación C en la Figura Q.12 en relación con la escala de línea base horizontal de la pantalla.

Q9.2.4 Se debe obtener la diferencia matemática entre B y C para determinar la dimensión de altura de la discontinuidad.

Q9.3 Longitud. La longitud de la discontinuidad debe determinarse utilizando los siguientes métodos:

Q9.3.1 La orientación de la discontinuidad debe determinarse mediante la manipulación de la unidad de búsqueda para determinar el plano y la dirección de la indicación más fuerte, en conformidad con A de la Figura Q.13.

Q9.3.2 La unidad de búsqueda debe moverse a un extremo de la discontinuidad mientras se mantiene la parte de la indicación visible en la pantalla en todo momento hasta que la indicación baja completamente a la línea base. La unidad de búsqueda se debe retroceder hacia la discontinuidad hasta que la altura de indicación alcance el 50% de la altura máxima que se obtuvo originalmente cerca del extremo, en conformidad con B de la Figura Q.13. La ubicación debe marcarse en el extremo de la discontinuidad en la superficie de escaneo o soldada en línea con la marca de indicación máxima de la unidad de búsqueda. Este marcado debe realizarse con cuidado usando un método de marcado con línea fina.

Q9.3.3 Los pasos mencionados arriba deben repetirse para localizar el extremo opuesto de la discontinuidad en conformidad con C de la Figura Q.13 y debe marcarse con cuidado.

Q9.3.4 La longitud de la discontinuidad debe obtenerse midiendo la distancia entre las dos marcas en conformidad con la Figura Q.13.

Q9.4 Ubicación—Profundidad debajo de la superficie de escaneo. La ubicación de la profundidad de las discontinuidades se puede leer directamente en la escala de línea base horizontal de la pantalla cuando se usan los métodos descritos anteriormente para determinar la altura de la discontinuidad. La ubicación informada debe ser el punto más profundo determinado, a menos que se especifique lo contrario, para ayudar en las operaciones de remoción.

Q9.5 Ubicación—Junto con la profundidad de la soldadura. La ubicación de la discontinuidad desde un punto de referencia conocido se puede determinar midiendo la distancia desde el punto de referencia hasta las marcas de longitud de la discontinuidad establecidas para la longitud. La medición debe hacerse hasta el principio de la discontinuidad, a menos que se especifique lo contrario.

Q10. Problemas con discontinuidades

Los usuarios de UT para inspecciones de soldaduras deben estar al tanto de los siguientes posibles problemas de interpretación asociados con las características de las discontinuidades en soldaduras:

Q10.1 Tipo de discontinuidad. El sonido ultrasónico tiene una sensibilidad variable a las discontinuidades de soldaduras, según su tipo. La sensibilidad relativa se muestra en las siguientes tablas y debe considerarse durante la evaluación de discontinuidades. Los técnicos de UT pueden cambiar la sensibilidad a todos los tipos de discontinuidad modificando las configuraciones del instrumento de UT, la frecuencia de la unidad de búsqueda y los métodos de medición y escaneo, incluso los patrones de escaneo y el acoplamiento.

Tipo de discontinuidad	Sensibilidad UT relativa
(1) Fusión incompleta	Más alta
(2) Grietas (superficie)	.
(3) Penetración inadecuada	.
(4) Grietas (bajo la superficie)	.
(5) Escoria (continua)	.
(6) Escoria (dispersa)	.
(7) Porosidad (tubería)	.
(8) Porosidad (grupo)	.
(9) Porosidad (dispersa)	Más baja

Q10.2 La clasificación general de las discontinuidades se puede comparar de la siguiente manera:

Clasificación general de discontinuidad	Sensibilidad UT relativa
(a) Planar	Más alta
(b) Lineal	.
(c) Esférica	Más baja

NOTA: La tabulación de arriba supone la mejor orientación para la detección y evaluación.

Q10.3 Tamaño. El tamaño de la discontinuidad afecta la interpretación precisa. Las discontinuidades de tipo planar con gran altura o muy poca altura pueden arrojar interpretaciones menos precisas que las de altura media. Los poros pequeños y esféricos son difíciles de medir debido a los cambios rápidos de la superficie reflectante, los cuales ocurren mientras el haz de sonido se mueve por la pieza.

Q10.4 Orientación. La orientación de la discontinuidad afecta la sensibilidad UT ya que la sensibilidad más alta es la que devuelve el reflejo del sonido a la unidad de búsqueda de manera más directa. Las sensibilidades relativas en relación con la orientación y los tipos de discontinuidad son opuestas a las que se muestran en las tablas anteriores. El técnico de UT puede aumentar la sensibilidad a la orientación de la discontinuidad seleccionando un ángulo de haz de sonido que sea más normal para el plano de discontinuidad y la superficie reflectante. La selección de ángulos que se adapten al ángulo de ranura aumentará la sensibilidad para las discontinuidades de tipo planar y lineal, que es más probable que ocurran en ese plano.

Q10.5 Ubicación. La ubicación de la discontinuidad dentro de la soldadura y el metal base adyacente pueden influir en la capacidad de detección y la evaluación adecuada. Las discontinuidades cerca de la superficie suelen detectarse con mayor facilidad, pero pueden ser más difíciles de medir.

Q10.6 Tipo de junta de soldadura y diseño de ranura. El tipo de junta de soldadura y el diseño de ranura son factores importantes que afectan las capacidades de la UT para detectar discontinuidades.

Los siguientes aspectos son factores de diseño que pueden causar problemas y deben considerarse para sus posibles efectos::

- (1) Respaldos
- (2) Ángulos de bisel
- (3) Ángulos de intercepción de parte de la junta
- (4) Soldaduras con PJP
- (5) Soldaduras en T
- (6) Miembros tubulares
- (7) Rugosidad y contorno de la superficie de la soldadura

Q11. Niveles de amplitud de discontinuidad y niveles de amplitud de discontinuidad en clases de soldaduras

Las siguientes categorías de niveles de amplitud de discontinuidad deben aplicarse en la evaluación de aceptabilidad.

Nivel	Descripción
1	Igual o mayor que SSL (véase Figura Q.14)
2	Entre el SSL y el DRL (véase Figura Q.14)
3	Igual o menor que el DRL (véase Figura Q.14)
SSL = Nivel de sensibilidad estándar—según Sección 6.	
DRL = Nivel de desconsideración = 6 dB menos que el SSL.	

Clases de soldaduras. Las siguientes clases de soldadura deben usarse para la evaluación de aceptabilidad de discontinuidad.

Clase de soldadura	Descripción
S	Estructuras cargadas estáticamente

D	Estructuras cargadas cíclicamente
R	Estructuras tubulares (sustituto para la RT)
X	Conexiones tubulares en T-, Y-, K-

Q12. Criterios de rechazo de aceptación

Q12.1 Amplitud. Los criterios de rechazo de aceptación de la Tabla Q.1 deben aplicarse cuando la amplitud y la altura son los factores principales y la altura máxima de la discontinuidad no se conoce o no está especificada.

Q12.2 Tamaño. Cuando el tamaño de discontinuidad máximo admisible (altura y longitud) se conoce y es especificado por el ingeniero, el tamaño real (tanto altura como longitud) junto con la ubicación (profundidad y a lo largo de la soldadura) deben determinarse e informarse. El ingeniero está a cargo de la evaluación final y la aceptación/ el rechazo.

Q13. Preparación y disposición de informes

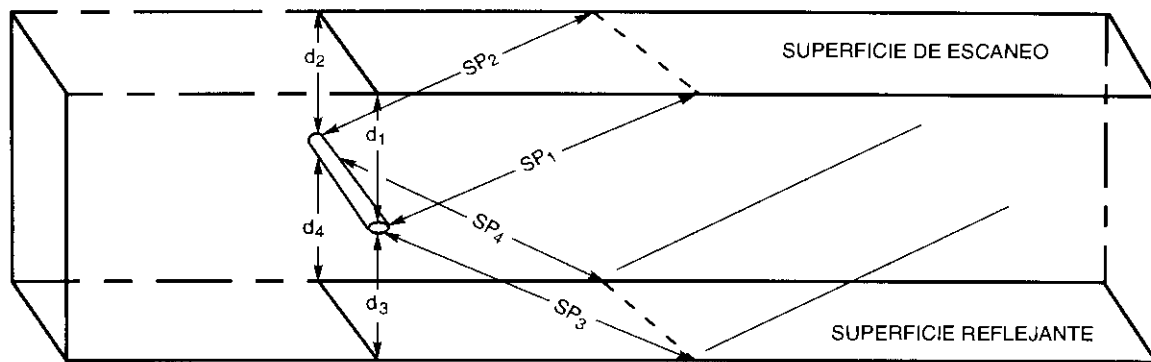
Se debe hacer un informe que identifique con claridad el trabajo y el área de inspección del operario de UT al momento de la inspección. El informe, como mínimo, debe contener la información que se muestra en el ejemplo de formulario de informes, Figura Q.15. La caracterización de discontinuidad de UT y la categorización e informe subsiguientes deben limitarse a los tipos esférico, cilíndrico y planar solamente.

Cuando así se especifique, también se debe informar de las discontinuidades cercanas a un tamaño inaceptable, particularmente aquellas en las que haya alguna duda en su evaluación.

Antes de aceptar una soldadura que el contratista del propietario haya sometido a UT, se deben presentar al propietario todos los formularios de informes relacionados con la soldadura, incluyendo aquellos que muestren calidad inaceptable antes de la reparación, luego de completar el trabajo. La obligación del contratista de conservar los informes de UT cesará: (1) con la entrega de un juego completo al propietario, o (2) pasado un año completo después de la finalización del trabajo del contratista, siempre que se haya notificado previamente al propietario por escrito.

Tabla Q.1
Criterios de rechazo de aceptación (véase Q12.1)

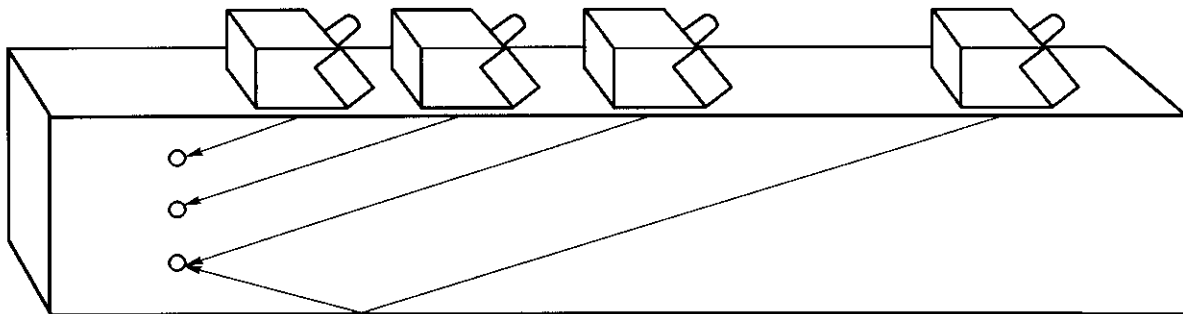
Nivel máximo de amplitud de discontinuidad obtenido	Longitudes de discontinuidad máximas según clases de soldadura			
	Cargada estáticamente	Cargada ciclicamente	Tubular clase R	Tubular clase X
Nivel 1—Igual a o mayor que SSL (véase Q6.1 y Figura Q.14)	> 5 dB sobre SSL = ninguno permitido 0 a 5 dB sobre SSL = 3/4 pulgada [20 mm]	> 5 dB sobre SSL = ninguno permitido 0 a 5 dB sobre SSL = 1/2 pulgada [12 mm]	véase Figura 9.29	véase Figura 9.30 (Utiliza altura)
Nivel 2—Entre el SSL y el DRL (véase Figura Q.14)	2 pulgadas [50 mm]	Mitad, 1/2 de soldadura = 2 pulgadas [50 mm] Parte superior e inferior, 1/4 of soldadura = 3/4 pulgada [20 mm]	véase Figura 9.29	véase Figura 9.30 (Utiliza altura)
Nivel 3—Igual o menor que el DRL (véase Figura Q.14)	Descartar (cuando lo especifique el ingeniero, registro para información)			



Notas:

1. $d_1 = d_2 \pm 0,5 \text{ mm}$ $d_3 = d_4 \pm 0,5 \text{ mm}$
 $SP_1 = SP_2 \pm 1 \text{ mm}$ $SP_3 = SP_4 \pm 1 \text{ mm}$
2. Las tolerancias mencionadas arriba deben considerarse como apropiadas. El reflector debe, en todos los casos, colocarse de manera tal que permita maximizar el reflejo y la indicación UT. (Este es un comentario general para todas las notas en el Anexo Q.)

Figura Q.1—Reflector de referencia estándar (véase Q5)



Nota: Las dimensiones son necesarias para adaptar las unidades de búsqueda a las distancias de la trayectoria del sonido requeridas.

Figura Q.2—Bloque de calibración recomendado (véase Q5)

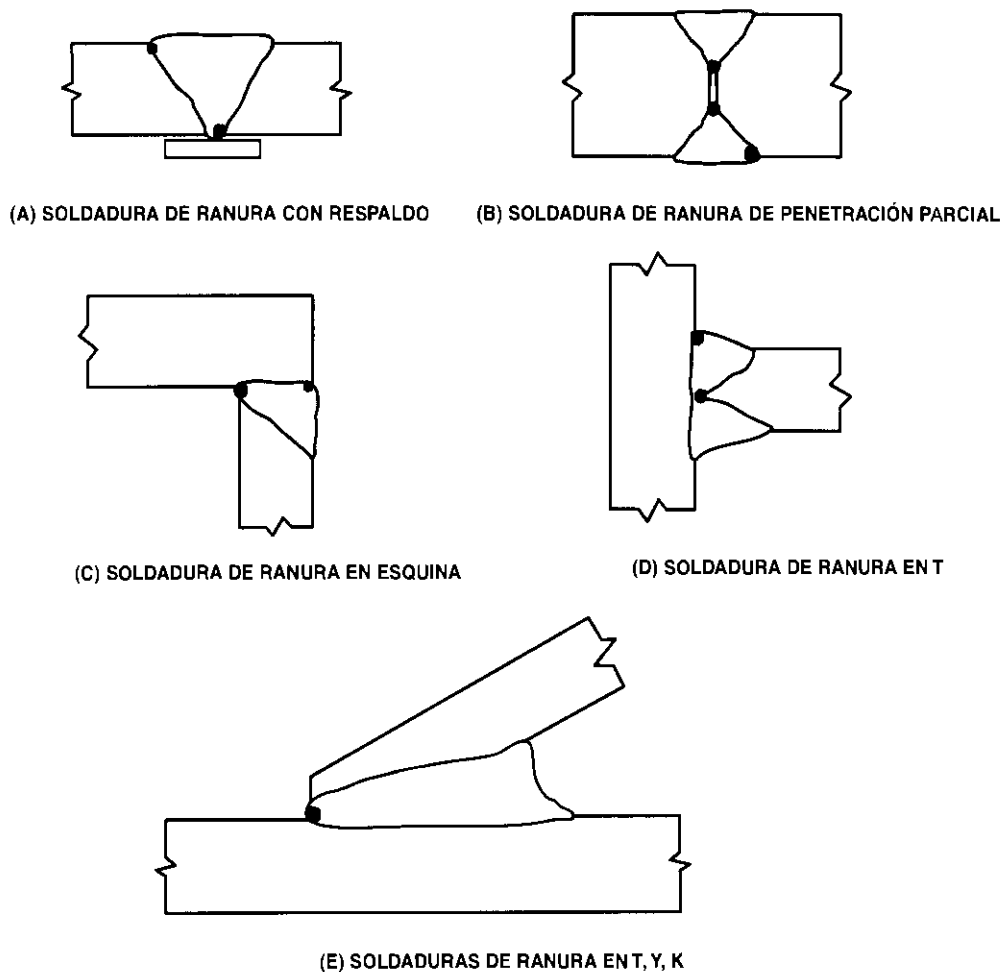


Figura Q.3—Reflector estándar típico (ubicado en maquetas de soldaduras y soldaduras de producción) (véase Q5)

Procedimiento:

1. Coloque dos unidades de búsqueda de ángulo de haz similares en la maqueta o el bloque de calibración que se va a usar en la posición que se muestra arriba.
2. Usando métodos de transmisión directa, maximice la indicación obtenida y obtenga un valor de dB de la indicación.
3. Transfiera las mismas dos unidades de búsqueda a la parte que se va a examinar, oriente en la misma dirección en que se va a realizar el escaneo, y obtenga un valor de dB de indicaciones, como se explicó arriba, de al menos tres ubicaciones.
4. La diferencia en dB entre la maqueta o el bloque de calibración y el promedio de lo que se obtuvo en la parte que se va a examinar debe registrarse y usarse para ajustar la sensibilidad estándar.

Figura Q.4—Corrección de transferencia (véase Q6.1)

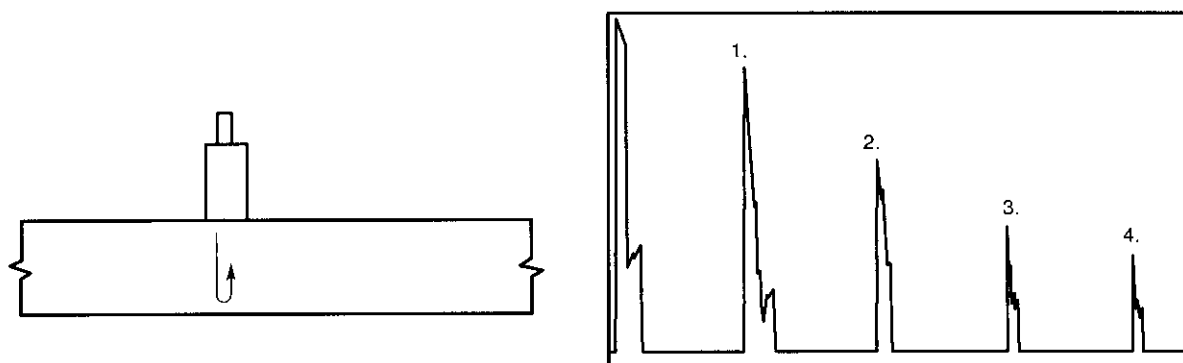


**Figura Q.5—Profundidad de onda de compresión (calibración de barrido horizontal)
(véase Q6.2.1)**

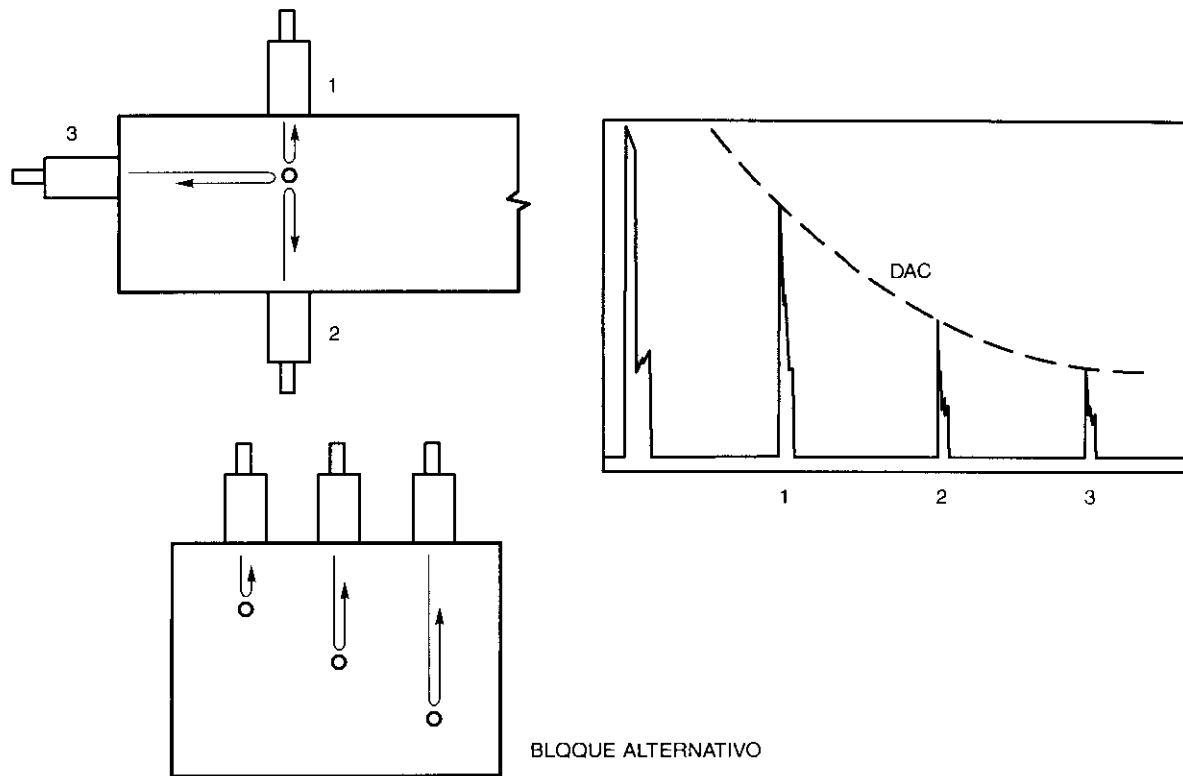


Figura Q.6—Calibración de sensibilidad de onda de compresión (véase Q6.2.2)

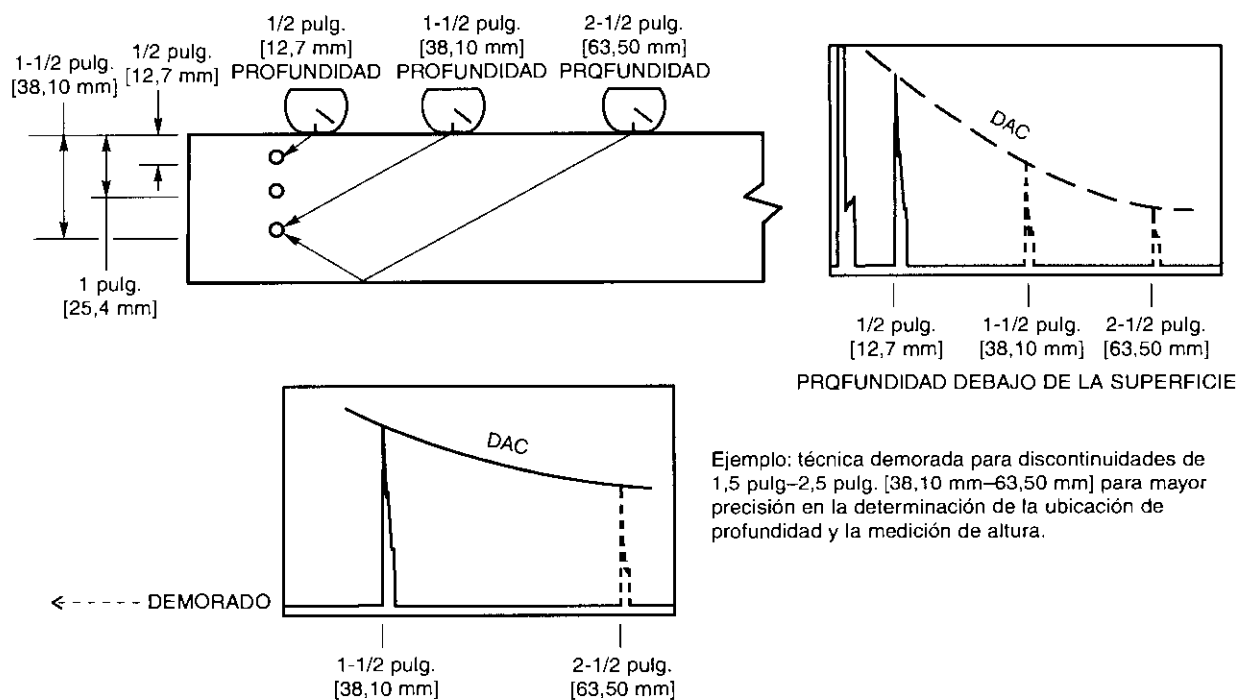
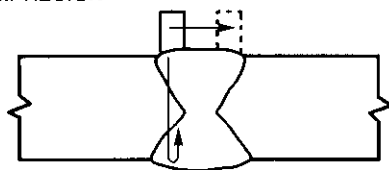
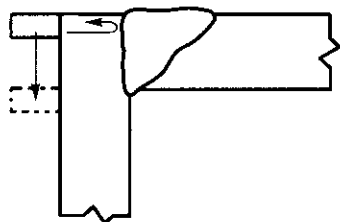


Figura Q.7—Calibración de sensibilidad y distancia de onda de cizallamiento (véase Q6.3.1)

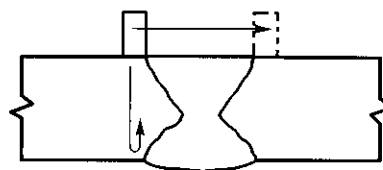
ONDA DE COMPRESIÓN



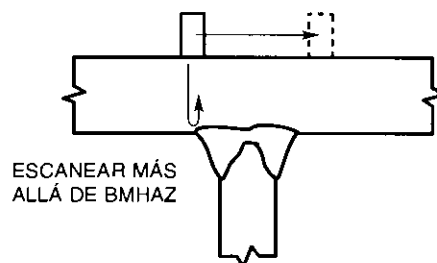
SOLDADURA ESMERILADA PLANA



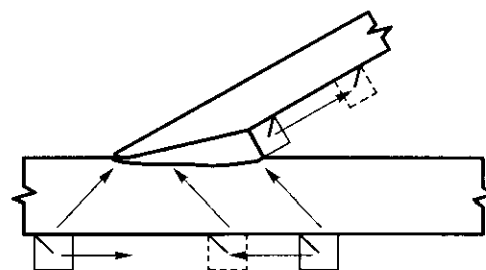
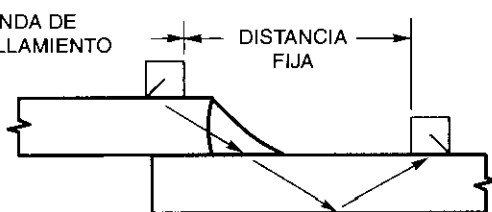
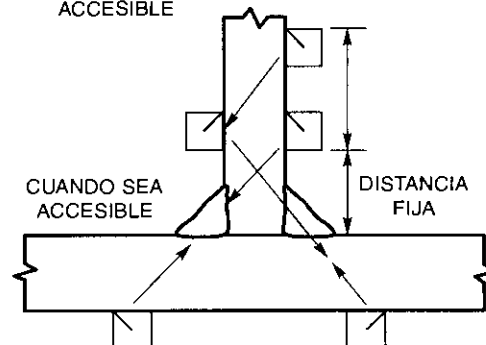
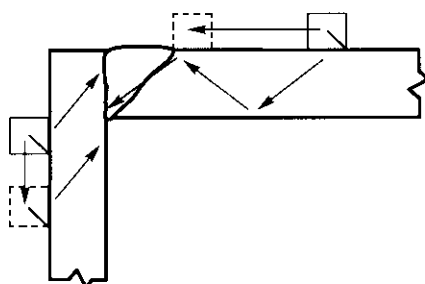
ESCANEAR MÁS ALLÁ DE BMHAZ



SOLDADURA ESMERILADA AL RAS (PREFERIDA)



ONDA DE CIZALLAMIENTO

CUANDO SEA
ACCESIBLECUANDO SEA
ACCESIBLEDISTANCIA
FIJA

Notas:

1. Denote el escaneo, de lo contrario la unidad debe estar a una distancia fija desde la soldadura mientras se escanea la soldadura.
2. Se muestra el escaneo de sección cruzada. Se supone que el escaneo también se realizará completamente por la longitud de la soldadura con un mínimo de 25% de traslape para garantizar una cobertura del 100%. Es posible que todas las posiciones de escaneo no se requieran para una cobertura completa. Se ofrecen posiciones opcionales en caso de que la inaccesibilidad no permita el uso de algunas posiciones.

Figura Q.8—Métodos de escaneo (véase Q7)

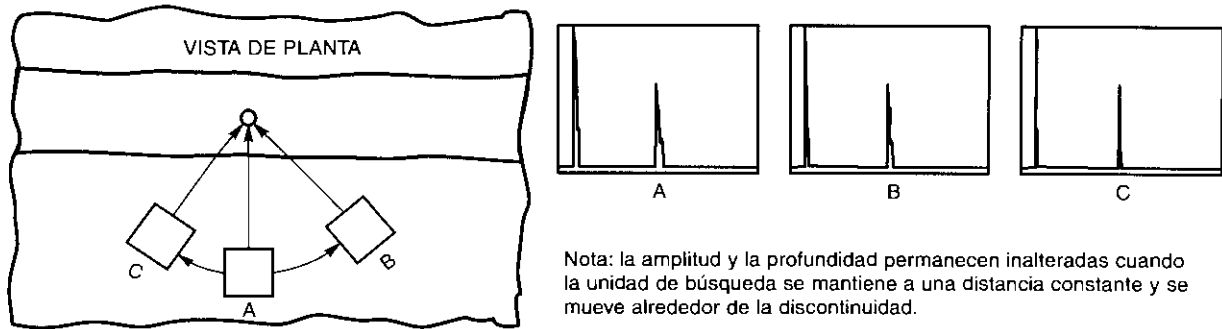


Figura Q.9—Características de discontinuidad esférica (véase Q8.2.1)

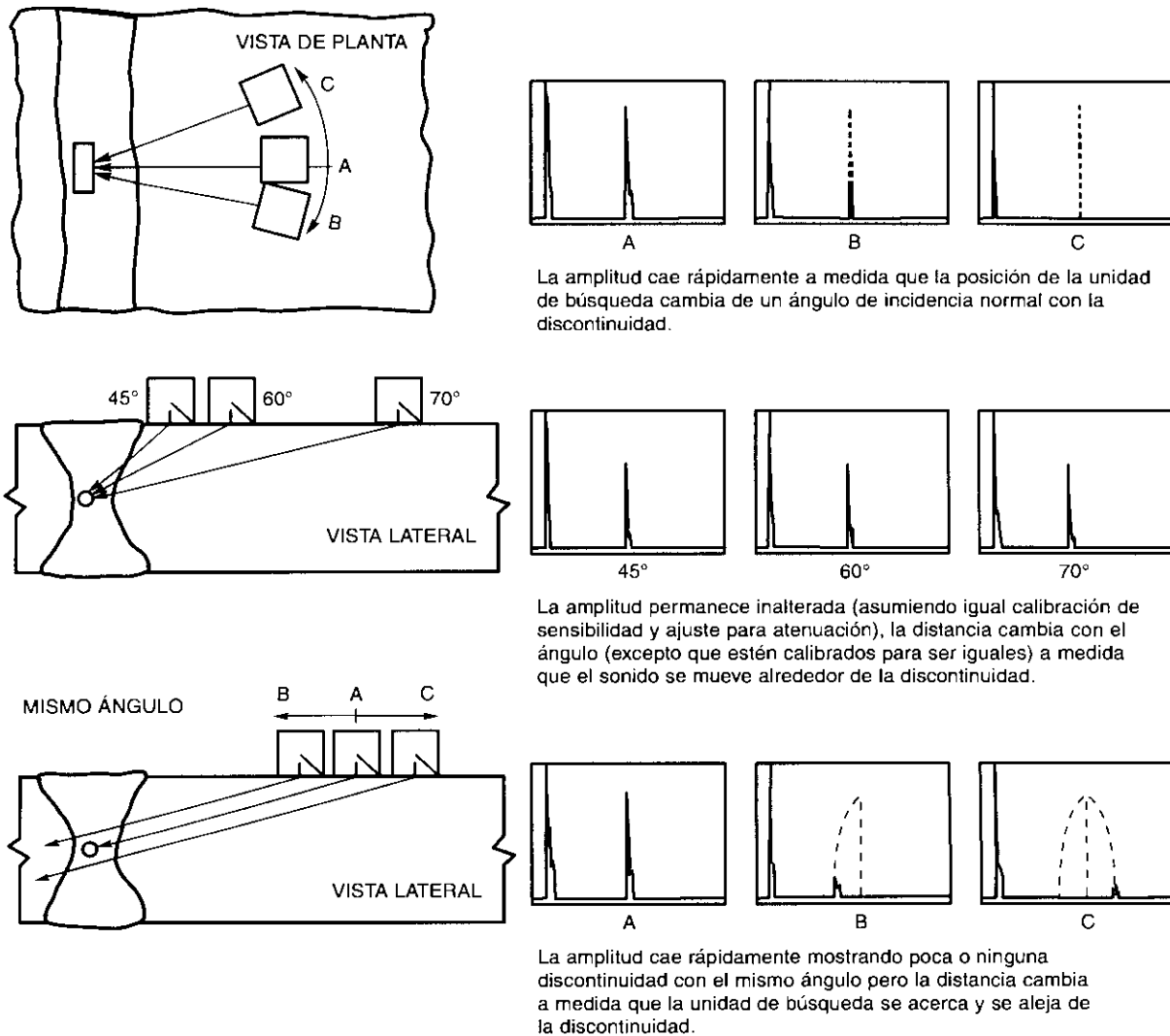


Figura Q.10—Características de discontinuidad cilíndrica (véase Q8.2.2)

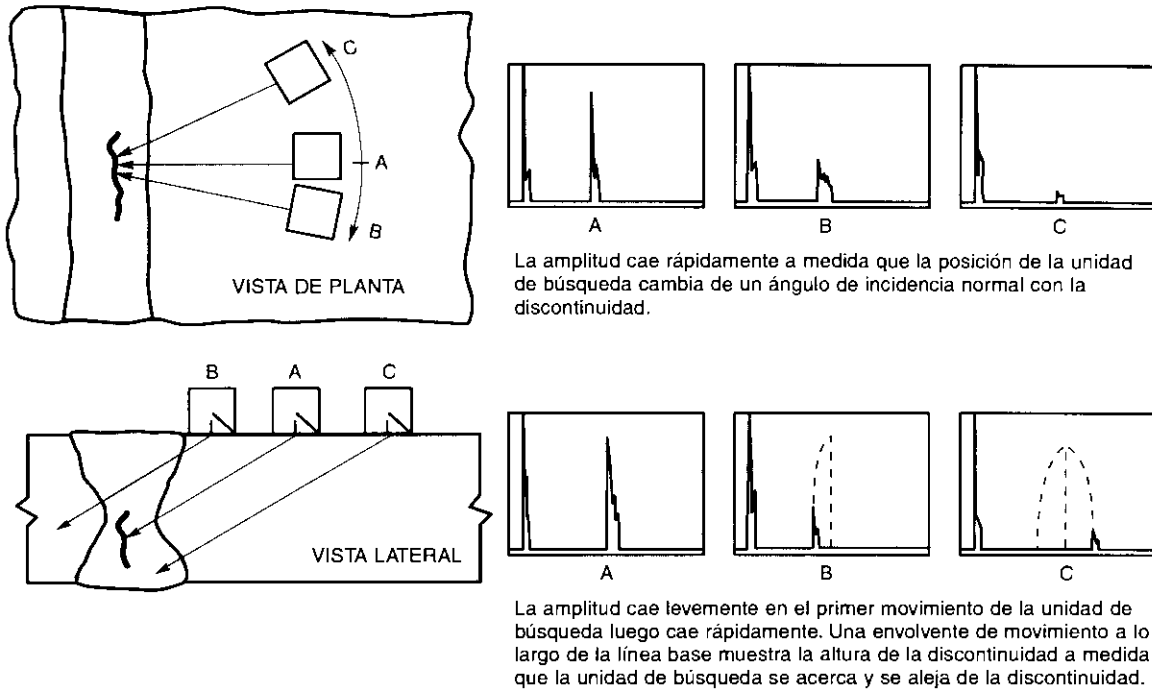


Figura Q.11—Características de discontinuidad planar (véase Q8.2.3)

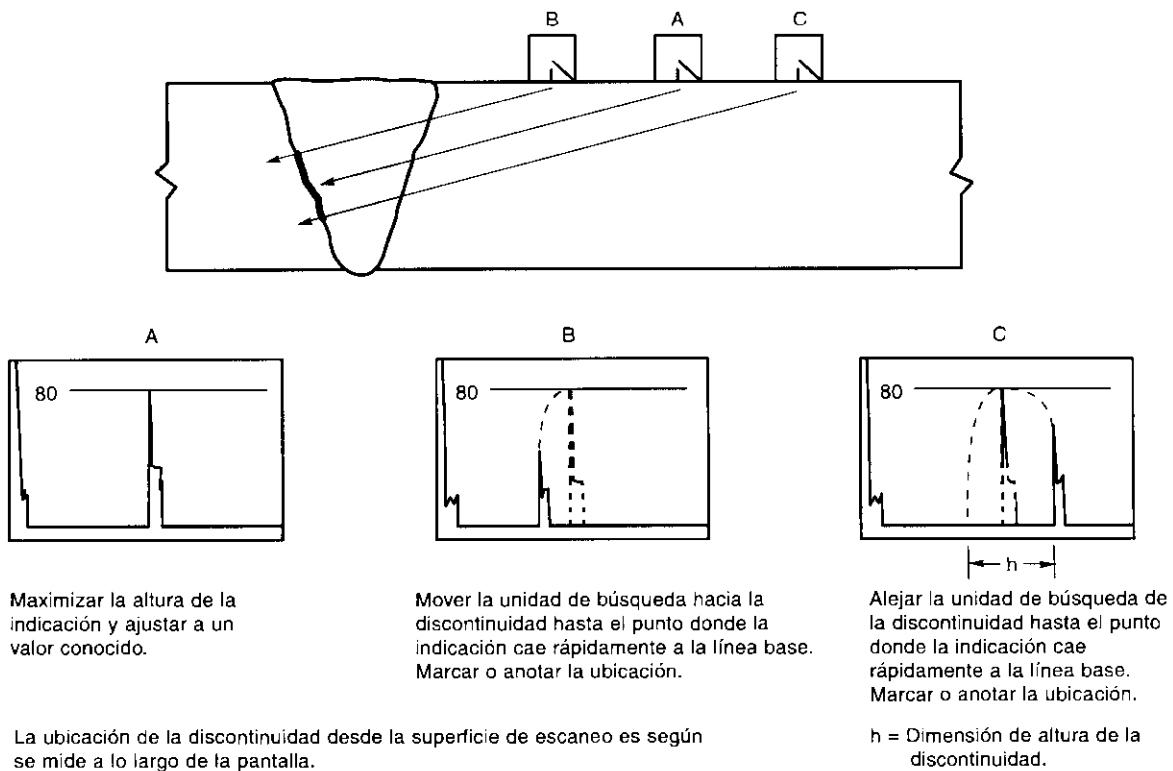


Figura Q.12—Dimensión de altura de la discontinuidad (véase Q9.2)

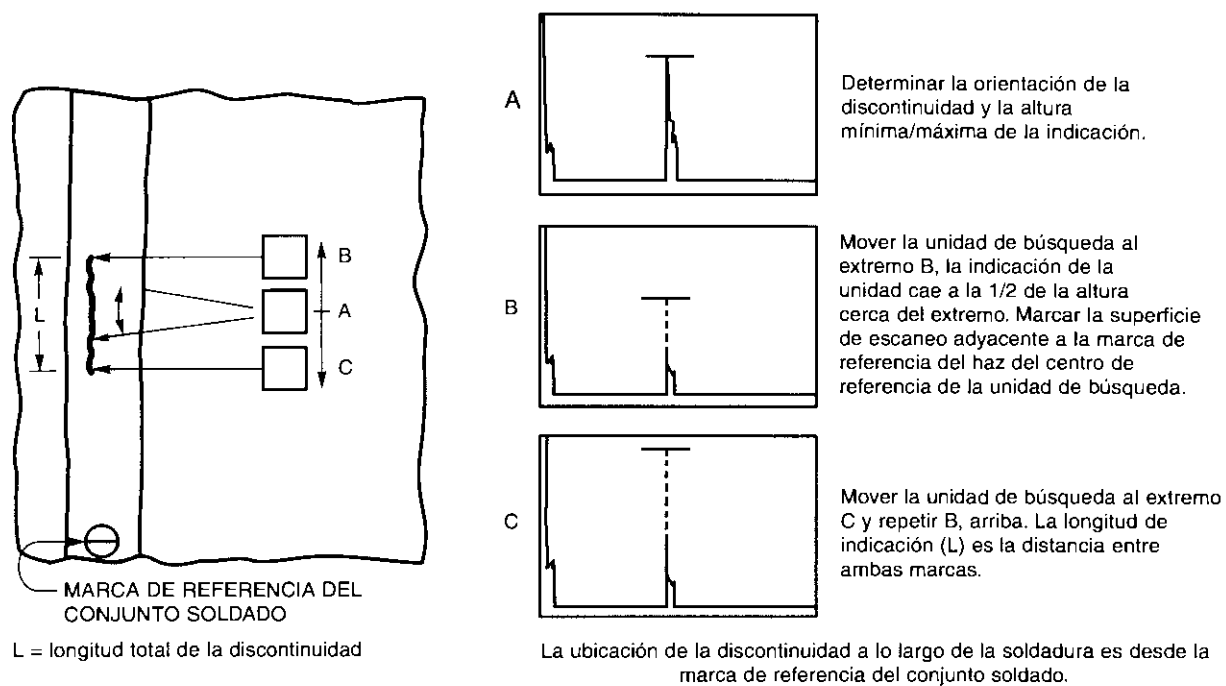
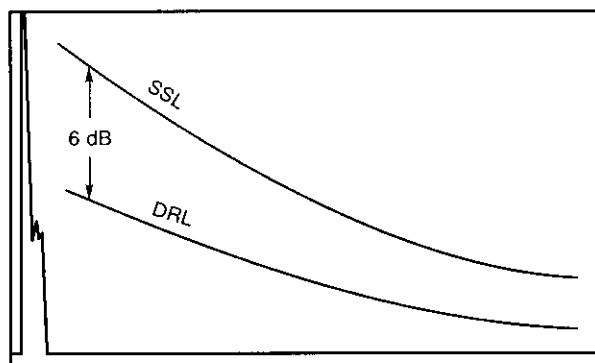


Figura Q.13—Dimensión de longitud de la discontinuidad (véase Q9.3)



Nota: Es posible que la pantalla esté marcada para mostrar SSL establecido durante la calibración de sensibilidad con el DRL ubicado 6 dB por debajo.

Figura Q.14—Marcado en la pantalla (véase Q11)

Página _____ de _____

Proyecto _____ N.º de informe _____

I.D. de soldadura _____ Espesor _____ Clase _____

N.º de procedimiento UT _____ Técnica _____

Instrumento de UT _____

Unidad de búsqueda: N.º _____ Ángulo _____ Frec. _____ Tamaño _____

RESULTADO (identifique y describa cada discontinuidad)

N.º	Ubicación desde	Ampl. Nivel	Longitud	Altura	Comentarios

Bosquejo (identifique cada discontinuidad que figura arriba)

Téc. NDT _____ Contratista _____

Fecha de inspección _____ Aprobado _____

Fecha de aprobación _____

Figura Q.15—Informe de UT (procedimiento alternativo) (véase Q13)

Anexo R (Informativo)

Parámetro ovalizante alfa

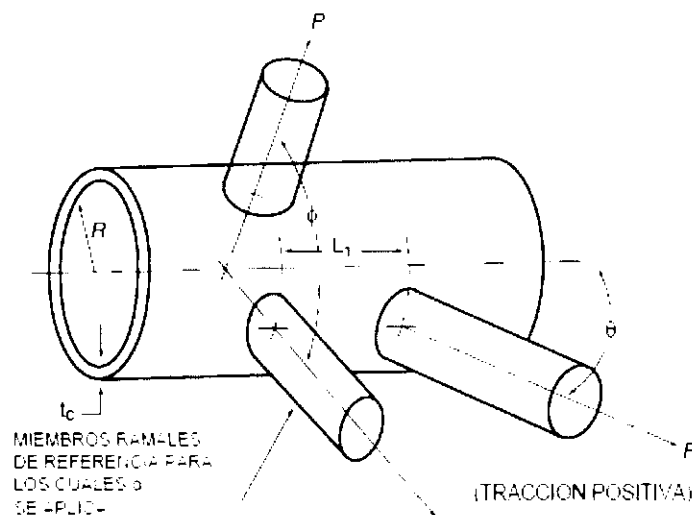
Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

La Figura R.1 da una fórmula y define los términos usados para componer un valor del parámetro ovalizante de cordón alfa α cuando se designan juntas tubulares multiplanares. Los valores de alfa obtenidos son compatibles tanto con el diseño de fuerza estática (Tabla 9.6) como la fatiga (Tabla 9.3, Nota e) utilizando el formato de cizallamiento por punzonado.

Alfa se evalúa por separado para cada rama en que se revisa el cizallamiento por punzonado (la “abrazadera de referencia”), y para cada caso de carga, haciendo la suma total en todas las abrazaderas presentes en el nodo, cada vez que se evalúa alfa. En resumen, el término coseno expresa la influencia de las abrazaderas como una función de posición alrededor de la circunferencia, y el término deterioro exponencial expresa la influencia reductora de las abrazadera a medida que aumenta la distancia L_1 ; estos términos son ambos una unidad para la abrazadera de referencia, que apa-

rece de nuevo en el denominador. En ámbitos de espacio complejos, el cálculo repetitivo puede incorporarse en un postprocesador de diseño de juntas al análisis computarizado del diseño.

En el caso de cálculos manuales, puede que el diseñador prefiera las formas más simples de alfa que se proporcionan en la Tabla 9.6. Sin embargo, estas no cubren los casos multiplanares donde se pueden aplicar valores más altos de alfa (por ej., 3,8 para una junta en cruz estilo buje con cuatro ramas), y requieren en cierto modo una clasificación arbitraria de los tipos de juntas. En el caso de las juntas cuyo patrón de carga está entre los casos estándar (por ej., parte de la carga se transporta como en una junta en K- y parte como en una junta en T-), se deben determinar los valores interpolados de alfa. El alfa calculada se encargará de esto automáticamente.



$$z = \frac{L_1}{R/t_c}$$

$$\gamma = \frac{R}{t_c}$$

$$\alpha = 1.0 + 0.7 \frac{\sum P \sin \theta \cos 2\theta e^{-z(0.6)^{0.1}}}{\left[P \sin \theta \right] \text{ RAMALES DE REFERENCIA PARA LOS CUALES SE APLICA } \alpha}$$

(TRACCION POSITIVA)

Figura R.1—Definición de términos para alfa calculada

Anexo S (informativo)

Lista de documentos de referencia

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

1. AISC Especificación de diseño de factor de carga y resistencia para acero estructural en construcciones
2. ANSI/AISC 360-10, Especificación para construcciones estructurales
3. ANSI Z49.1, Seguridad de los procesos de soldadura, corte y afines
4. API 2W, Especificación para placas de acero en estructuras marinas, producidas mediante procesamiento de control termomecánico
5. API 2Y, Especificación para placas de acero, templado y revenido, para estructuras marinas
6. ASME Código de Calderas y Recipientes a Presión, Sección V, Artículo 2
7. ASME B46.1, Textura de la superficie (aspereza, ondulación y fallas de una superficie)
8. American Society for Nondestructive Testing, Práctica recomendada n.º SNT-TC-1A
9. ASTM A108, Especificación para barras de acero, grados de carbono, acabado en frío y calidad estándar
10. ASTM A370, Ensayos mecánicos de productos de acero
11. ASTM A435, Especificación para inspección ultrasónica de haz recto en placas de acero
12. ASTM A6, Especificación estándar para requisitos generales para barras, placas, formas y tablestacas de acero laminado estructural
13. ASTM A673, Especificación para procedimiento de muestreo para ensayos de impacto de acero estructural
14. ASTM E23, Métodos estándar para ensayos de impacto en probeta entallada de materiales metálicos, para probeta de impacto Charpy tipo A (haz único)
15. ASTM E92, Método de ensayo para dureza Vickers de materiales metálicos
16. ASTM E94, Práctica estándar recomendada para pruebas radiográficas
17. ASTM E140, Tablas de conversión de dureza para metales
18. ASTM E142, Método estándar para controlar la calidad de pruebas radiográficas
19. ASTM E165, Método de ensayo para inspección mediante líquidos penetrantes
20. ASTM E709, Guía para inspección por partículas magnéticas
21. ASTM E747, Control de calidad de pruebas radiográficas usando penetrómetros de alambre
22. ASTM E1032, Inspección radiográfica de soldaduras
23. Todos los metales base de ASTM que figuran en las Tablas 3.1 y 4.9 se encuentran en ASTM 01.04, Acero—Vías férreas estructurales, reforzadas, con recipientes a presión, ASTM 01.03, Placa, lámina, tira, alambre de acero; barra de acero inoxidable, y ASTM 01.01, Tuberías, tubos, accesorios de acero
24. AWS A2.4:2007, Símbolos estándar para soldadura, soldadura fuerte e inspección no destructiva
25. AWS A3.0, Términos y definiciones de soldadura estándar, incluidos términos para junta adhesiva, soldadura fuerte, soldadura blanda, corte térmico y termorrociado
26. AWS A5.01M/A5.01:2013 (ISO 14344:2010 MOD), Pautas de adquisición de consumibles—Procesos de soldadura y afines—Procesos de soldadura eléctrica con fundente y gas de protección

27. AWS A5.1/A5.1M:2012, *Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico revestido*
28. AWS A5.5/A5.5M:2014, *Especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo metálico revestido*
29. AWS A5.12M/A5.12:2009 (ISO 6848:2004 MOD), *Especificación de electrodos de tungsteno y tungsteno con óxido disperso para soldadura y corte por arco*
30. AWS A5.17/A5.17M-97 (R2007), *Especificación para fundentes y electrodos de acero al carbono para soldadura por arco sumergido*
31. AWS A5.18/A5.18M:2005, *Especificación para varillas y electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con gas de protección*
32. AWS A5.20/A5.20M:2005, *Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con núcleo de fundente*
33. AWS A5.23/A5.23M:2011, *Especificación para fundentes y electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco sumergido*
34. AWS A5.25/A5.25M-97 (R2009), *Especificación para fundentes y electrodos de carbono y acero de baja aleación para soldadura de electroescoria*
35. AWS A5.26/A5.26M-97 (R2009), *Especificación para electrodos de carbono y acero de baja aleación para soldadura por electrogás*
36. AWS A5.28/A5.28M:2005, *Especificación para metales de aporte de acero de baja aleación para soldadura por arco con gas de protección*
37. AWS A5.29/A5.29M:2010, *Especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente*
38. AWS A5.30/A5.30M:2007, *Especificación para insertos consumibles*
39. AWS A5.32M/A5.32:2011 (ISO 14175:2008 MOD), *Consumibles de soldadura—Gases y mezclas de gases para soldadura por fusión y procesos afines*
40. AWS A5.36/A5.36M:2012, *Especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*
41. AWS B1.10M/B1.10:2009, *Guía para inspección no destructiva de soldaduras*
42. AWS C4.1-77 (R2010), *Criterios para describir las superficies de corte con oxígeno y el medidor de rugosidad de la superficie en el corte con oxígeno*
43. AWS C5.4-93, *Prácticas recomendadas para la soldadura de pernos*
44. AWS D1.0, *Código para soldadura en construcción de edificios*
45. AWS D1.3/D1.3M:2008, *Código de soldadura estructural—Acero laminado*
46. AWS D1.6/D1.6M:2007, *Código de soldadura estructural—Acero inoxidable*
47. AWS D2.0, *Especificación para puentes soldados para autopistas y ferrocarriles*
48. AWS QC1:2007, *Norma para certificación AWS de inspectores de soldaduras*
49. AWS *Manual de soldadura*, Volumen 1, 9ª edición, Capítulo 13
50. Asociación Canadiense de Normas (CSA) Norma W178.2, *Certificación de inspectores de soldadura*
51. Bloque de referencia ultrasónica del Instituto Internacional de Soldadura (IIW)

Anexo T (informativo)

Propiedades de resistencia del metal de aporte

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

Los datos que contiene este anexo fueron copiados de la especificación A5 apropiada. Los valores que se muestran son solo para fines de referencia, y es posible que se tengan que controlar otras variables del proceso para lograr la resistencia a la tracción nominal y la resistencia a la tensión nominal. (véase la especificación de metal de aporte AWS A5 correspondiente para obtener una descripción más específica.)

AWS A5.1/A5.1M, especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico revestido^{a, b}

Clasificación de AWS		Resistencia a la tracción		Límite elástico con una desviación del 0,2%		Porcentaje de alargamiento en longitud de diámetro 4x
A5.1	A5.1M	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	
E6010	E4310	60	430	48	330	22
E6011	E4311	60	430	48	330	22
E6012	E4312	60	430	48	330	17
E6013	E4313	60	430	48	330	17
E6018	E4318	60	430	48	330	22
E6019	E4319	60	430	48	330	22
E6020	E4320	60	430	48	330	22
E6022	E4322	60	430	No especificado		No especificado
E6027	E4327	60	430	48	330	22
E7014	E4914	70	490	58	400	17
E7015	E4915	70	490	58	400	22
E7016	E4916	70	490	58	400	22
E7018	E4918	70	490	58	400	22
E7024	E4924	70	490	58	400	17 ^c
E7027	E4927	70	490	58	400	22
E7028	E4928	70	490	58	400	22
E7048	E4948	70	490	58	400	22
E7018M	E4918M	Nota d	Nota d	53–72 ^e	370–500 ^e	24

^a Hay requisitos en la condición tal como se soldó con envejecimiento.

^b Los valores únicos son los mínimos.

^c El metal de la soldadura de los electrodos identificados como E7024-1 [E4924-1] deben tener un alargamiento del 22% como mínimo.

^d La resistencia a la tracción de este metal de soldadura es 70 ksi [490 MPa] nominal.

^e Para los electrodos de 3/32 pulgada [2,4 mm], el límite elástico máximo es de 77 ksi [530 MPa].

**AWS A5.5/A5.5M, especificación para electrodos de acero de baja aleación
para soldadura por arco con electrodo metálico revestido^a**

Clasificación de AWS ^b		Resistencia a la tracción		Límite elástico, con una desviación del 0,2%		Alargamiento	Condición posterior a la soldadura ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	Porcentaje	
E7010-P1	E4910-P1	70	490	60	415	22	AW
E7010-A1	E4910-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7010-G	E4910-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7011-A1	E4911-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7011-G	E4911-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7015-X	E4915-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7015-B2L	E4915-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7015-G	E4915-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7016-X	E4916-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7016-B2L	E4916-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7016-G	E4916-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7018-X	E4918-X	70	490	57	390	22	PWHT
E7018-B2L	E4918-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7018-C3L	E4918-C3L	70	490	57	390	22	AW
E7018-W1	E4918-W1	70	490	60	415	22	AW
E7018-G	E4918-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7020-A1	E4920-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7020-G	E4920-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E7027-A1	E4927-A1	70	490	57	390	22	PWHT
E7027-G	E4927-G	70	490	57	390	22	AW o PWHT
E8010-P1	E5510-P1	80	550	67	460	19	AW
E8010-G	E5510-G	80	550	67	460	19	AW o PWHT
E8011-G	E5511-G	80	550	67	460	19	AW o PWHT
E8013-G	E5513-G	80	550	67	460	16	AW o PWHT
E8015-X	E5515-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8015-B3L	E5515-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8015-G	E5515-G	80	550	67	460	19	AW o PWHT
E8016-X	E5516-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8016-C3	E5516-C3	80	550	68 a 80 ^d	470 a 550 ^d	24	AW
E8016-C4	E5516-C4	80	550	67	460	19	AW
E8016-G	E5516-G	80	550	67	460	19	AW o PWHT
E8018-X	E5518-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8018-B3L	E5518-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8018-C3	E5518-C3	80	550	68 a 80 ^d	470 a 550 ^d	24	AW
E8018-C4	E5518-C4	80	550	67	460	19	AW
E8018-NM1	E5518-NM1	80	550	67	460	19	AW
E8018-P2	E5518-P2	80	550	67	460	19	AW
E8018-W2	E5518-W2	80	550	67	460	19	AW
E8018-G	E5518-G	80	550	67	460	19	AW o PWHT
E8045-P2	E5545-P2	80	550	67	460	19	AW
E9010-P1	E6210-P1	90	620	77	530	17	AW
E9010-G	E6210-G	90	620	77	530	17	AW o PWHT
E9011-G	E6211-G	90	620	77	530	17	AW o PWHT

(Continuación)

**AWS A5.5/A5.5M, especificación para electrodos de acero de baja aleación
para soldadura por arco con electrodo metálico revestido^a (Continuación)**

Clasificación de AWS ^b		Resistencia a la tracción		Límite elástico, con una desviación del 0,2%		Alargamiento	Condición posterior a la soldadura ^c
A5.5	A5.5M	ksi	MPa	ksi	MPa	Porcentaje	
E9013-G	E6213-G	90	620	77	530	14	AW o PWHT
E9015-X	E6215-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9015-G	E6215-G	90	620	77	530	17	AW o PWHT
E9016-X	E6216-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9016-G	E6216-G	90	620	77	530	17	AW o PWHT
E9018M	E6218M	90	620	78 a 90 ^d	540 a 620 ^d	24	AW
E9018-P2	E6218-P2	90	620	77	530	17	AW
E9018-X	E6218-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9018-G	E6218-G	90	620	77	530	17	AW o PWHT
E9045-P2	E6245-P2	90	620	77	530	17	AW
E10010-G	E6910-G	100	690	87	600	16	AW o PWHT
E10011-G	E6911-G	100	690	87	600	16	AW o PWHT
E10013-G	E6913-G	100	690	87	600	13	AW o PWHT
E10015-X	E6915-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10015-G	E6915-G	100	690	87	600	16	AW o PWHT
E10016-X	E6916-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10016-G	E6916-G	100	690	87	600	16	AW o PWHT
E10018M	E6918M	100	690	88 a 100 ^d	610 a 690 ^d	20	AW
E10018-X	E6918-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10018-G	E6918-G	100	690	87	600	16	AW o PWHT
E10045-P2	E6945-P2	100	690	87	600	16	AW
E11010-G	E7610-G	110	760	97	670	15	AW o PWHT
E11011-G	E7611-G	110	760	97	670	15	AW o PWHT
E11013-G	E7613-G	110	760	97	670	13	AW o PWHT
E11015-G	E7615-G	110	760	97	670	15	AW o PWHT
E11016-G	E7616-G	110	760	97	670	15	AW o PWHT
E11018-G	E7618-G	110	760	97	670	15	AW o PWHT
E11018M	E7618M	110	760	98 a 110 ^d	680 a 760 ^d	20	AW
E12010-G	E8310-G	120	830	107	740	14	AW o PWHT
E12011-G	E8311-G	120	830	107	740	14	AW o PWHT
E12013-G	E8313-G	120	830	107	740	11	AW o PWHT
E12015-G	E8315-G	120	830	107	740	14	AW o PWHT
E12016-G	E8316-G	120	830	107	740	14	AW o PWHT
E12018-G	E8318-G	120	830	107	740	14	AW o PWHT
E12018M	E8318M	120	830	108 a 120 ^d	745 a 830 ^d	18	AW
E12018M1	E8318M1	120	830	108 a 120 ^d	745 a 830 ^d	18	AW

^a Los valores únicos son mínimos, salvo que se especifique lo contrario.

^b La letra sufijo "X", como se usa en esta tabla, representa los sufijos (A1, B1, B2, etc.) que se prueban en la condición PWHT solamente.

^c "AW" significa tal como se soldó, que puede estar envejecido o no, a opción del fabricante. "PWHT" significa tratamiento térmico posterior a la soldadura.

^d Para electrodos de 3/32 pulgadas [2,5 mm], el valor más alto para el límite elástico puede ser 5 ksi [35 MPa] más alto que el valor indicado.

AWS A5.17/A5.17M, Especificación para fundentes y electrodos de acero al carbono para soldadura por arco sumergido

Clasificación de fundente-electrodo ^a		Resistencia a la tracción psi [MPa]	Límite elástico ^b psi [MPa]	Alargamiento ^b %
A5.17	A5.17M			
F6XX-EXXX	F43XX-EXXX	60 000–80 000 [430–560]	48 000 [330]	22
F7XX-EXXX	F48XX-EXXX	70 000–95 000 [480–660]	58 000 [400]	22

^a La letra "S" aparecerá luego de la "F" como parte de la designación de clasificación cuando el fundente que se va a clasificar es una escoria triturada o una mezcla de escoria triturada con fundente sin uso (virgen). La letra "C" aparecerá luego de la "E" como parte de la designación de clasificación cuando el electrodo que se va a clasificar es electrodo compuesto. La letra "X" que se usa en varios lugares en esta tabla representa, respectivamente, la condición del tratamiento térmico, la tenacidad del metal de la soldadura y la clasificación del electrodo.

^b Requisitos mínimos. Límite elástico con una desviación del 0,2% y alargamiento en 2 pulgadas [51 mm] de longitud calibrada.

AWS A5.18/A5.18M, Especificación para varillas y electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con gas de protección

Clasificación de AWS ^a		Gas de protección	Resistencia a la tracción (mínimo)		Límite elástico ^b (mínimo)		Alargamiento ^b % (mínimo)
A5.18	A5.18M		psi	MPa	psi	MPa	
ER70S-2	ER48S-2	CO ₂ ^c	70 000	480	58 000	400	22
ER70S-3	ER48S-3						
ER70S-4	ER48S-4						
ER70S-6	ER48S-6						
ER70S-7	ER48S-7						
ER70S-G	ER48S-G	d	70 000	480	58 000	400	22
E70C-3X	E48C-3X	75–80% Ar/balanceado con CO ₂	70 000	480	58 000	400	22
E70C-6X	E48C-6X						
E70C-G(X)	E48C-G(X)	d	70 000	480	58 000	400	22
E70C-GS(X)	E48C-GS(X)	d	70 000	480	No especificado	No especificado	

^a La X final que se muestra en la clasificación representa una "C" o "M" que corresponde al gas de protección con el que se clasifica el electrodo. El uso de "C" designa 100% CO₂ de protección (AWS A5.32 clase SG-C); "M" designa 75–80% Ar/balanceado con CO₂ (AWS A5.32 clase SG-AC-Y, donde Y es 20 a 25). Para E70C-G [E48C-G] y E70C-GS [E48C-GS], es posible que la "C" o "M" final esté omitida.

^b Límite elástico con una desviación del 0,2% y alargamiento en 2 pulgadas [50 mm] de longitud calibrada.

^c CO₂ – gas de protección de dióxido de carbono (AWS A5.32 clase SG-C). El uso de CO₂ para fines de clasificación no debe interpretarse como que se excluye el uso de mezclas de gas de protección Ar/CO₂ (AWS A5.32 clase SG-AC-Y) o Ar/O₂ (AWS A5.32 clase SG-AO-X). Un metal de aporte probado con mezclas de gas, tales como Ar/O₂ o Ar/CO₂, puede causar que el metal de la soldadura tenga una mayor resistencia y un menor alargamiento.

^d El gas de protección es según lo acordado entre el comprador y el proveedor, a menos que esté designado por el sufijo "C" o "M".

**AWS A5.20/A5.20M, especificación para electrodos de acero al carbono
para soldadura por arco con núcleo de fundente**

Clasificación de AWS		Resistencia a la tracción ksi [MPa]	Límite elástico mínimo ^a ksi [MPa]	% de alargamiento mínimo ^b	Energía de impacto Charpy entalla en V mínima
A5.20	A5.20M				
E7XT-1C, -1M	E49XT-1C, -1M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) 0 °F [27 J (<i>a</i>) –20 °C]
E7XT-2C ^c , -2M ^c	E49XT-2C ^c , -2M ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-3 ^c	E49XT-3 ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-4	E49XT-4	70–95 [490–670]	58 [390]	22	No especificado
E7XT-5C, -5M	E49XT-5C, -5M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) –20 °F [27 J (<i>a</i>) –30 °C]
E7XT-6	E49XT-6	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) –20 °F [27 J (<i>a</i>) –30 °C]
E7XT-7	E49XT-7	70–95 [490–670]	58 [390]	22	No especificado
E7XT-8	E49XT-8	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) –20 °F [27 J (<i>a</i>) –30 °C]
E7XT-9C, -9M	E49XT-9C, -9M	70–95 [490–670]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) –20 °F [27 J (<i>a</i>) –30 °C]
E7XT-10 ^c	E49XT-10 ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-11	E49XT-11	70–95 [490–670]	58 [390]	20 ^d	No especificado
E7XT-12C, -12M	E49XT-12C, -12M	70–90 [490–620]	58 [390]	22	20 ft·lbf (<i>a</i>) –20 °F [27 J (<i>a</i>) –30 °C]
E6XT-13 ^c	E43XT-13 ^c	60 [430] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-13 ^c	E49XT-13 ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-14 ^c	E49XT-14 ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E6XT-G	E43XT-G	60–80 [430–600]	48 [330]	22	No especificado
E7XT-G	E49XT-G	70–95 [490–670]	58 [390]	22	No especificado
E6XT-GS ^c	E43XT-GS ^c	60 [430] mín.	No especificado	No especificado	No especificado
E7XT-GS ^c	E49XT-GS ^c	70 [490] mín.	No especificado	No especificado	No especificado

^a Límite elástico con una desviación del 0,2%.

^b En 2 pulgadas [50 mm] de longitud calibrada cuando se usa una probeta de tracción con un diámetro nominal de 0,500 pulgadas [12,5 mm] y relación de longitud calibrada nominal-diámetro de 4:1.

^c Estas clasificaciones son para soldaduras de pasada única. No son para soldaduras de pasadas múltiples. Solo se especifica la resistencia a la tracción.

^d En 1 pulgada [25 mm] de longitud calibrada cuando se usa una probeta de tracción con un diámetro nominal de 0,250 pulgadas [6,5 mm] según se permite para tamaños de 0,045 pulgadas [1,2 mm] y más pequeños de la clasificación E7XT-11[E49XT-11].

**AWS A5.23/A5.23M, Especificación para fundentes y electrodos
de acero de baja aleación para soldadura por arco sumergido**

Clasificación de fundente-electrodo ^a		Resistencia a la tracción ^b psi [MPa]	Limite elástico ^b (desviación del 0,2%) psi [MPa]	Alargamiento ^b (%)
A5.23	A5.23M			
Clasificaciones de pasadas múltiples				
F7XX-EXX-XX	F49XX-EXX-XX	70 000–95 000 [490–660]	58 000 [400]	22
F8XX-EXX-XX	F55XX-EXX-XX	80 000–100 000 [550–700]	68 000 [470]	20
F9XX-EXX-XX	F62XX-EXX-XX	90 000–110 000 [620–760]	78 000 [540]	17
F10XX-EXX-XX	F69XX-EXX-XX	100 000–120 000 [690–830]	88 000 [610]	16
F11XX-EXX-XX	F76XX-EXX-XX	110 000–130 000 [760–900]	98 000 [680]	15 ^c
F12XX-EXX-XX	F83XX-EXX-XX	120 000–140 000 [830–970]	108 000 [740]	14 ^c
F13XX-EXX-XX	F90XX-EXX-XX	130 000–150 000 [900–1040]	118 000 [810]	14 ^c
Clasificaciones de dos tramos				
F6TXX-EXX	F43TXX-EXX	60 000 [430]	50 000 [350]	22
F7TXX-EXX	F49TXX-EXX	70 000 [490]	60 000 [415]	22
F8TXX-EXX	F55TXX-EXX	80 000 [550]	70 000 [490]	20
F9TXX-EXX	F62TXX-EXX	90 000 [620]	80 000 [555]	17
F10TXX-EXX	F69TXX-EXX	100 000 [690]	90 000 [625]	16
F11TXX-EXX	F76TXX-EXX	110 000 [760]	100 000 [690]	15
F12TXX-EXX	F83TXX-EXX	120 000 [830]	110 000 [760]	14
F13TXX-EXX	F90TXX-EXX	130 000 [900]	120 000 [830]	14

^a La letra "S" aparecerá luego de la "F" como parte de la designación de clasificación cuando el fundente que se va a clasificar es una escoria triturada o una mezcla de escoria triturada con fundente sin uso (virgen). La letra "C" aparecerá luego de la "E" como parte de la designación de clasificación cuando el electrodo usado es un electrodo compuesto. *Para las clasificaciones de dos tramos, la letra "G" aparecerá después del indicador de impacto (inmediatamente antes del guión) para indicar que el acero base utilizado para la clasificación no es uno de los aceros base prescritos en AWS A5.23/A5.23M, sino que un acero diferente, según lo acordado entre el comprador y el proveedor.* La letra "X" que se usa en varios lugares de esta tabla representa, respectivamente, la condición del tratamiento térmico, la tenacidad del metal de la soldadura y la clasificación del metal de la soldadura.

^b Para las clasificaciones de múltiples pasadas, los requisitos que figuran en esta tabla para el límite elástico y el % de alargamiento (en 2 pulgadas [50 mm] de longitud calibrada) son los requisitos mínimos. *Para las clasificaciones de dos tramos, los requisitos que figuran para la resistencia a la tracción, el límite elástico y el % de alargamiento (en 1 pulgada [25 mm] de longitud calibrada) son todos requisitos mínimos.*

^c El alargamiento puede reducirse en un punto porcentual para metales de soldadura F11XX-EXX-XX, F11XX-ECXX-XX, F12XX-EXX-XX, F12XX-ECXX-XX, F13XX-EXX-XX, y F13XX-ECXX-XX [F76-EXX-XX, F76-ECXX-XX, F83XX-EXX-XX, F83XX-ECXX-XX, F90XX-EXX-XX, y F90XX-ECXX-XX] que están por sobre el 25% de su rango de resistencia a la tracción.

**AWS A5.28/A5.28M, especificación para varillas y electrodos de acero
de baja aleación para soldadura por arco con gas de protección**

Clasificación de AWS		Gas de protección ^a	Resistencia a la tracción (mínima)		Límite elástico ^b (mínimo)		Porcentaje de alargamiento ^b (mínimo)	Condición del ensayo
A5.28	A5.28M		psi	MPa	psi	MPa		
ER70S-B2L E70C-B2L ER70S-A1	ER49S-B2L E49C-B2L ER49S-A1	Argón/1–5% O ₂ (Clases SG-AO-1 a SG-AO-5)	75 000	515	58 000	400	19	PWHT
ER80S-B2 E80C-B2	ER55S-B2 E55C-B2		80 000	550	68 000	470	19	
ER80S-B3L E80C-B3L	ER55S-B3L E55C-B3L		80 000	550	68 000	470	17	
ER90S-B3 E90C-B3	ER62S-B3 E62C-B3		90 000	620	78 000	540	17	
ER80S-B6	ER55S-B6		80 000	550	68 000	470	17	
E80C-B6	E55C-B6		80 000	550	68 000	470	17	
ER80S-B8	ER55S-B8		80 000	550	68 000	470	17	
E80C-B8	E55C-B8		80 000	550	68 000	470	17	
ER90S-B9	ER62S-B9	Argón/5% O ₂ (Clase SG-AC-5)	90 000	620	60 000	410	16	
E90C-B9	E62C-B9	Argón/5–25% CO ₂ (Clases SG-AC-5 a SG-AC-25)						
E70C-Ni2	E49C-Ni2	Argón/1–5% O ₂ (Clases SG-AO-1 a SG-AO-5)	70 000	490	58 000	400	24	PWHT
ER80S-Ni1 E80C-Ni1	ER55S-Ni1 E55C-Ni1		80 000	550	68 000	470	24	Tal como se soldó
ER80S-Ni2 E80C-Ni2 ER80S-Ni3 E80C-Ni3	ER55S-Ni2 E55C-Ni2 ER55S-Ni3 E55C-Ni3		80 000	550	68 000	470	24	PWHT
ER80S-D2	ER55S-D2	CO ₂ (Clase SG-C)	80 000	550	68 000	470	17	Tal como se soldó
ER90S-D2 E90C-D2	ER62S-D2 E62C-D2	Argón/1–5% O ₂ (Clases SG-AO-1 a SG-AO-5)	90 000	620	78 000	540	17	
ER100S-1	ER69S-1	Argón/2% O ₂ (Clase SG-AO-2)	100 000	690	88 000	610	16	
ER110S-1	ER76S-1		110 000	760	95 000	660	15	
ER120S-1	ER83S-1		120 000	830	105 000	730	14	
E90C-K3	E62C-K3	Argón/5–25% CO ₂ (Clases SG-AC-5 a SG-AC-25)	90 000	620	78 000	540	18	
E100C-K3	E69C-K3		100 000	690	88 000	610	16	
E110C-K3 E110C-K4	E76C-K3 E76C-K4		110 000	760	98 000	680	15	
E120C-K4	E83C-K4		120 000	830	108 000	750	15	
E80C-W2	E55C-W2		80 000	550	68 000	470	22	

(Continuación)

**AWS A5.28/A5.28M, especificación para varillas y electrodos de acero
de baja aleación para soldadura por arco con gas de protección (Continuación)**

Clasificación de AWS		Gas de protección ^a	Resistencia a la tracción (mínima)		Límite elástico ^b (mínimo)		Porcentaje de alargamiento ^b (mínimo)	Condición del ensayo
A5.28	A5.28M		psi	MPa	psi	MPa		
ER70S-G E70C-G	ER49S-G E49C-G	Nota c	70 000	490	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d
ER80S-G E80C-G	ER55S-G E55C-G	Nota c	80 000	550	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d
ER90S-G E90C-G	ER62S-G E62C-G	Nota c	90 000	620	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d
ER100S-G E100C-G	ER69S-G E69C-G	Nota c	100 000	690	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d
ER110S-G E110C-G	ER76S-G E76C-G	Nota c	110 000	760	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d
ER120S-G E120C-G	ER83S-G E83C-G	Nota c	120 000	830	Nota d	Nota d	Nota d	Nota d

^a El uso de un gas de protección específico para fines de clasificación no debe interpretarse como que se restringe el uso de otras mezclas de gas. Un metal de aporte probado con otras mezclas de gas, tales como argón/O₂ o argón/CO₂ puede causar que el metal de la soldadura tenga una resistencia y alargamiento diferentes.

^b Límite elástico con una desviación del 0,2% y alargamiento en 2 pulgadas [51 mm] de longitud calibrada.

^c El gas de protección debe ser según lo acordado entre el comprador y el proveedor.

^d No especificado (según lo acordado entre el comprador y el proveedor).

AWS A5.29/A5.29M, especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente.

Clasificación de AWS ^{a, b}			Resistencia a la tracción ksi [MPa]	Límite elástico ksi [MPa]	% mínimo de alargamien to	Energía de impacto Charpy entalla en V mínima
A5.29	A5.29M	Condición ^c				
E7XT5-A1C, -A1M	E49XT5-A1C, -A1M	PWHT	70-90 [490-620]	58 [400] mín.	20	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E8XT1-A1C, -A1M	E55XT1-A1C, -A1M	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	No especificado
E8XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	E55XT1-B1C, -B1M, -B1LC, -B1LM	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	No especificado
E8XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	E55XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	No especificado
E8XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	E55XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM					
E9XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	E62XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	PWHT	90-110 [620-760]	78 [540] mín.	17	No especificado
E9XT5-B3C, -B3M	E62XT5-B3C, -B3M					
E10XT1-B3C, -B3M	E69XT1-B3C, -B3M	PWHT	100-120 [690-830]	88 [610] mín.	16	No especificado
E8XT1-B6C, ^d -B6M, ^d -B6LC, ^d -B6LM, ^d E8XT5-B6C, ^d -B6M, ^d -B6LC, ^d -B6LM ^d	E55XT1-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM E55XT5-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	No especificado
E8XT1-B8C, ^d -B8M, ^d -B8LC, ^d -B8LM ^d E8XT5-B8C, ^d -B8M, ^d -B8LC, ^d -B8LM ^d	E55XT1-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM E55XT5-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	No especificado
E9XT1-B9C, -B9M	E62XT1-B9C, -B9M	PWHT	90-120 [620-830]	78 [540] mín.	16	No especificado
E6XT1-Ni1C, -Ni1M	E43XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	60-80 [430-550]	50 [340] mín.	22	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E7XT6-Ni1	E49XT6-Ni1	AW	70-90 [490-620]	58 [400] mín.	20	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E7XT8-Ni1	E49XT8-Ni1	AW	70-90 [490-620]	58 [400] mín.	20	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E8XT1-Ni1C, -Ni1M	E55XT1-Ni1C, -Ni1M	AW	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E8XT5-Ni1C, -Ni1M	E55XT5-Ni1C, -Ni1M	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	20 ft-lbf @ -60 °F [27 J @ -50 °C]
E7XT8-Ni2	E49XT8-Ni2	AW	70-90 [490-620]	58 [400] mín.	20	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E8XT8-Ni2	E55XT8-Ni2	AW	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	20 ft-lbf @ -20 °F [27 J @ -30 °C]
E8XT1-Ni2C, -Ni2M	E55XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	20 ft-lbf @ -40 °F [27 J @ -40 °C]
E8XT5-Ni2C, ^e -Ni2M ^e	E55XT5-Ni2C, ^e -Ni2M ^e	PWHT	80-100 [550-690]	68 [470] mín.	19	20 ft-lbf @ -75 °F [27 J @ -60 °C]
E9XT1-Ni2C, -Ni2M	E62XT1-Ni2C, -Ni2M	AW	90-110 [620-760]	78 [540] mín.	17	20 ft-lbf @ -40 °F [27 J @ -40 °C]

(Continuación)

AWS A5.29/A5.29M, especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente.

Clasificación de AWS ^{a, b}		Condición ^c	Resistencia a la tracción ksi [MPa]	Límite elástico ksi [MPa]	% mínimo de alargamien to	Energía de impacto Charpy entalla en V mínima
A5.29	A5.29M					
E8XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	E55XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	PWHT	80–100 [550–690]	68 [470] mín.	19	20 ft·lbf @ –100 °F [27 J @ –70 °C]
E9XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	E62XT5-Ni3C, ^e -Ni3M ^e	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –100 °F [27 J @ –70 °C]
E8XT11-Ni3	E55XT11-Ni3	AW	80–100 [550–690]	68 [470] mín.	19	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E9XT1-D1C, -D1M	E62XT1-D1C, -D1M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –40 °F [27 J @ –40 °C]
E9XT5-D2C, -D2M	E62XT5-D2C, -D2M	PWHT	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E10XT5-D2C, -D2M	E69XT5-D2C, -D2M	PWHT	100–120 [690–830]	88 [610] mín.	16	20 ft·lbf @ –40 °F [27 J @ –40 °C]
E9XT1-D3C, -D3M	E62XT1-D3C, -D3M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E8XT5-K1C, -K1M	E55XT5-K1C, -K1M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] mín.	19	20 ft·lbf @ –40 °F [27 J @ –40 °C]
E7XT7-K2	E49XT7-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E7XT4-K2	E49XT4-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E7XT8-K2	E49XT8-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E7XT11-K2	E49XT11-K2	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ +32 °F [27 J @ 0 °C]
E8XT1-K2C, -K2M E8XT5-K2C, -K2M	E55XT1-K2C, -K2M E55XT5-K2C, -K2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] mín.	19	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E9XT1-K2C, -K2M	E62XT1-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E9XT5-K2C, -K2M	E62XT5-K2C, -K2M	AW	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E10XT1-K3C, -K3M	E69XT1-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] mín.	16	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E10XT5-K3C, -K3M	E69XT5-K3C, -K3M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] mín.	16	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E11XT1-K3C, -K3M	E76XT1-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] mín.	15	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E11XT5-K3C, -K3M	E76XT5-K3C, -K3M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] mín.	15	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E11XT1-K4C, -K4M	E76XT1-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] mín.	15	20 ft·lbf @ 0 °F [27 J @ –20 °C]
E11XT5-K4C, -K4M	E76XT5-K4C, -K4M	AW	110–130 [760–900]	98 [680] mín.	15	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E12XT5-K4C, -K4M	E83XT5-K4C, -K4M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] mín.	14	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]

(Continuación)

AWS A5.29/A5.29M, especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente.

Clasificación de AWS ^{a, b}		Condición ^c	Resistencia a la tracción ksi [MPa]	Limite elástico ksi [MPa]	% mínimo de alargamien to	Energía de impacto Charpy entalla en V mínima
A5.29	A5.29M					
E12XT1-K5C, -K5M	E83XT1-K5C, -K5M	AW	120–140 [830–970]	108 [745] mín.	14	No especificado
E7XT5-K6C, -K6M	E49XT5-K6C, -K6M	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ –75 °F [27 J @ –60 °C]
E6XT8-K6	E43XT8-K6	AW	60–80 [430–550]	50 [340] mín.	22	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E7XT8-K6	E49XT8-K6	AW	70–90 [490–620]	58 [400] mín.	20	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E10XT1-K7C, -K7M	E69XT1-K7C, -K7M	AW	100–120 [690–830]	88 [610] mín.	16	20 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E9XT8-K8	E62XT8-K8	AW	90–110 [620–760]	78 [540] mín.	17	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
E10XT1-K9C, -K9M	E69XT1-K9C, -K9M	AW	100–120 [690–830] ^f	82–97 [560–670]	18	35 ft·lbf @ –60 °F [27 J @ –50 °C]
E8XT1-W2C, -W2M	E55XT1-W2C, -W2M	AW	80–100 [550–690]	68 [470] mín.	19	20 ft·lbf @ –20 °F [27 J @ –30 °C]
EXXTX-G ^g , -GC, ^g -GM ^g	EXXTX-G ^g , -GC, ^g -GM ^g	La composición del depósito de soldadura, la condición del ensayo (AW o PWHT) y las propiedades de impacto Charpy entalla en V son según lo acordado entre el proveedor y el comprador. Los requisitos para el ensayo de tracción, posicionalidad, sistema de escoria y gas de protección, de haber alguno, concuerdan con los indicados por los dígitos usados.				
EXXTG-X ^g	EXXTG-X ^g	El sistema de escoria, el gas de protección, de haber alguno, la condición del ensayo (AW o PWHT) y las propiedades de impacto Charpy entalla en V son según lo acordado entre el proveedor y el comprador. Los requisitos para el ensayo de tracción, posicionalidad y composición del depósito de soldadura concuerdan con los indicados por los dígitos usados.				
EXXTG-G ^g	EXXTG-G ^g	El sistema de escoria, el gas de protección, de haber alguno, la condición del ensayo (AW o PWHT), las propiedades de impacto Charpy entalla en V y la composición del depósito de soldadura son según lo acordado entre el proveedor y el comprador. Los requisitos para el ensayo de tracción y la posicionalidad concuerdan con los indicados por los dígitos usados.				

Anexo U (informativo)

AWS A5.36: propiedades y clasificaciones de metal de aporte

Este anexo no es parte de AWS D1.1/D1.1M:2015, *Código de soldadura estructural—Acero*, pero se incluye para fines informativos solamente.

El Anexo U proporciona información y aplicabilidad a los usuarios del código D1.1 de esta nueva especificación. Además, los metales de aporte de las especificaciones y clasificaciones anteriores de metales de aporte en las WPS existentes que han sido reclasificados con clasificaciones corregidas o abiertas de AWS A5.36 están exentos de la recalificación PQR debido a la reclasificación de los electrodos, en caso de que los electrodos cumplan con todos los requisitos de clasificación anteriores. Puede encontrar al final de este anexo una lista de comparación de las clasificaciones de electrodos Anexo T de múltiples pasadas para las clasificaciones AWS A5.36 corregidas y abiertas. Con todas las variaciones del sistema de clasificación abierta AWS A5.36, la lista se limitó a las clasificaciones Anexo T D1.1:2010. Es posible que se usen otras clasificaciones AWS A5.36 en este código.

La especificación de aporte AWS A5.36/A5.36M:2012, *la especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*, tiene dos métodos de clasificación de los electrodos con núcleo de metal FCAW y GMAW de acero al carbono, clasificación corregida y clasificación abierta. AWS A5.36 usa diferentes tablas para la clasificación de electrodos (6 tablas y 1 figura), las cuales están incluidas en este anexo. Tenga en cuenta que es posible que se hayan agregado más notas a pie de página con restricciones para facilitar el cumplimiento de los requisitos de WPS calificados y precalificados para metales de aporte en las especificaciones de metales de aporte anteriores para las WPS existentes.

La clasificación fija es para electrodos de acero al carbono solamente e iba a ser idéntica a los requisitos de las especificaciones AWS A5.18 GMAW y AWS A5.20 FCAW, sin embargo, ciertas clasificaciones tanto en los electrodos FCAW como los con núcleo de metal GMAW no fueron incluidas, E70C-6C, E70C-3C, E70C-3M y E7XT-11, pero pueden ser clasificadas bajo el sistema de clasificación abierta. Además, el designador opcional “J” fue eliminado y

el designador “D” no respalda el designador “D” anterior de AWS A5.20, por lo tanto no se pueden usar indistintamente. Aunque los electrodos T-12 FCAW tienen los mismos requisitos que AWS A5.20 en la clasificación fija, el T-12 no los tiene en la clasificación abierta.

El sistema de clasificación abierta se usa para la clasificación de electrodos de carbono y acero de baja aleación tanto para los FCAW como para aquellos con núcleo de metal GMAW. Es necesario tener precaución a la hora de comparar requisitos y clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 directamente con las clasificaciones fijas o abiertas, ya que es posible que haya diferencias en los requisitos mecánicos y químicos. Bajo el sistema de clasificación abierta, hay pocos requisitos obligatorios definidos para una clasificación de electrodo, pero se puede aplicar cualquier gas de protección o cualquier clasificación de resistencia, y cualquier electrodo se puede clasificar como Tal como se soldó (AW) o Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT) o ambos. Antes, los electrodos de acero al carbono eran siempre clasificados como AW, pero bajo AWS A5.36 podían ser clasificados como PWHT. Asimismo, los electrodos de acero de baja aleación clasificados como PWHT ahora también pueden ser clasificados en la condición AW.

Los requisitos de gas de protección son un cambio importante en las especificaciones y los requisitos de clasificación anteriores. Para los fines del código D1.1 para WPS precalificadas, se han puesto restricciones en los requisitos de la clasificación AWS A5.36. Los requisitos de gas de protección mezclado con argón se han restringido a los requisitos de gas de protección mezclado de clasificación anteriores de AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 para WPS precalificadas o a otros gases de protección específicos de AWS A5.36, Tabla 5, usados para la clasificación, no al rango completo de un designador de gas de protección (véase 3.7.4 del código).

Bajo el sistema de clasificación abierta, se pueden usar otros gases de protección a base de argón para la clasifici-

cación. Sin embargo, cambios en el contenido de argón y gases menores en la mezcla pueden afectar el depósito de soldadura químico y mecánico, es decir, una clasificación de electrodo de 70 ksi [490 MPa] bajo las especificaciones anteriores ahora puede aumentar posiblemente a 90 ksi [620 MPa] o disminuir a 60 ksi [430 MPa] en las propiedades mecánicas.

Para los usuarios de código que soldan conexiones de Demanda Crítica con el designador “D” opcional de AWS A5.20 y A5.29, los requisitos del designador “D” A5.36 para entradas de calor han cambiado. Los electrodos AWS A5.36 clasificados con el designador “D” opcional no son

intercambiables con los electrodos AWS A5.20 o AWS A5.29 para conexiones de Demanda Crítica para zonas sísmicas debido a esta diferencia en los requisitos de entrada de calor. AWS D1.8/ D1.8M, *Código de soldadura estructural—Suplemento sísmico*, tendrá restricciones similares en el intercambio de los dos indicadores “D” diferentes.

Tabla U.1
AWS A5.36/A5.36M: clasificaciones de electrodos de acero al carbono con requisitos fijos^{a, b}

Especificación de fuente para clasificación de electrodos y requisitos	Designación de clasificación ^{b, c}	Tipo de electrodo	Gas de protección ^d	Requisitos del depósito de soldadura	
				Propiedades mecánicas ^e	Depósito de soldadura ^f
AWS A5.20/A5.20M	E7XT-1C ^g	Núcleo de fundente	C1	Resistencia a la tracción: 70 ksi–95 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ 0 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS1
	E7XT-1M ^g		M21 ⁱ		
	E7XT-5C ^g		C1	Resistencia a la tracción: 70 ksi–95 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ –20 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS1
	E7XT-5M ^g		M21		
	E7XT-6 ^g		Ninguno	Resistencia a la tracción: 70 ksi–95 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ –20 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS3
	E7XT-8 ^g				
	E7XT-9C ^g		C1	Resistencia a la tracción: 70 ksi–90 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ –20 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS1
	E7XT-9M ^g		M21 ⁱ		
	E7XT-12C ^g		C1	Resistencia a la tracción: 70 ksi–90 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ –20 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS2
	E7XT-12M ^g		M21 ⁱ		
	E70T-4 ^g		Ninguno	Resistencia a la tracción: 70 ksi–95 ksi Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: No especificado % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS3
	E7XT-7 ^g				
AWS A5.18/A5.18M	E70C-6M ^h	Núcleo de metal	M21 ⁱ	Resistencia a la tracción: 70 ksi mínimo Límite elástico mínimo: 58 ksi ⁱ Impacto Charpy mín.: 20 ft·lbf @ –20 °F % de alargamiento mínimo: 22% ^j	CS1

^a Estos electrodos de pasada múltiple se clasifican de acuerdo con el sistema de clasificación fijo utilizado en AWS A5.20/A5.20M o AWS A5.18/A5.18M, según corresponda, que se ha traspasado para estos electrodos específicos como parte de AWS A5.36/A5.36M. Los requisitos de propiedades mecánicas y depósito de soldadura son como se definen en esta tabla. Estos mismos electrodos también pueden clasificarse con los mismos requisitos o con otros diferentes, utilizando el sistema de clasificación abierta introducido en esta especificación. En este caso, las designaciones de la clasificación son como se prescriben en la Figura U.1. Consulte la Tabla A.1 o la Tabla A.3, según corresponda, en el Anexo A de AWS A5.36/A5.36M para véase comparaciones de las designaciones de “clasificación fija” y designaciones de “clasificación abierta” equivalentes para los electrodos mencionados anteriormente cuando ambas están clasificadas según los requisitos que figuran en esta tabla.

^b AWS A5.36 excluyó los electrodos de pasadas múltiples E7XT-11 en AWS A5.20 de la tabla de arriba, pero pueden clasificarse bajo la clasificación abierta. Las clasificaciones de núcleo de metal, E70C-6C, E70C-3C, E70C-3M, bajo AWS A5.18/A5.18M también fueron excluidas, pero pueden clasificarse bajo la clasificación abierta.

^c Los electrodos que se muestran en los paneles en gris son autorrevestidos.

^d véase Tabla U.5.

^e Las propiedades mecánicas se obtienen sometiendo a pruebas el metal de soldadura de la soldadura en ranura que se muestra en la Figura 2 de AWS A5.36/A5.36M. La soldadura y los ensayos deben realizarse según se prescribe en AWS A5.36/A5.36M. Los requisitos para la soldadura y los ensayos son los mismos que los que se proporcionan en AWS A5.20/A5.20M. Todos los ensayos de propiedades mecánicas para las clasificaciones que figuran en esta tabla deben hacerse en la condición de tal como se soldó.

^f véase Tabla U.6.

^g Los indicadores opcionales “D,” “Q” y “H”, que no forman parte de la designación de clasificación de electrodos, pueden agregarse al final de la designación como se establece en AWS A5.20/A5.20M, a saber, E7XT-XXD, E7XT-XXQ, E7XT-XXHX, E7XT-XXDHX o E7XT-XXQH, según corresponda. El designador “J” complementario opcional que figura en AWS A5.20/A5.20M ya no es más un requisito. El sistema de clasificación abierta introducido en esta especificación AWS A5.36/A5.36M elimina la necesidad de este designador.

^h El designador “H” complementario opcional, que no es parte de la designación de clasificación de electrodos, puede agregarse al final de esta designación como se establece en AWS A5.18/A5.18M, a saber, E70C-6 MHZ. Las disposiciones para los indicadores “J” “D” y “Q” complementarios opcionales no han sido establecidas en AWS A5.18/A5.18M y, como resultado, es posible que no se usen con la designación E70C-6M. Sin embargo, eso no excluye su uso con electrodos con núcleo de metal clasificados utilizando el sistema de clasificación abierta bajo la especificación AWS A5.36/A5.36M.

ⁱ Para los fines del código D1.1, el gas de protección mezclado argón/CO₂ precalificado debe limitarse a SG-AC-20/25 como sucede con los requisitos de gas de protección de las clasificaciones AWS A5.18 y AWS A5.20 anteriores, y no al rango de gas de protección de M21.

^j Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico. Tabla 1, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.2
Requisitos del ensayo de tracción AWS A5.36/A5.36M^a

Designador de resistencia a la tracción		Electrodos de pasada única	Para electrodos de pasadas múltiples A5.36 Unidades de uso en EE. UU.			Para electrodos de pasadas múltiples A5.36M Sistema Internacional de Unidades (SI)		
Unidades de uso en EE. UU.	Sistema internacional de unidades (SI)	Resistencia a la tracción mínima [ksi] [MPa]	Resistencia a la tracción (ksi)	Límite elástico mínimo ^b (ksi)	Porcentaje de alargamiento mínimo ^c	Resistencia a la tracción [MPa]	Límite elástico mínimo ^b [MPa]	Porcentaje de alargamiento mínimo ^c
6	43	60 [430]	60–80	48	22	430–550	330	22
7	49	70 [490]	70–95	58	22	490–660	400	22
8	55	80 [550]	80–100	68	19	550–690	470	19
9	62	90 [620]	90–110	78	17	620–760	540	17
10	69	100 [690]	100–120	88	16	690–830	610	16
11	76	110 [760]	110–130	98	15 ^d	760–900	680	15 ^d
12	83	120 [830]	120–140	108	14 ^d	830–970	740	14 ^d
13	90	130 [900]	130–150	118	14 ^d	900–1040	810	14 ^d

^a El rango de resistencia a la tracción de la clasificación E7XT-12X modificado es superado por la clasificación abierta de E7XT12-C1A2-CS2/E7XT12-M21A2-CS2, 70 ksi a 90 ksi vs. 70 ksi a 95 ksi.

^b Límite elástico con una desviación del 0,2%.

^c En 2 pulgadas [50 mm] de longitud calibrada cuando se usa una probeta de tracción con un diámetro nominal de 0,500 pulgadas [12,5 mm] y relación de longitud calibrada nominal-diámetro de 4:1 (según se especifica en la sección Ensayo de tracción de AWS B4.0 [AWS B4.0M]). En 1 pulgada [25 mm] de longitud calibrada cuando se usa una probeta de tracción nominal de 0,250 pulgadas [6,5 mm] según se permite para tamaños de 0,045 pulgadas [1,2 mm] y más pequeños de E7XT11-AZ-CS3 [E49XT11-AZ-CS3].

^d Los requisitos de alargamiento pueden reducirse en un punto porcentual si la resistencia a la tracción del metal de la soldadura está por sobre el 25% del rango de resistencia a la tracción.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico, Tabla 2, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.3
Requisitos del ensayo de impacto Charpy AWS A5.36/A5.36M

Requisitos A5.36 Unidades de uso en EE. UU.			Requisitos A5.36M Sistema Internacional de Unidades (SI)		
Designador de impacto ^{a, b}	Temperatura máxima del ensayo ^{c, d} (°F)	Nivel de energía mínimo promedio	Designador de impacto ^{a, b}	Temperatura máxima del ensayo ^{c, d} (°C)	Nivel de energía mínimo promedio
Y	+68	20 ft·lbf	Y	+20	27 J
0	0		0	0	
2	-20		2	-20	
4	-40		3	-30	
5	-50		4	-40	
6	-60		5	-50	
8	-80		6	-60	
10	-100		7	-70	
15	-150		10	-100	
Z	Sin requisitos de impacto		Z	Sin requisitos de impacto	
G	Según lo acordado entre el proveedor y el comprador				

^a De acuerdo con los resultados de los ensayos de impacto del metal de la soldadura, el fabricante insertará en la clasificación el designador apropiado de la Tabla U.3 que aparece arriba, según se indica en la Figura U.1.

^b Cuando se clasifica un electrodo según AWS A5.36 usando las unidades de uso en EE. UU., el designador de impacto indica la temperatura máxima de los ensayos de impacto en grados Fahrenheit. Cuando se clasifica según AWS A5.36M usando el Sistema Internacional de Unidades (SI), el designador de impacto indica la temperatura máxima de los ensayos de impacto en grados Celsius. Con la excepción del designador de impacto "4", un designador de impacto determinado indicará las diferentes temperaturas dependiendo de si la clasificación es de acuerdo con AWS A5.36 en las unidades de uso en EE. UU. o de acuerdo con AWS A5.36M en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Por ejemplo, un designador de impacto "2" cuando se clasifica según AWS A5.36M indica una temperatura de ensayo de -20 °F, que equivale a -29 °C.

^c El metal de soldadura de un electrodo que cumple los requisitos de impacto a una temperatura determinada también cumple los requisitos en todas las temperaturas más altas en esta tabla. Por ejemplo, un metal de soldadura que cumple los requisitos de AWS A5.36 para el designador "5" también cumple los requisitos para los indicadores 4, 2, 0 e Y. [El metal de soldadura que cumple los requisitos de A5.36M para el designador "5" también cumple los requisitos para los indicadores 4, 3, 2, 0 e Y.]

^d Los ensayos de clasificación del metal de aporte para demostrar la conformidad con un nivel aceptable mínimo específico para ensayos de impacto, es decir, la energía mínima a una temperatura especificada, pueden realizarse sometiendo a prueba y cumpliendo el requisito de energía mínima en cualquier temperatura más baja. En estos casos, la temperatura real usada para los ensayos debe aparecer en la documentación de certificación cuando se emita.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, especificación para electrodos de núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos metálicos con núcleo para soldadura por arco con electrodo metálico protegido por gas, Tabla 3, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.4
Características de la utilidad del electrodo

Designador de utilidad de electrodo ^a	Proceso	Descripción general del tipo de electrodo ^{b,c}	Posiciones típicas de soldadura ^{d,e}	Polaridad ^f
T1	FCAW-G	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo tienen gas de protección y una escoria a base de rutilo. Se caracterizan por una transferencia de rociado, baja pérdida de salpicadura, y un volumen moderado de escoria que cubre completamente el cordón de soldadura.	H, F, VU y OH	DCEP
T1S	FCAW-G	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son similares a los tipos T1, pero con mayor manganeso o silicio, o ambos. Están diseñados principalmente para soldadura de pasada única en posiciones planas y horizontales. Los niveles más altos de desoxidantes en este tipo de electrodo permiten soldaduras de pasada única de acero muy oxidado o ribetado.	H, F, VU y OH	DCEP
T3S	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y son para soldaduras de pasada única; se caracterizan por una transferencia de tipo rociado. El sistema de escoria a base de titanio está diseñado para lograr velocidades de soldadura muy altas.	H, F	DCEP
T4	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una transferencia de tipo globular. Su sistema de escoria básico a base de fluoruro está diseñado para tener tasas de deposición muy altas y para producir soldaduras muy bajas en azufre, para mayor resistencia al agrietamiento en caliente.	H, F	DCEP
T5	FCAW-G	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo cuentan con gas de protección y se caracterizan por una transferencia globular, contorno de cordón levemente convexo, y una escoria delgada que puede que no cubra completamente el cordón de soldadura. Tienen un sistema de escoria de cal y fluoruro y desarrollan mejores propiedades de impacto y mejor resistencia al agrietamiento en frío que lo que muestran comúnmente los electrodos tipo "T1".	H, F, VU y OH	DCEP o DCEN ^g
T6	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una transferencia de tipo rociado. Su sistema de escoria a base de óxido está diseñado para producir buenos impactos a temperatura baja, buena penetración en la raíz de la soldadura y una excelente remoción de la escoria.	H y F	DCEP
T7	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una pequeña gota en la transferencia de tipo rociado. El sistema de escoria a base de fluoruro está diseñado para proporcionar altas tasas de deposición en las posiciones bajo mano con los diámetros más grandes y las capacidades fuera de posición con los diámetros más pequeños.	H, F, VU y OH	DCEN
T8	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una pequeña gota en la transferencia de tipo rociado. El sistema de escoria a base de fluoruro está diseñado para proporcionar un mejor control fuera de posición. El metal de la soldadura producido por lo general exhibe muy buena resistencia al agrietamiento y tenacidad a la entalla a temperatura baja.	H, F, VD, VU y OH	DCEN
T9	FCAW-G	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son similares en diseño y aplicación a los tipos T1, pero con mejores capacidades de tenacidad a la entalla del metal de la soldadura.	H, F, VU y OH	DCEP

(Continuación)

Tabla U.4 (Continuación)
Características de la utilidad del electrodo

Designador de utilidad de electrodo ^a	Proceso	Descripción general del tipo de electrodo ^{b,c}	Posiciones típicas de soldadura ^{d,e}	Polaridad ^f
T10S	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una transferencia de gotas pequeñas. El sistema de escoria a base de fluoruro está diseñado para hacer soldaduras de pasada única a altas velocidades de avance en acero de cualquier espesor.	H, F	DCEN
T11	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una transferencia de tipo rociado suave, cobertura de escoria limitada y por lo general no se recomiendan para la soldadura de materiales de más de 3/4 pulgadas [20 mm] de espesor.	H, F, VD y OH	DCEN
T12	FCAW-G	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son similares en diseño y aplicación a los tipos T1. Sin embargo, han sido modificados para tener una mejor tenacidad a los impactos y para cumplir con los requisitos mínimos de manganeso del Grupo de análisis A-No. 1 en el <i>Código de Calderas y Recipientes a Presión ASME</i> , Sección IX.	H, F, VU y OH	DCEP
T14S	FCAW-S	Los electrodos con núcleo de fundente de este tipo son autorrevestidos y se caracterizan por una transferencia de tipo rociado suave. El sistema de escoria está diseñado para soldaduras de pasada única en todas las posiciones y a altas velocidades de avance.	H, F, VD y OH	DCEN
T15	GMAW-C	Los electrodos de este tipo son electrodos de cable o con núcleo de metal compuestos con gas de protección. Los ingredientes del núcleo son principalmente metálicos. Los componentes no metálicos en el núcleo por lo general totalizan menos del 1% del peso total del electrodo. Estos electrodos se caracterizan por un arco para rociar y excelentes capacidades de lavado de cordón. Las aplicaciones son similares en muchas maneras a los electrodos GMAW sólidos.	H, F, OH, VD y VU	DCEP o DCEN
T16	GMAW-C	Este tipo de electrodo es un electrodo con núcleo de metal y gas de protección específicamente diseñado para usar con fuentes de alimentación CA con o sin ondas modificadas.	H, F, VD, VU y OH	AC ^h
T17	FCAW-S	Este tipo de electrodo con núcleo de fundente es un electrodo autorrevestido específicamente diseñado para usar con fuentes de alimentación CA con o sin ondas modificadas.	H, F, VD, VU y OH	AC ^h
G		Según lo acordado entre el proveedor y el comprador	No especificado	No especificado

^a Una "S" se agrega al final del designador de utilidad cuando el electrodo que se va a clasificar está recomendado para aplicaciones de pasada única solamente.

^b Para obtener más información, consulte A7, Descripción y uso previsto, en AWS A5.36/A5.36M, Anexo A.

^c Las propiedades del metal de soldadura de los electrodos que se van a usar con gas de protección externo variarán según el gas de protección que se va a usar. Los electrodos clasificados con un gas de protección específico no deben usarse con otros gases de protección sin consultar primero con el fabricante del electrodo.

^d H = posición horizontal, F = posición plana, OH = posición sobrecabeza, VU = posición vertical con progresión ascendente, VD = posición vertical con progresión descendente.

^e Los tamaños de electrodos adecuados para soldadura fuera de posición, es decir, posiciones de soldadura que no sean ni planas ni horizontales, por lo general son de un tamaño inferior a 3/32 pulgadas [2,4 mm] o del tamaño más cercano apropiado en la Sección 9 para la soldadura en ranura. Por esa razón, los electrodos que cumplen los requisitos para los ensayos de soldaduras en ranura pueden clasificarse como EX1TX-XXX-X (donde la X representa los indicadores de resistencia a la tracción, utilidad, gas de protección, de haber alguno, condición de tratamiento térmico, temperatura de ensayo de impacto y composición del metal de soldadura) independientemente de su tamaño.

^f El término "DCEP" se refiere a electrodo positivo de corriente continua (cc, polaridad inversa). El término "DCEN" se refiere a electrodo negativo de corriente continua (cc, polaridad directa).

^g Algunos electrodos EX1T5-XXX-X pueden recomendarse para usar en DCEN para lograr una mejor soldadura fuera de posición. Consulte con el fabricante para conocer la polaridad recomendada.

^h Para este tipo de electrodo, la corriente de la soldadura puede ser corriente alterna sinusoidal convencional, una forma de onda CA modificada que alterna entre positivo y negativo, una forma de onda DCEP alterna o una forma de onda DCEN alterna.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, *especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*, Tabla 4, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.5
AWS A5.36/A5.36M: requisitos de composición para gases de protección

AWS A5.36/A5.36M: designador de gas de protección ^a	AWS A5.32M/A5.32: composición Rangos para grupo principal/subgrupo indicado ^b		Composición nominal de los gases de protección que se van a usar para la clasificación de electrodos con gas de protección según AWS A5.36/A5.36M ^{c,d}		
	Componentes oxidantes ^e		ISO 14175, designación ^f	Componentes oxidantes ^{e,g}	
	% CO ₂	% O ₂		% CO ₂	% O ₂
C1	100	—	C1	100	—
M12	$0,5 \leq \text{CO}_2 \leq 5$	—	M12 – ArC 3	3	—
M13	—	$0,5 \leq \text{O}_2 \leq 3$	M13 – ArO 2	—	2
M14	$0,5 \leq \text{CO}_2 \leq 5$	$0,5 \leq \text{O}_2 \leq 3$	M14 – ArCO – 3/2	3	2
M20	$5 < \text{CO}_2 \leq 15$	—	M20 – ArC 10	10	—
M21	$15 < \text{CO}_2 \leq 25$	—	M21 – ArC 20	20	—
M22	—	$3 < \text{O}_2 \leq 10$	M22 – ArO – 7	—	7
M23	$0,5 \leq \text{CO}_2 \leq 5$	$3 < \text{O}_2 \leq 10$	M23 – ArOC – 7/3	3	7
M24	$5 < \text{CO}_2 \leq 15$	$0,5 \leq \text{O}_2 \leq 3$	M24 – ArCO – 10/2	10	2
M25	$5 < \text{CO}_2 \leq 15$	$3 < \text{O}_2 \leq 10$	M25 – ArCO – 10/7	10	7
M26	$15 < \text{CO}_2 \leq 25$	$0,5 \leq \text{O}_2 \leq 3$	M26 – ArCO – 20/2	20	2
M27	$15 < \text{CO}_2 \leq 25$	$3 < \text{O}_2 \leq 10$	M27 – ArCO – 20/7	20	7
M31	$25 < \text{CO}_2 \leq 50$	—	M31 – ArC – 38	38	—
M32	—	$10 < \text{O}_2 \leq 15$	M32 – ArO 12,5	—	12,5
M33	$25 < \text{CO}_2 \leq 50$	$2 < \text{O}_2 \leq 10$	M33 – ArCO – 38/6	38	6
M34	$5 < \text{CO}_2 \leq 25$	$10 < \text{O}_2 \leq 15$	M34 – ArCO – 15/12,5	15	12,5
M35	$25 < \text{CO}_2 \leq 50$	$10 < \text{O}_2 \leq 15$	M35 – ArCO – 38/12,5	38	12,5
Z	El designador “Z” indica que el gas de protección usado para la clasificación de electrodos no es uno de los gases de protección especificados en esta tabla, sino que es una composición diferente acordada entre el proveedor y el comprador.				

^a Los indicadores de gas de protección son idénticos a los indicadores de grupo principal/subgrupo que se usan en AWS A5.32M/A5.32:2011 [ISO 14175:2008 MOD], *Consumibles de soldadura—Gases y mezclas de gases para soldadura por fusión y procesos afines*, para estos mismos gases de protección.

^b Bajo AWS A5.32M/A5.32:2011, el gas inerte usado para el equilibrio de la mezcla de gas puede ser argón, helio, o alguna otra mezcla de eso.

^c Para los fines del código D1.1 para clasificaciones fijas, el gas de protección mezclado argón/CO₂ precalificado para electrodos con núcleo de metal GMAW y FCAW de acero al carbono debe limitarse a SG-AC-20/25 como sucede con los requisitos de gas de protección de las clasificaciones AWS A5.18 y AWS A5.20 anteriores, y no al rango de gas de protección de M21.

^d Para clasificaciones abiertas de electrodos FCAW y con núcleo de metal GMAW de carbono y acero de baja aleación, los electrodos clasificados con los requisitos de gas de protección anteriores de AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 deben considerarse como precalificados. Otras clasificaciones de gas de protección, AWS A5.36, de la Tabla 5 usadas para clasificar un electrodo se limitan al gas de protección específico en el rango de clasificación de gas de protección.

^e Las tolerancias de la mezcla son las siguientes:

Para un gas componente con una concentración nominal de $>5\%$, $\pm 10\%$ de nominal.

Para un gas componente con una concentración nominal de $1\% - 5\%$, $\pm 0,5\%$ absoluto.

Para un gas componente con una composición nominal de $<1\%$, no especificada en este estándar.

^f Los indicadores de gas de protección de AWS A5.32M/A5.32:2011 comienzan con “AWS A5.32 (ISO 14175)”. Esa parte de la designación ha sido omitida del designador de gas de protección, por concisión.

^g El gas inerte que se va a usar para el equilibrio de las mezclas de gas especificadas para la clasificación de electrodos con núcleo de metal y núcleo de fundente con gas de protección debe ser argón.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, *especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*, Tabla 5, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.6
Requisitos de la composición química del metal de la soldadura^a

Designación del metal de la soldadura	Número UNS ^b	Porcentaje de peso ^c											
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	Otro ^d
Electrodos de acero al carbono													
CS1 ^e	—	0,12	1,75	0,90	0,030	0,030	0,50 ^f	0,20 ^f	0,30 ^f	0,08 ^f	—	0,35 ^f	—
CS2 ^{e, g}	—	0,12	1,60	0,90	0,030	0,030	0,50 ^f	0,20 ^f	0,30 ^f	0,08 ^f	—	0,35 ^f	—
CS3 ^e	—	0,30	1,75	0,60	0,030	0,030	0,50 ^f	0,20 ^f	0,30 ^f	0,08 ^f	1,8 ^{f, h}	0,35 ^f	—
Electrodos de acero al molibdeno													
A1	W1703X	0,12	1,25	0,80	0,030	0,030	—	—	0,40–0,65	—	—	—	—
Electrodos para acero al cromo-molibdeno													
B1	W5103X	0,05–0,12	1,25	0,80	0,030	0,030	—	0,40–0,65	0,40–0,65	—	—	—	—
B1L	W5113X	0,05	1,25	0,80	0,030	0,030	—	0,40–0,65	0,40–0,65	—	—	—	—
B2	W5203X	0,05–0,12	1,25	0,80	0,030	0,030	—	1,00–1,50	0,40–0,65	—	—	—	—
B2L	W5213X	0,05	1,25	0,80	0,030	0,030	—	1,00–1,50	0,40–0,65	—	—	—	—
B2H	W5223X	0,10–0,15	1,25	0,80	0,030	0,030	—	1,00–1,50	0,40–0,65	—	—	—	—
B3	W5303X	0,05–0,12	1,25	0,80	0,030	0,030	—	2,00–2,50	0,90–1,20	—	—	—	—
B3L	W5313X	0,05	1,25	0,80	0,030	0,030	—	2,00–2,50	0,90–1,20	—	—	—	—
B3H	W5323X	0,10–0,15	1,25	0,80	0,030	0,030	—	2,00–2,50	0,90–1,20	—	—	—	—
B6	W50231	0,05–0,12	1,20	1,00	0,030	0,025	0,40	4,0–6,0	0,45–0,65	—	—	0,35	—
B6L	W50230	0,05	1,20	1,00	0,030	0,025	0,40	4,0–6,0	0,45–0,65	—	—	0,35	—
B8	W50431	0,05–0,12	1,20	1,00	0,030	0,040	0,40	8,0–10,5	0,85–1,20	—	—	0,50	—
B8L	W50430	0,05	1,20	1,00	0,030	0,040	0,40	8,0–10,5	0,85–1,20	—	—	0,50	—
B91 ⁱ	W50531	0,08–0,13	1,20 ^j	0,50	0,015	0,020	0,80 ^j	8,0–10,5	0,85–1,20	0,15–0,30	0,04	0,25	Nb: 0,02–0,10 N: 0,02–0,07
B92	—	0,08–0,15	1,20 ^j	0,50	0,015	0,020	0,80 ^j	8,0–10,0	0,30–0,70	0,15–0,30	0,04	0,25	Nb: 0,02–0,08 W: 1,5–2,0 B: 0,006 N: 0,02–0,08 Co ^k
Electrodos para acero al níquel													
Ni1	W2103X	0,12	1,75	0,80	0,030	0,030	0,80–1,10	0,15	0,35	0,05	1,8 ^h	—	—
Ni2	W2203X	0,12	1,50	0,80	0,030	0,030	1,75–2,75	—	—	—	1,8 ^h	—	—
Ni3	W2303X	0,12	1,50	0,80	0,030	0,030	2,75–3,75	—	—	—	1,8 ^h	—	—

(Continuación)

Tabla U.6 (Continuación)
Requisitos de la composición química del metal de la soldadura^a

Designación del metal de la soldadura	Número UNS ^b	Porcentaje de peso ^c											
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	Otro ^d
Electrodos para acero al manganeso-molibdeno													
D1	W1913X	0.12	1.25–2.00	0.80	0.030	0.030	—	—	0.25–0.55	—	—	—	—
D2	W1923X	0.15	1.65–2.25	0.80	0.030	0.030	—	—	0.25–0.55	—	—	—	—
D3	W1933X	0.12	1.00–1.75	0.80	0.030	0.030	—	—	0.40–0.65	—	—	—	—
Otros electrodos de acero de baja aleación													
K1	W2113X	0.15	0.80–1.40	0.80	0.030	0.030	0.80–1.10	0.15	0.20–0.65	0.05	—	—	—
K2	W2123X	0.15	0.50–1.75	0.80	0.030	0.030	1.00–2.00	0.15	0.35	0.05	1.8 ^h	—	—
K3	W2133X	0.15	0.75–2.25	0.80	0.030	0.030	1.25–2.60	0.15	0.25–0.65	0.05	—	—	—
K4	W2223X	0.15	1.20–2.25	0.80	0.030	0.030	1.75–2.60	0.20–0.60	0.20–0.65	0.03	—	—	—
K5	W2162X	0.10–0.25	0.60–1.60	0.80	0.030	0.030	0.75–2.00	0.20–0.70	0.15–0.55	0.05	—	—	—
K6	W2104X	0.15	0.50–1.50	0.80	0.030	0.030	0.40–1.00	0.20	0.15	0.05	1.8 ^h	—	—
K7	W2205X	0.15	1.00–1.75	0.80	0.030	0.030	2.00–2.75	—	—	—	—	—	—
K8	W2143X	0.15	1.00–2.00	0.40	0.030	0.030	0.50–1.50	0.20	0.20	0.05	1.8 ^h	—	—
K9	W23230	0.07	0.50–1.50	0.60	0.015	0.015	1.30–3.75	0.20	0.50	0.05	—	0.06	—
K10	—	0.12	1.25–2.25	0.80	0.030	0.030	1.75–2.75	0.20	0.50	—	—	0.50	—
K11	—	0.15	1.00–2.00	0.80	0.030	0.030	0.40–1.00	0.20	0.50	0.05	1.8 ^h	—	—
W2	W2013X	0.12	0.50–1.30	0.35–0.80	0.030	0.030	0.40–0.80	0.45–0.70	—	—	—	0.30–0.75	—
G	—	(m)	Según lo acordado entre el proveedor y el comprador										
GS ⁿ	—	Según lo acordado entre el proveedor y el comprador											

^a El metal de la soldadura debe analizarse para los elementos específicos cuyos valores se muestran en esta tabla.

^b Consulte ASTM D5-56/SAE HS-1086, *Metales y aleaciones en el Sistema de Numeración Unificado*. Una "X", cuando se encuentra en la última posición, representa el designador de utilidad para el tipo de electrodo usado para depositar el metal de la soldadura. Una excepción a esto se aplica al tipo de electrodo "11" donde se usa un "9" en vez de un "11".

^c Los valores únicos son los máximos.

^d Se requiere un análisis del depósito de soldadura para boro y debe informarse si este elemento se agrega intencionalmente o se sabe que se encuentra en niveles que superan los 0.0010%.

^e El total de todos los elementos que figuran en esta tabla para esta clasificación no debe superar el 5%.

^f El análisis de estos elementos debe informarse solo si se agregan intencionalmente.

^g Cumple los requisitos mínimos de Mn para el Grupo de análisis A-No. 1 en el *Código de Calderas y Recipientes a Presión ASME*, Sección IX: calificaciones para soldadura y soldadura fuerte, QW-422.

^h Aplicable a electrodos autorrevestidos solamente. Los electrodos destinados a usar con gas de protección por lo general no tienen adiciones importantes de aluminio.

ⁱ La designación "B91" es una nueva designación que reemplaza a la designación "B9" usada anteriormente para este tipo de aleación.

^j Mn + Ni = 1.40% máximo véase A7.16.2 en Anexo A de AWS A5.36/A5.36M.

^k Es necesario informar el análisis de Co si se agrega intencionalmente, o si se sabe que está presente en niveles mayores que 0.20%.

^l El límite para los electrodos con gas de protección es 0.18% máximo. El límite para los electrodos autorrevestidos es 0.30% máximo.

^m La composición del metal de la soldadura no es particularmente importante ya que los electrodos en esta categoría son solo para soldaduras de pasada única. La dilución del metal base en dichas soldaduras es por lo general bastante alta véase A7.2 en Anexo A de AWS A5.36/A5.36M.

Fuente: Reproducido de AWS A5.36/A5.36M 2012, *especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*, Tabla 6, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.7
Requisitos de procedimiento AWS A5.20/A5.20M para designador complementario opcional "D"

Designador complementario opcional	Entrada de calor del procedimiento (Velocidad de enfriamiento rápida o lenta)	Temperatura de precalentamiento °F [°C]	Temperatura entre pasadas °F [°C]	Requisito de entrada de calor para cualquier pasada única ^a	Entrada de calor promedio requerida para todas las pasadas ^a
D	bajo (velocidad rápida de enfriamiento)	70 °F ± 25 °F [20 °C ± 15 °C]	200 °F ± 25 °F [90 °C ± 15 °C]	Para diámetros de electrodos de < 3/32 pulgadas [2,4 mm]	
				33 kJ/pulgada [1,3 kJ/mm] máximo	30 +2, -5 kJ/pulgada [1,2 +0,1, -0,2 kJ/mm]
	alto (velocidad lenta de enfriamiento)	300 °F ± 25 °F [150 °C ± 15 °C]	500 °F ± 50 °F [260 °C ± 25 °C]	Para diámetros de electrodos de ≥ 3/32 pulg [2,4 mm]	
				44 kJ/pulgada [1,7 kJ/mm] máximo	40 +2, -5 kJ/pulgada [1,6 +0,1, -0,2 kJ/mm]
				75 kJ/pulgada [3,0 kJ/mm] mínimo	80 +5, -2 kJ/pulgada [3,1 +0,2, -0,1 kJ/mm]

^a No se aplica a la primera capa. La primera capa puede tener una o dos pasadas.

Fuente: Adaptado de AWS A5.20/A5.20M:2005, *especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con núcleo de fundente*, Tabla 9, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.8
Requisitos de procedimiento AWS A5.36/A5.36M para designador complementario opcional "D"

Designador complementario opcional	Entrada de calor del procedimiento (velocidad de enfriamiento rápida o lenta)	Temperatura de precalentamiento °F [°C]	Temperatura entre pasadas °F [°C]	Requisito de entrada de calor para cualquier pasada única ^a	Entrada de calor promedio requerida para todas las pasadas ^a
D	Bajo (velocidad rápida de enfriamiento)	<u>120 °F [50 °C]</u> máx.	<u>250 °F [120 °C]</u> máx.	Para diámetros de electrodos de < 3/32 pulgadas [2,4 mm]	
				<u>38 kJ/pulgada [1,5 kJ/mm]</u> máx.	<u>24 kJ/pulgada–36 kJ/pulgada</u> <u>[0,9 kJ/mm–1,4 kJ/mm]</u>
	Alto (velocidad lenta de enfriamiento)	<u>250 °F [120 °C]</u> mín.	<u>450 °F [240 °C]</u> mín.	Para diámetros de electrodos de ≥ 3/32 pulg [2,4 mm]	
				44 kJ/pulgada [1,7 kJ/mm] máx.	35 kJ/pulgada–42 kJ/pulgada [1,4 kJ/mm–1,6 kJ/mm]
				<u>65 kJ/pulgada [2,6 kJ/mm]</u> mín.	<u>65 kJ/pulgada–85 kJ/pulgada</u> <u>[2,6 kJ/mm–3,3 kJ/mm]</u>

^a No se aplica a la primera capa. La primera capa puede tener una o dos pasadas.

Nota: Los cambios en los requisitos del designador "D" para temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, y las entradas de calor están **en negrita y subrayados**.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, *especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico*, Tabla 10, Sociedad Americana de Soldadura.

Tabla U.9
Comparación de clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29
Especificaciones según clasificaciones fijas y abiertas AWS A5.36
para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples

Anexo U		A5.36		
Especificación	Clasificación	Clasificación fija	Clasificación abierta	Requisitos de clasificación de gas de protección, anexo V
A5.18	E70C-3C	No aplicable	E7XT15-C1A0-CS1	SG-C
	E70C-3M	No aplicable	E7XT15-M21A0-CS1	SG-AC-20-25
	E70C-6C	No aplicable	E7XT15-C1A2-CS1	SG-C
	E70C-6M	E70C-6M	E7XT15-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E70C-G	No aplicable	E7XT15-XAX-G	Según lo acordado
A5.20	E7XT-1C	E7XT-1C	E7XT1-C1A0-CS1	SG-C
	E7XT-1M	E7XT-1M	E7XT1-M21A0-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-4	E7XT-4	E7XT4-AZ-CS3	
	E7XT-5C	E7XT-5C	E7XT5-C1A2-CS1	SG-C
	E7XT-5M	E7XT-5M	E7XT5-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-6	E7XT-6	E7XT6-A2-CS3	
	E7XT-7	E7XT-7	E7XT7-AZ-CS3	
	E7XT-8	E7XT-8	E7XT8-A2-CS3	
	E7XT-9C	E7XT-9C	E7XT9-C1A2-CS1	SG-C
	E7XT-9M	E7XT-9M	E7XT9-M21A2-CS1	SG-AC-20-25
	E7XT-11	No aplicable	E7XT11-AZ-CS3	
	E7XT-12C	E7XT-12C	No aplicable	SG-C
	E7XT-12M	E7XT-12M	No aplicable	SG-AC-20-25
	E6XT-G	No aplicable	E6XTG-XXX-G	Según lo acordado
	E7XT-G	No aplicable	E7XTG-XXX-G	Según lo acordado
A5.28	E70C-B2L	No aplicable	E7XT15-M13PZ-B2L E7XT15-M22PZ-B2L	SG-AO-1-5
	E80C-B2	No aplicable	E8XT15-M13PZ-B2 E8XT15-M22PZ-B2	SG-AO-1-5
	E80C-B3L	No aplicable	E8XT15-M13PZ-B3L E8XT15-M22PZ-B3L	SG-AO-1-5
	E90C-B3	No aplicable	E9XT15-M13PZ-B3 E9XT15-M22PZ-B3	SG-AO-1-5
	E80C-B6	No aplicable	E8XT15-M13PZ-B6 E8XT15-M22PZ-B6	SG-AO-1-5
	E80C-B8	No aplicable	E8XT15-M13PZ-B8 E8XT15-M22PZ-B8	SG-AO-1-5
	E90C-B9	No aplicable	E9XT15-M20PZ-B9 E9XT15-M21PZ-B9	SG-AC-5-25
	E70C-Ni2	No aplicable	E7XT15-M13P8-Ni2 E7XT15-M22P8-Ni2	SG-AO-1-5

(Continuación)

Tabla U.9 (Continuación)
Comparación de clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29
Especificaciones según clasificaciones fijas y abiertas AWS A5.36
para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples

Anexo T		A5.36		
Especificación	Clasificación	Clasificación fija	Clasificación abierta	Requisitos de clasificación de gas de protección, anexo V
A5.28 (Continuación)	E80C-Ni1	No aplicable	E8XT15-M13A5-Ni1 E8XT15-M22A5-Ni1	SG-AO-1-5
	E80C-Ni2	No aplicable	E8XT15-M13P8-Ni2 E8XT15-M22P8-Ni2	SG-AO-1-5
	E80C-Ni3	No aplicable	E8XT15-M13P10-Ni3 E8XT15-M22P10-Ni3	SG-AO-1-5
	E90C-D2	No aplicable	E9XT15-M13A2-D2 E9XT15-M22A2-D2	SG-AO-1-5
	E90C-K3	No aplicable	E9XT15-M12A6-K3 E9XT15-M20A6-K3 E9XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E100C-K3	No aplicable	E10XT15-M12A6-K3 E10XT15-M20A6-K3 E10XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E110C-K3	No aplicable	E11XT15-M12A6-K3 E11XT15-M20A6-K3 E11XT15-M21A6-K3	SG-AC-5-25
	E110C-K4	No aplicable	E11XT15-M12A6-K4 E11XT15-M20A6-K4 E11XT15-M21A6-K4	SG-AC-5-25
	E120C-K4	No aplicable	E12XT15-M12A6-K4 E12XT15-M20A6-K4 E12XT15-M21A6-K4	SG-AC-5-25
	E80C-W2	No aplicable	E8XT15-M12A2-W2 E8XT15-M20A2-W2 E8XT15-M21A2-W2	SG-AC-5-25
	E70C-G	No aplicable	E7XTG-XXX-X	Según lo acordado
	E80C-G	No aplicable	E8XTG-XXX-X	Según lo acordado
	E90C-G	No aplicable	E9XTG-XXX-X	Según lo acordado
	E100C-G	No aplicable	E10XTG-XXX-X	Según lo acordado
	E110C-G	No aplicable	E11XTG-XXX-X	Según lo acordado
	E120C-G	No aplicable	E12XTG-XXX-X	Según lo acordado
A5.29	E7XT5-A1C, -A1M	No aplicable	E7XT5-C1P2-A1 E7XT5-M21P2-A1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-A1C, -A1M	No aplicable	E8XT1-C1PZ-A1 E8XT1-M21PZ-A1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B1C, -B1M, -B11C, -B11M	No aplicable	E8XT1-C1PZ-B1 E8XT1-M21PZ-B1 E8XT1-C1PZ-B1L E8XT1-M21PZ-B1L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25

(Continuación)

Tabla U.9 (Continuación)
Comparación de clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29
Especificaciones según clasificaciones fijas y abiertas AWS A5.36
para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples

Anexo T		A5.36		
Especificación	Clasificación	Clasificación fija	Clasificación abierta	Requisitos de clasificación de gas de protección, anexo V
A5.29 (Continuación)	E8XT1-B2C, -B2M, -B2HC, -B2HM, -B2LC, -B2LM	No aplicable	E8XT1-C1PZ-B2 E8XT1-M21PZ-B2 E8XT1-C1PZ-B2H E8XT1-M21PZ-B2H E8XT1-C1PZ-B2L E8XT1-M21PZ-B2L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B2C, -B2M, -B2LC, -B2LM	No aplicable	E8XT5-C1PZ-B2 E8XT5-M21PZ-B2 E8XT5-C1PZ-B2L E8XT5-M21PZ-B2L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-B3C, -B3M, -B3LC, -B3LM, -B3HC, -B3HM	No aplicable	E9XT1-C1PZ-B3 E9XT1-M21PZ-B3 E9XT1-C1PZ-B3L E9XT1-M21PZ-B3L E9XT1-C1PZ-B3H E9XT1-M21PZ-B3H	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-B3C, -B3M	No aplicable	E9XT5-C1PZ-B3 E9XT5-M21PZ-B3	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT1-B3C, -B3M	No aplicable	E10XT1-C1PZ-B3 E10XT1-M21PZ-B3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	No aplicable	E8XT1-C1PZ-B6 E8XT1-M21PZ-B6 E8XT1-C1PZ-B6L E8XT1-M21PZ-B6L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B6C, -B6M, -B6LC, -B6LM	No aplicable	E8XT5-C1PZ-B6 E8XT5-M21PZ-B6 E8XT5-C1PZ-B6L E8XT5-M21PZ-B6L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	No aplicable	E8XT1-C1PZ-B8 E8XT1-M21PZ-B8 E8XT1-C1PZ-B8L E8XT1-M21PZ-B8L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-B8C, -B8M, -B8LC, -B8LM	No aplicable	E8XT5-C1PZ-B8 E8XT5-M21PZ-B8 E8XT5-C1PZ-B8L E8XT5-M21PZ-B8L	SG-C SG-AC-20-25 SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-B9C, -B9M	No aplicable	E9XT1-C1PZ-B9 E9XT1-M21PZ-B9	SG-C SG-AC-20-25
	E6XT1-Ni1C, -Ni1M	No aplicable	E6XT1-C1A2-Ni1 E6XT1-M21A2-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT6-Ni1	No aplicable	E7XT6-A2-Ni1	
	E7XT8-Ni1	No aplicable	E7XT8-A2-Ni1	

(Continuación)

Tabla U.9 (Continuación)
Comparación de clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29
Especificaciones según clasificaciones fijas y abiertas AWS A5.36
para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples

Anexo T		A5.36		
Especificación	Clasificación	Clasificación fija	Clasificación abierta	Requisitos de clasificación de gas de protección, anexo V
A5.29 (Continuación)	E8XT1-Ni1C, -Ni1M	No aplicable	E8XT1-C1A2-Ni1 E8XT1-M21A2-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni1C, -Ni1M	No aplicable	E8XT5-C1P6-Ni1 E8XT5-M21P6-Ni1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT8-Ni2	No aplicable	E7XT8-A2-Ni2	
	E8XT8-Ni2	No aplicable	E8XT8-A2-Ni2	
	E8XT1-Ni2C, -Ni2M	No aplicable	E8XT1-C1A4-Ni2 E8XT1-M21A4-Ni2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni2C, -Ni2M	No aplicable	E8XT5-C1P8-Ni2 ^a E8XT5-M21P8-Ni2 ^a	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-Ni2C, -Ni2M	No aplicable	E9XT1-C1A4-Ni2 E9XT1-M21A4-Ni2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-Ni3C, -Ni3M	No aplicable	E8XT5-C1P10-Ni3 E8XT5-M21P10-Ni3	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-Ni3C, -Ni3M	No aplicable	E9XT5-C1P10-Ni3 E9XT5-M21P10-Ni3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT11-Ni3	No aplicable	E8XT11-A0-Ni3	
	E9XT1-D1C, -D1M	No aplicable	E9XT1-C1A4-D1 E9XT1-M21A4-D1	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-D2C, -D2M	No aplicable	E9XT5-C1P6-D2 E9XT5-M21P6-D2	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT5-D2C, -D2M	No aplicable	E10XT5-C1P4-D2 E10XT5-M21P4-D2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-D3C, -D3M	No aplicable	E9XT1-C1A2-D3 E9XT1-M21A2-D3	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-K1C, -K1M	No aplicable	E8XT5-C1A4-K1 E8XT5-M21A4-K1	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT7-K2	No aplicable	E7XT7-A2-K2	
	E7XT4-K2	No aplicable	E7XT4-A0-K2	
	E7XT8-K2	No aplicable	E7XT8-A2-K2	
	E7XT11-K2	No aplicable	E7XT11-A-K2 ^b	
	E8XT1-K2C, -K2M	No aplicable	E8XT1-C1A2-K2 E8XT1-M21A2-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT5-K2C, -K2M	No aplicable	E8XT5-C1A2-K2 E8XT5-M21A2-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT1-K2C, -K2M	No aplicable	E9XT1-C1A0-K2 E9XT1-M21A0-K2	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT5-K2C, -K2M	No aplicable	E9XT5-C1A6-K2 E9XT5-M21A6-K2	SG-C SG-AC-20-25

(Continuación)

Tabla U.9 (Continuación)
Comparación de clasificaciones AWS A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29
Especificaciones según clasificaciones fijas y abiertas AWS A5.36
para electrodos FCAW y GMAW con núcleo de metal de pasadas múltiples

Anexo T		A5.36		
Especificación	Clasificación	Clasificación fija	Clasificación abierta	Requisitos de clasificación de gas de protección, anexo V
A5.29 (Continuación)	E10XT1-K3C, -K3M	No aplicable	E10XT1-C1A0-K3 E10XT1-M21A0-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E10XT5-K3C, -K3M	No aplicable	E10XT5-C1A6-K3 E10XT5-M21A6-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT1-K3C, -K3M	No aplicable	E11XT1-C1A0-K3 E11XT1-M21A0-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT5-K3C, -K3M	No aplicable	E11XT5-C1A6-K3 E11XT5-M21A6-K3	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT1-K4C, -K4M	No aplicable	E11XT1-C1A0-K4 E11XT1-M21A0-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E11XT5-K4C, -K4M	No aplicable	E11XT5-C1A6-K4 E11XT5-M21A6-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E12XT5-K4C, -K4M	No aplicable	E12XT5-C1A6-K4 E12XT5-M21A6-K4	SG-C SG-AC-20-25
	E12XT1-K5C, -K5M	No aplicable	E12XT1-C1A2-K5 E12XT1-M21A2-K5	SG-C SG-AC-20-25
	E7XT5-K6C, -K6M	No aplicable	E7XT5-C1A8-K6 ^a E7XT5-M21A8-K6 ^a	SG-C SG-AC-20-25
	E6XT8-K6	No aplicable	E6XT6-A2-K6	
	E7XT8-K6	No aplicable	E7XT8-A2-K6	
	E10XT1-K7C, -K7M	No aplicable	E10XT1-C1A6-K7 E10XT1-M21A6-K7	SG-C SG-AC-20-25
	E9XT8-K8	No aplicable	E9XT8-A2-K8	
	E10XT1-K9C, -K9M	No aplicable	E10XT1-C1A6-K9 ^c E10XT1-M21A6-K9 ^c	SG-C SG-AC-20-25
	E8XT1-W2C, -W2M	No aplicable	E8XT1-C1A2-W2 E8XT1-M21A2-W2	SG-C SG-AC-20-25
	EXXTX-G	No aplicable	EXXTX-XX-G	
	EXXTX-GC, -GM	No aplicable	EXXTX-C1XX-G EXXTX-M21XX-G	SG-C SG-AC-20-25
	EXXTG-X	No aplicable	EXXTG-XXX-X	Según lo acordado
	EXXTG-G	No aplicable	EXXTG-XXX-G	Según lo acordado

^a La temperatura CVN AWS A5.29 es -75 °F [-60 °C], para la cual no hay un designador en A5.36, por lo tanto, la comparación de clasificación abierta es una aproximación.

^b La temperatura CVN AWS A5.29 es +32 °F [0 °C], para la cual no hay un designador en A5.36, por lo tanto, la comparación de clasificación abierta no está completa debido a la falta de temperatura en el ensayo CVN.

^c AWS A5.36 no aborda los requisitos específicos para un electrodo k9, diseñado para aplicaciones militares, en el cual el límite elástico está controlado y la resistencia a la tracción se informa a modo de referencia. AWS A5.29 informó la tracción como una aproximación (100 ksi–120 ksi [690 MPa–830 MPa]), no como un requisito, y controló la tensión en 82 ksi–97 ksi [570 MPa–670 MPa].

Indicadores de clasificación obligatorios^a

Designa un electrodo.

Designador de resistencia a la tracción. Para A5.36, uno o dos dígitos indican la resistencia mínima a la tracción (cuando se multiplica por 10 000 psi) del metal de la soldadura depositado con el electrodo bajo las condiciones de soldadura determinadas en esta especificación. Para A5.36M, se usan dos dígitos para indicar la resistencia mínima a la tracción (cuando se multiplica por 10 megapascales [MPa]). véase Tabla U.2.

Designador de posición. Este designador es "0" o "1". "0" es para posiciones planas y horizontales solamente. "1" es para todas las posiciones (planas, horizontales, verticales con progresión descendente, y/o verticales con progresión ascendente y de sobrecabeza).

Designador de utilidad. Esta letra es la letra "T" seguida por un número de 1 a 17 o la letra "G". La letra "T" identifica el electrodo como un electrodo de núcleo de fundente o de núcleo de metal. Este designador se refiere a la utilidad del electrodo con requisitos para polaridad y características de funcionamiento generales (véase Tabla U.4). La letra "G" indica que la polaridad y las características de funcionamiento generales no están especificadas. Una "S" aparece al final de este designador cuando el electrodo que se va a clasificar es para soldadura de pasada única solamente.

Designador de gas de protección. Indica el tipo de gas de protección, de haber alguno, que se usa para la clasificación (véase Tabla U.5). La letra "Z" en esta posición indica que la composición del gas de protección es según lo acordado entre el proveedor y el comprador. Cuando no aparece ningún designador en esta posición, indica que el electrodo es autorrevestido y que no se usa ningún gas de protección externo.

Designa la condición del tratamiento térmico en que se realizaron los ensayos. "A" representa tal como se soldó y "P" representa tratamiento térmico posterior a la soldadura. El tiempo y la temperatura del PWHT se especifica en 9.2.1.2 y la Tabla 8 en A5.36. La letra "G" en esta posición indica que el procedimiento de PWHT es acordado entre el proveedor y comprador. Este designador se omite cuando el electrodo que se va a clasificar es para soldadura de pasada única solamente.

Designador de impacto. Para A5.36, este designador indica la temperatura en °F en o por encima de la cual la resistencia a impactos del metal de la soldadura, al que se hace referencia más arriba, cumple o supera los 20 ft·lbf. Para A5.36M, este designador indica la temperatura en °C en o por encima de la cual la resistencia a impactos del metal de la soldadura cumple o supera los 27 J. El designador de impacto puede ser de uno o dos dígitos (véase Tabla U.3). Una "Z" en esta posición indica que no hay requisitos de impacto para la clasificación de electrodo. Este designador se omite cuando el electrodo que se va a clasificar es para soldadura de pasada única solamente. Una "G" en esta posición indica que los requisitos de impacto no están especificados, pero son según lo acordado entre el comprador y el proveedor.

Designador de composición de depósito. Se usan uno, dos o tres caracteres para designar la composición del metal de soldadura depositada (véase Tabla U.6). La letra "G" indica que la composición química no está especificada. No se usa ningún designador en esta posición cuando el electrodo que se va a clasificar es un electrodo de pasada única.

E X X T X - X X X - X - X H X

Indicadores complementarios opcionales^b

Designador de hidrógeno difusible complementario opcional.

En el caso de los electrodos con núcleo de fundente, la letra "D" o "Q", cuando se encuentra en esta posición, indica que el metal de la soldadura cumplirá con los requisitos complementarios de propiedades mecánicas si se hace la soldadura con procedimientos de poca entrada de calor y velocidad rápida de enfriamiento y con procedimientos de alta entrada de calor y velocidad lenta de enfriamiento (véase Tablas U.7 y U.8 para conocer los cambios en los requisitos de entrada de calor entre A5.20 y A5.36).

^a La combinación de estos indicadores constituye la clasificación de electrodos con núcleo de fundente o de metal.

^b Estos indicadores son opcionales y no constituyen una parte de la clasificación de electrodos con núcleo de fundente o de metal.

Fuente: Adaptado de AWS A5.36/A5.36M:2012, especificación para electrodos con núcleo de fundente de carbono y acero de baja aleación para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura a gas y arco con electrodo metálico, Figura 1, Sociedad Americana de Soldadura.

Comentario sobre Código de soldadura estructural —Acero

18^{va} edición

Preparado por el
Comité D1 de Soldadura Estructural de la AWS

Con la dirección del
Comité de Actividades Técnicas de la AWS

Documento original aprobado por la
Junta Directiva de la AWS

Prefacio

Este prefacio no hace parte del Comentario de la AWS D1.1/D1.1M:2015,
Código de soldadura estructural — Acero, pero se incluye para fines informativos solamente.

Este comentario sobre la AWS D1.1/D1.1M:2015 se ha preparado para generar un mejor entendimiento sobre la aplicación del código a la soldadura en la construcción de acero.

Puesto que el código se escribió en forma de una especificación, no puede presentar material de antecedentes o discutir la intención del Comité de soldadura estructural; la función del presente comentario es suplir esa necesidad.

Las sugerencias para la aplicación, así como también la aclaración de los requisitos del código, se ofrecen con énfasis específico en las secciones nuevas o revisadas con las cuales el usuario esté familiarizado.

Desde la publicación de la primera edición del código, la naturaleza de las consultas dirigidas a la Sociedad Americana de Soldadura y al Comité de Soldadura Estructural han indicado que existen algunos requisitos en el código que o bien son difíciles de entender o no son los suficientemente específicos, además existen otros que parecen ser demasiado conservadores.

Se debería reconocer que la premisa fundamental del código es proporcionar las condiciones generales aplicables a cualquier situación y dejar el suficiente espacio para el ejercicio de la evaluación de ingeniería.

Otro punto que se debe reconocer es que el código representa la experiencia colectiva del comité y aunque algunas disposiciones parecen ser demasiado conservadoras, se han basado en una práctica razonable de ingeniería.

Por lo tanto, el comité cree que un comentario es el medio más adecuado para suministrar aclaración, así como también interpretación adecuada de la mayoría de los requisitos del código. Obviamente, el tamaño del comentario ha impuesto ciertas limitaciones en relación con la extensión de la cobertura.

No se pretende que este comentario suministre un antecedente histórico sobre el desarrollo del código, tampoco se pretende que suministre un resumen detallado de los estudios y los datos de investigación revisados por el comité durante la formulación de las disposiciones del código.

Por lo general, el código no considera tales consideraciones de diseño como la carga y el cómputo de los esfuerzos para el propósito de proporcionar los miembros de la estructura que portan carga y sus conexiones. Se asume que tales consideraciones se cubren en alguna otra parte, por lo general en un código de construcción, especificación de puente o un documento similar.

Como excepción, el código suministra los esfuerzos admisibles de las soldaduras, disposiciones para fatiga de soldaduras en estructuras con cargas cíclicas y estructuras tubulares, y las limitaciones de resistencia para las conexiones tubulares. Estas disposiciones se relacionan con las propiedades particulares de las conexiones soldadas.

El Comité se ha esforzado para producir un documento útil adecuado en cuanto al lenguaje, la forma y la cobertura para la soldadura en la construcción en acero. El código proporciona un medio para establecer normas de soldadura para su uso en el diseño y la construcción por parte del Propietario o del representante designado por el Propietario. El código incorpora disposiciones para la regulación de la soldadura, que se consideren necesarias para la seguridad pública.

El Comité recomienda que el Propietario o el representante del Propietario utilicen este comentario como una guía en la aplicación del código a la estructura soldada. El comentario no tiene por objeto complementar los requisitos del código, sino sólo proporcionar un documento útil para la interpretación y la aplicación del código; ninguna de sus disposiciones es vinculante.

La intención del Comité de Soldadura Estructural consiste en revisar el comentario regularmente de manera que los comentarios sobre los cambios al código se le puedan suministrar al usuario con prontitud. De esta manera, el comentario siempre estará al día con la edición del *Código de soldadura estructural — Acero* con el cual está vinculado.

Los cambios en el comentario se han indicado mediante subrayado. Los cambios en las ilustraciones se indican mediante líneas verticales situadas en el margen.

Comentario sobre Código de soldadura estructural—Acero

C-1. Requisitos generales

Los usuarios de este código pueden observar que no existe Anexo C. Esto se hizo intencionalmente para evitar cualquier confusión con las referencias del comentario que utilizan "C-" para identificar texto, tablas y figuras que son parte del comentario. La identificación del comentario en el texto del código es relativamente fácil. Si existe un comentario en el texto del código, por ejemplo la sección 2.3.2 del código, se puede identificar en la cláusula C-2 del comentario etiquetado C-2.3.2. "C-" indica que es un comentario, "2.3.2" identifica la porción del código a la cual hace referencia el comentario. De la misma manera, C-Tabla 3.7 indica un comentario sobre la tabla 3.7 y C-Figura 3.1 indica un comentario sobre la figura 3.1. Si una subsección, tabla o figura del código no tiene un comentario asociado, entonces no habrá una sección etiquetada en el comentario para dicho componente del código. Es por esto que cuando se lee a lo largo del comentario la numeración puede parecer errática, y al parecer faltan algunas secciones. Por ejemplo, es posible que lea las siguientes tres secciones del comentario en orden. C-5.22.6.1, C-5.22.6.2, C-5.22.6.4. Puede observar en esta secuencia que falta C-5.22.6.3. No es un error tipográfico, más bien es una indicación de que no existe comentario sobre la sección 5.22.6.3 del código. El comentario tiene tablas y figuras propias. Se identifican de manera ligeramente diferente, tenga cuidado de no confundirlas con los comentarios sobre las tablas y figuras del código. Por ejemplo, la primera tabla en el comentario de soporte de la cláusula C-8 está etiquetada como "Tabla C-8.1." Tenga en cuenta que "C-" no se encuentra antes de "Tabla" sino después. "C-Tabla 3.7" es un comentario sobre la tabla 3.7 en el código; "Tabla C-8.1" es la primera tabla del comentario en la cláusula C-8. Lo mismo es cierto para el etiquetado de las figuras, por ejemplo, "C-Figura 3.1" y "Figura C-3.1".

C-1.1 Alcance

El *Código de soldadura estructural—Acero*, de aquí en adelante mencionado como el código, suministra los requisitos de soldadura para la construcción de estructuras de acero. Se pretende que sea complementario a cualquier código o especificación general para el diseño y construcción de estructuras de acero.

Cuando se utiliza el código para otras estructuras, los propietarios, arquitectos e ingenieros deberían reconocer que no todas sus disposiciones se pueden aplicar o son adecuadas para su estructura particular. Sin embargo, cualquier modificación del código que tales autoridades consideren necesaria deben estar claramente referenciada en el acuerdo contractual entre el propietario y el contratista.

C-1.3 Definiciones

C-1.3.1 Ingeniero. El código no define al Ingeniero en términos de educación, registro profesional, licencia profesional, área de especialización u otro criterio similar. El

código no dispone una prueba para la competencia o habilidad del Ingeniero. Sin embargo, en cuanto a las responsabilidades y autoridades asignadas al Ingeniero a lo largo del código se supone que la persona es competente y capaz de ejercer tales responsabilidades. Es posible que los códigos de construcción aplicables tengan requisitos que el Ingeniero deba cumplir. Estos requisitos pueden incluir, pero no se limitan a, la conformidad con las leyes y las regulaciones de jurisdicción local que gobiernan la práctica de la ingeniería.

C-1.3.3.1 Inspector del contratista. En ediciones pasadas de este código, el término "inspector de montaje y construcción" se utilizó para designar a la persona que supervisa el trabajo del Contratista. Las responsabilidades específicas del Inspector del Contratista se definen en la sección 6.1. En algunas industrias, a esto se hace referencia como "control de calidad" o "inspección de control de calidad".

C-1.3.3.2 Inspector de verificación. El Ingeniero identifica las responsabilidades del Inspector de verificación.

ción. El Ingeniero tiene la responsabilidad de determinar si se requiere o no la inspección de verificación para un proyecto específico, y en caso de requerirse, la responsabilidad de definir las responsabilidades de dicho Inspector. En algunas industrias, este tipo de inspección se conoce como "aseguramiento de calidad" o "inspección de aseguramiento de calidad". Los códigos de construcción pueden especificar requisitos de inspección de verificación. Por lo tanto, el Ingeniero debería identificar tales requerimientos en los documentos de contratación.

C-1.3.3.3 Inspector(es) (sin modificar). Cuando se utiliza la palabra "inspector" sin los términos modificadores "del Contratista" o "de Verificación", la disposición es igualmente aplicable a ambos tipos de Inspectores (consulte la sección 6.1.4 como ejemplo).

C-1.3.4 OEM (fabricante original del equipo). Las industrias y aplicaciones primarias regidas por este código implican usualmente entidades separadas, que concuerdan con las amplias categorías de Contratista e Ingeniero. Para algunas aplicaciones de este código, una entidad puede funcionar a la vez como Ingeniero y Contratista. En el presente código, a esto se le conoce como un Fabricante original del equipo (OEM). Ejemplos incluyen los sistemas de construcción en metal, patines y plataformas para equipos, sistemas de almacenamiento de material, torres de transmisión, postes de iluminación y estructuras de señales. Para dichas situaciones, los documentos contractuales deben definir la forma en la que se deben gestionar las diversas responsabilidades. Por definición, el presente código separa las funciones del Ingeniero de las del Contratista, aunque se fusionan para aplicaciones OEM. Existen muchas situaciones posibles, pero las siguientes categorías generales capturan mucho de los ejemplos de las aplicaciones OEM:

- OEM 1—El OEM asume responsabilidad por los "productos llave en mano", y el Propietario no está implicado en los asuntos de ingeniería o inspección.
- OEM 2—Se entrega un producto llave en mano, pero el Propietario provee su propio Inspector de verificación, quien reporta sus hallazgos al Propietario.
- OEM 3—Las funciones del Ingeniero según lo define el código son desempeñadas por el OEN y el Ingeniero del Propietario.

Para abordar cada una de las situaciones anteriores, a continuación se incluyen ejemplos de posible redacción contractual. Se deberían revisar para asegurar que se puedan aplicar a la situación específica.

Ejemplo de redacción para OEM 1:

"Se debe utilizar D1.1. El Ingeniero del Contratista debe asumir las responsabilidades del Ingeniero según se definen en la sección 1.3.1. No se permitirán desviaciones de los requisitos del código según lo descrito en la sección 1.4.1".

Ejemplo de redacción para OEM 2:

"Se debe utilizar D1.1. El Ingeniero del Contratista debe asumir las responsabilidades del Ingeniero según se definen en la subsección 1.3.1, excepto que todas las referencias al "Ingeniero" en la Sección 6 se deben entender como al "Propietario". La inspección de verificación deberá realizarse según lo determinado por el Propietario, y

el Inspector de verificación debe informarle los resultados al Propietario. Adicionalmente, las decisiones tomadas por el Ingeniero del contratista que requieran cambios al código según lo descrito en la sección 1.4.1, deberán enviarse al Propietario para aprobación".

Ejemplo de redacción para OEM 3:

No se suministra aquí una redacción específica sugerida debido a que la cantidad de permutaciones es demasiado grande. Se le recomienda al usuario que estudie cada referencia que se hace al Ingeniero para resolver la manera en que se debe abordar cada situación. Como ejemplo, los contenidos de las Secciones 1, 2 y 6 se podrán asignar al Ingeniero del Propietario y las responsabilidades de las Secciones 3, 4, 5 y 7 se le asignan al Ingeniero del Contratista.

C-1.3.6.2 Debería. Las disposiciones "debería" son consultivas (consulte la sección 5.28 por ejemplo — los golpes de arco se deberían evitar, pero no están prohibidos). Sin embargo, si están presentes, "se deben" (es decir, se requiere) retirar.

Ciertas disposiciones del código son opciones dadas al Contratista (consulte la sección 5.26 como un ejemplo donde se permite el martillado (puede) pero no se requiere (debería) en capas intermedias de soldadura).

C-1.3.6.3 Puede. Algunas disposiciones del código no son obligatorias a menos que el Ingeniero las invoque en los documentos contractuales.

C-1.4 Responsabilidades.

C-1.4.1 Responsabilidades del ingeniero. Al momento de la preparación del contrato, el ingeniero es responsable de suministrarle recomendaciones al dueño o a la autoridad de contratación en relación con la idoneidad del código para cumplir con los requisitos particulares de una estructura específica. El ingeniero puede cambiar cualquier requisito del código, pero la base para tales cambios debe documentarse adecuadamente y se debe tomar en cuenta la idoneidad para el servicio mediante el uso de la experiencia pasada, la evidencia experimental o los análisis de ingeniería, mientras se tiene en cuenta el tipo de material, los efectos de la carga y los factores ambientales.

Ocasionalmente durante el transcurso del proyecto, el ingeniero puede recomendar cambios adicionales a las disposiciones del código para el bienestar del proyecto. Tales cambios se deben documentar. El efecto sobre la relación contractual se debe resolver entre las partes implicadas.

Ejemplos comunes de modificaciones al código que dependen del contrato incluyen la resolución de dificultades no previstas del proyecto, el manejo de las no conformidades menores y el manejo de asuntos específicos de violación del código. Por ejemplo, la aceptación de no conformidades menores con la debida consideración de los requisitos de servicio puede ser más deseable para el proyecto en general que una orden de reparación, lo que resultaría en la total conformidad con el código, pero con un producto final menos deseable.

La premisa fundamental del código es proporcionar las condiciones generales aplicables a la mayoría de las situa-

ciones. Los criterios de aceptación para las soldaduras de producción diferentes a los especificados en el código se pueden usar, pero debe existir una base para tales criterios alternativos de aceptación, como la experiencia pasada, la evidencia experimental o el análisis de ingeniería.

Después de que se haya asignado el contrato, el ingeniero puede cambiar los requisitos en el código, pero se deben documentar los cambios y las partes deben llegar a un acuerdo al respecto. El ingeniero no puede modificar o cambiar de manera unilateral cualquier disposición del código después de que se hayan asignado los contratos, sin la creación de conflictos potenciales con los términos del contrato. Estos tipos de modificaciones deberían acordarse mutuamente entre las partes implicadas para abordar de manera satisfactoria las circunstancias inesperadas.

Se requiere que el ingeniero determine la idoneidad del detalle de la junta en particular para especificar el ensamble soldado específico. Es posible que los detalles de junta precalificados, así como también los detalles de una junta en particular que se pueden calificar mediante ensayos, no sean adecuados para todas las condiciones de carga o las condiciones de restricción. Se deben tomar consideraciones con respecto a las propiedades de grosor de los aceros, la probabilidad de desgarro laminar, los tamaños y proporciones de los miembros que se van a soldar y otros factores.

C-1.4.1(1) Ciertas disposiciones del código son obligatorias solamente cuando las especifica el ingeniero. El código requiere que esto se haga en los documentos de contratación.

C-1.4.1(2) El ingeniero tiene la autoridad y la responsabilidad de determinar qué NDT (en caso de haberlo) se especificará para un proyecto específico. El ingeniero debe considerar las consecuencias de una falla, la aplicabilidad del proceso de inspección para la soldadura específica implicada y reconocer las limitaciones de los métodos NDT especificados, además de la extensión de dicho NDT.

C-1.4.1(3) El código no requiere la inspección de verificación y, en caso de utilizarla, el código requiere que el ingeniero la especifique (consulte la sección 6.1.2.2). El ingeniero puede elegir no realizar la inspección de verificación, realizar la inspección de verificación solo a una porción de la construcción o realizar una inspección de verificación que remplace totalmente la inspección del contratista. Sin embargo, cuando el ingeniero elija eliminar la inspección del contratista, el ingeniero debe tener en cuenta que existe un gran número de responsabilidades asignadas al inspector del contratista que incluyen actividades que tradicionalmente pueden no considerarse como parte de la inspección de verificación (consulte la secciones 6.1.2.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.9 y 9.25). Estas actividades son importantes para el control de la calidad de la soldadura. No se debe asumir que el NDT, sin importar lo extenso que sea, eliminará la necesidad de controlar tales actividades.

C-1.4.1(5) La resistencia a la entalladura para el metal de soldadura, el metal base o HAZ no es obligatoria según este código. Cuando sea necesario, el código requiere que dichos requisitos se especifiquen en los documentos de contratación.

C-1.4.1(6) El código contiene disposiciones para aplicaciones no tubulares, cargadas de manera estática o cíclica. Los criterios para dichas construcciones difieren, y como tales, Cuando sea necesario, el código requiere que la forma de acero y las condiciones de carga aplicables se especifiquen en los documentos de contratación.

C-1.4.1(7) El ingeniero es responsable de especificar requisitos de fabricación e inspección adicionales que no están necesariamente abordados en el código. Estos requisitos adicionales pueden ser necesarios debido a condiciones tales como: temperaturas extremas de operación (ya sea caliente o frío) de la estructura, requisitos exclusivos de fabricación de materiales, etc.

C-1.4.1(8) Para las aplicaciones OEM (consulte la sección 1.3.4), el contratista realiza algunas de las responsabilidades del ingeniero. El código requiere que los documentos contractuales definan dichas responsabilidades (consulte la sección C-1.3.4).

C-1.4.2 Responsabilidades del contratista. La lista resumida en la sección 1.4.2 resalta las principales áreas de responsabilidades del contratista, y no es exhaustiva. A lo largo del código se encuentran contenidas las responsabilidades del contratista.

C-1.4.3 Responsabilidades del inspector. La Subsección 1.4.3 resalta las principales áreas de responsabilidad de los diversos inspectores, y no es exhaustiva. La cláusula 6 resalta las responsabilidades específicas.

C-1.8 Unidades de medida estándar

D1.1 tiene un sistema de dos unidades: Unidades habituales de los Estados Unidos y unidades SI (métricas). A lo largo del código, el usuario encontrará dimensiones en unidades habituales de los Estados Unidos seguidas por unidades SI (métricas) entre corchetes cuadrados []. Las unidades SI son conversiones "blandas" de las unidades habituales de los Estados Unidos; es decir que el valor de cada conversión "blanda" se ha redondeado a partir del valor SI mediante el uso de una conversión cercana en contraposición a un valor racional basado en un factor de conversión. Por ejemplo, la conversión blanda de 1/2 pulgadas es 12 mm, y la conversión dura es 12,7 mm. De manera similar, la conversión blanda de una pulgada es 25 mm, y la conversión dura es 25,4 mm. Es inadecuado elegir y escoger entre tolerancias en unidades habituales de los Estados Unidos y unidades SI; cada sistema de unidades se debe utilizar como un todo, además el sistema utilizado debe ser el mismo que el utilizado en los planos de taller. En términos de las WPS, no se debe requerir que los fabricantes vuelvan a ejecutar los PQR por un cambio en unidades. Sin embargo, las WPS se deben indicar en los planos en las unidades apropiadas.

C-2. Diseño de conexiones soldadas

C-2.3 Planos y especificaciones del contrato

C-2.3.2 Requisitos de tenacidad a la entalla. La tenacidad a la entalla es una propiedad del material que proporciona una medida de su sensibilidad a la fracturas quebradizas. El ensayo CVN es el método más común para medir la tenacidad a la entalla. Otros ensayos están disponibles y pueden ser más fiables, pero también son más complejos y costosos. Medidas más precisas de la tenacidad no se justifican a menos que se utilicen métodos de mecánica de fracturas en el diseño.

La demanda de tenacidad depende del tipo de carga, la velocidad de aplicación de la carga, la temperatura y otros factores. La redundancia y las consecuencias de la fractura también se pueden considerar en la determinación de los requisitos de ensayo CVN para una junta soldada. Muchas aplicaciones no requieren una medida de la tenacidad a la entalla. En aplicaciones donde se requiere un valor mínimo de ensayo CVN, la especificación de una clasificación de metal de aporte que incluye los valores de ensayo CVN puede ser suficiente. Están disponibles muchas clasificaciones de metal de aporte que proporcionan criterios de ensayo CVN. La mayoría de los metales de aporte utilizados en aplicaciones estructurales de campo no se han ensayado para los valores de ensayo CVN. De los metales de aporte que se prueban para los valores de ensayo CVN y utilizados en aplicaciones estructurales, el más común cumple 20pies·lbft a -20° o 0°F [27 J a -29° o -18°C]. En casos más severos, se pueden calificar WPS para cumplir con los valores de ensayo CVN. Se debe reconocer que un criterio de ensayo CVN en metal de aporte o en una cualificación WPS se refiere a la susceptibilidad de un material a las fracturas quebradizas pero no es una medida exacta de la propiedad del material en una junta de producción. El objetivo de la mayoría de los requisitos del ensayo CVN es proporcionar cierta garantía de que el material no se encuentra en su nivel inferior de tenacidad a la entalla a la temperatura de servicio de la estructura.

Las formas y placas estructurales se han estudiado y el ensayo CVN resultó en valores de 15pies·lbft [20 J] o superior a 40°F [4°C]. Estos estudios se llevaron a cabo a petición de los productores de acero fundido con el fin de mostrar que los ensayos CVN del metal base eran innecesarios para la mayoría de aplicaciones de construcción (consulte la referencia⁶). Las subsecciones 4.8.1, C-

2.5.2.2, C-9.15.4.4 y la Sección 4, Parte D contienen información sobre los valores de ensayo CVN (consulte también *Control de fracturas y fatigas en estructuras*, Barsom and Rolfe [Referencia 1]).

C-2.3.4 Tamaño y longitud de la soldadura. El Ingeniero que prepara los planos de diseño del contrato no puede especificar la profundidad de la ranura "S" sin conocer el proceso de soldadura y la posición de la soldadura. El código establece explícitamente que sólo el tamaño de la soldadura "(E)" se debe especificar en los planos de diseño para las soldaduras en ranura con PJP (consulte la sección 2.3.5.1). Esto permite que el contratista produzca el tamaño de soldadura mediante la asignación de una profundidad de preparación a la ranura indicada en los planos de taller en relación con la elección del contratista del proceso de soldadura y la posición de la soldadura.

La penetración de las raíces generalmente dependerá del ángulo en la raíz de la ranura en combinación con la abertura de la raíz, la posición de soldadura y el proceso de soldadura. Para juntas que utilizan soldadura en ranura en V y abocinada, estos factores determinan la relación entre la profundidad de la preparación y el tamaño de la soldadura para las soldaduras en ranura con PJP precalificadas.

La resistencia de soldaduras en filete depende del tamaño de la garganta. Sin embargo, el tamaño de pierna de las soldaduras en filete es una dimensión más útil y medible para la ejecución de la obra. En los documentos de contratación y planos de taller, cuando las partes unidas se encuentran en un ángulo entre 80° y 100°, el tamaño efectivo se toma como la dimensión de la garganta de una soldadura en filete a 90°, y se designa en los documentos de contratación y en los planos de taller mediante el tamaño de la pierna.

En el lado del ángulo agudo de juntas en T significativamente oblicuas [consulte la figura 3.4(A), (B), y (C)], la relación entre el tamaño de la pierna y la garganta efectiva es compleja. Cuando las partes se encuentran en ángulos de menos de 80° o mayores que 100°, los documentos de contratación muestran la garganta efectiva requerida para proporcionar las condiciones de diseño y los planos de taller muestran el tamaño de la pierna requerido para proporcionar la garganta efectiva especificada.

Cuando el ángulo agudo se encuentra entre 30° y 60° , el tamaño efectivo de la soldadura depende de la reducción de la pérdida de Z [consulte la Figura 3.4(D)], que depende del proceso de soldadura y la posición. Especificar solamente el tamaño efectivo de garganta requerido para satisfacer las condiciones de diseño en los documentos contractuales le permite al fabricante, mediante el uso de procesos de soldadura adecuados para su equipos y prácticas, indicar su intención y las instrucciones mediante las WPS apropiadas y los símbolos en los planos de taller.

C-2.3.5.4 Dimensiones de detalle precalificadas. Los antecedentes y las bases para la precalificación de las juntas se explican en la sección C-3.2.1. Los diseñadores y delineantes deben tener en cuenta que la precalificación de las geometrías de junta se basa en condiciones satisfactorias comprobadas de forma, espacios libres, posición de soldadura y el acceso a una junta entre elementos de placa para que un soldador calificado deposite el metal de soldadura bien fundido sobre el metal base. Otras consideraciones de diseño importantes para la adecuación de una junta particular para una aplicación en particular no son parte de la condición precalificada. Tales consideraciones incluyen, pero no se limitan necesariamente a:

- (1) el efecto de la restricción impuesta por la rigidez del metal base conectado sobre la contracción del metal de soldadura,
- (2) el potencial de causar desgarro laminar por grandes depósitos de soldadura bajo condiciones restringidas sobre el metal base esforzado en la dirección a través del espesor,
- (3) limitaciones sobre el acceso del soldador a la junta para una colocación y manipulación adecuadas del electrodo, impuestas por el metal base cercano, pero que no es parte de la junta,
- (4) el potencial para el estado biaxial o triaxial de esfuerzo en las soldaduras de intersección,
- (5) limitaciones al acceso para permitir la inspección UT o RT fiable,
- (6) efecto de los esfuerzos residuales de tracción de la contracción de la soldadura,
- (7) efecto de soldaduras de mayor tamaño que lo necesario sobre la distorsión.

C-2.4 Áreas efectivas

C-2.4.1.4 Tamaño efectivo de soldaduras en ranura abocinada. Las secciones estructurales huecas rectangulares se forman de una manera que no puede resultar en un ángulo de 90° . La investigación que soporta la Tabla 2.1 tiene en cuenta esta práctica y se encontró que $2t$ es aceptable.

C-2.4.2.5 Longitud efectiva máxima. Cuando se utilizan soldaduras en filete longitudinal paralelas al esfuerzo para transmitir la carga al extremo de un miembro de carga axial, las soldaduras se denominan "cargadas al extremo". Ejemplos típicos de tales soldaduras incluirían, pero no se limitarían necesariamente a, juntas traslapadas soldadas

longitudinalmente en el extremo de los elementos cargados axialmente, soldaduras de fijación de rigidizadores de rodamiento, soldaduras de fijación de rigidizadores transversales a las almas de vigas principales diseñadas con base en el campo de tensión y casos similares. Ejemplos típicos de soldaduras en filete cargadas longitudinalmente que no se consideran como cargadas al extremo incluyen, pero no se limitan a, soldaduras que conectan placas o formas para conformar secciones transversales armadas en las que se aplica la fuerza de cizallamiento a cada incremento de la longitud del esfuerzo de soldadura dependiendo de la distribución de la carga de cizallamiento a lo largo de la longitud del miembro, las soldaduras que unen los ángulos de conexión del alma de la viga y las placas de cizalladura debido a que el flujo de fuerza de cizalladura del alma de la viga o de la viga principal a la soldadura es esencialmente uniforme en toda la longitud de la soldadura, es decir, el soldadura no está cargada en el extremo a pesar del hecho de que se carga en paralelo al eje de la soldadura. Tampoco se aplica el factor de reducción a las soldaduras que unen los rigidizadores a almas diseñadas sobre la base de la cizalladura del alma convencional, ya que los rigidizadores y soldaduras no están sujetos al esfuerzo axial calculado sino que simplemente sirven para mantener plana el alma.

La distribución del esfuerzo a lo largo de la longitud de las soldaduras en filete con extremo cargado está lejos de ser uniforme y depende de las relaciones complejas entre la rigidez de la soldadura en filete longitudinal en relación con la rigidez de los metales base conectados. Más allá de cierta extensión, no es conservador suponer que el esfuerzo promedio en toda la longitud de la soldadura se puede considerar como igual al esfuerzo admisible total. La experiencia ha demostrado que cuando la longitud de la soldadura es igual a aproximadamente 100 veces el tamaño de la soldadura o menos, es razonable suponer que la longitud efectiva es igual a la longitud real. Para longitudes de soldadura mayores que 100 veces el tamaño de la soldadura, la longitud efectiva se debe considerar como menor que la longitud real. El coeficiente de reducción, β , proporcionado en 2.4.2.5 es el equivalente (en unidades y terminología de los Estados Unidos) al Eurocódigo 3, que es una aproximación simplificada a las fórmulas exponenciales desarrolladas mediante estudios y ensayos de elementos finitos realizados en Europa durante muchos años. Los criterios se basan en la consideración combinada de resistencia máxima de las soldaduras en filete con el tamaño de la pierna menor que 1/4 pulgada [6 mm] y sobre límite de servicio basado en el juicio de un poco menos de 1/32 pulgada [1 mm] de desplazamiento al extremo de la soldadura para las soldaduras con tamaño de la pierna de 1/4 pulgada [6 mm] y más grandes. Matemáticamente, la multiplicación de la longitud real por el factor β conduce a una expresión que implica que la longitud efectiva alcanza un máximo cuando la longitud real es de aproximadamente 300 veces el tamaño de la pierna. Por lo tanto, la longitud máxima efectiva de una soldadura en filete cargada en el extremo se toma como 180 veces el tamaño de la pierna de la soldadura.

C-2.6 Esfuerzos

C-2.6.1 Esfuerzos calculados. Se pretende que los esfuerzos calculados que se vayan a comparar con los es-

fuerzos admisibles sean esfuerzos nominales determinados por métodos de análisis apropiados y no esfuerzos de "punto caliente" que se pueden determinar mediante análisis de elementos finitos utilizando una malla más fina que aproximadamente un pie. Algunas especificaciones de diseño de invocación aplicables requieren que ciertas juntas se diseñen para proporcionar, no sólo las fuerzas calculadas debido a las cargas aplicadas, sino también un determinado porcentaje mínimo de la resistencia del miembro, independientemente de la magnitud de las fuerzas aplicadas a la junta. Ejemplos de tales requisitos se encuentran en las Especificaciones AISC.

C-2.6.2 Esfuerzos calculados a causa de la excentricidad. Los ensayos han demostrado que el balanceo de soldaduras alrededor del eje neutro de un miembro en ángulo único, un miembro en ángulo doble o miembros similares no aumenta la capacidad de carga de la conexión. Por lo tanto, se permiten soldaduras desbalanceadas. Cabe señalar que no son necesarios los remates, puesto que el desgarro no es un problema (consulte la Figura C-2.1).

C-2.6.4 Esfuerzos admisibles del metal de soldadura. La filosofía subyacente a las disposiciones del código para esfuerzos en las soldaduras se puede describir mediante los siguientes principios:

(1) El metal soldado en soldaduras en ranura con CJP sujetas a esfuerzos de tensión normales al área efectiva debe tener propiedades mecánicas estrechamente comparables a las del metal base. Esto, en efecto, proporciona soldadura casi homogénea de sección transversal no reducida de modo que los esfuerzos utilizados en la dosificación de las partes componentes se puede utilizar en y adyacente al metal de soldadura depositado. Para esfuerzos resultantes de otras direcciones de carga, se puede utilizar metal de soldadura de menor resistencia, siempre y cuando se cumplan los requisitos de resistencia.

(2) Para las soldaduras en filete y soldaduras en ranura con PJP, el diseñador tiene una mayor flexibilidad en la elección de las propiedades mecánicas del metal de soldadura en comparación con aquellos componentes que se están uniendo. En la mayoría de los casos, la fuerza a ser transferida por estas soldaduras es menor que la capacidad de los componentes. Tales soldaduras se dimensionan para la fuerza a transferir. Esto se puede lograr con metal de soldadura de resistencia menor que el metal base, siempre y cuando el área de la garganta sea adecuada para soportar la fuerza dada. Debido a la mayor ductilidad del metal de soldadura de menor resistencia, se puede preferir esta opción.

Un esfuerzo de trabajo igual a 0,3 veces la resistencia a la tracción del metal de aporte, según lo designado por la clasificación del electrodo, aplicado a la garganta de una soldadura en filete se ha demostrado mediante ensayos (Referencia 7) que proporciona un factor de seguridad que varía desde 2,2 para las fuerzas de cizalladura paralela al eje longitudinal de la soldadura, a 4,6 para las fuerzas normales al eje bajo carga de servicio. Esta es la base de los valores dados en la Tabla 2.3.

(3) Las tensiones en la garganta efectiva de soldaduras en filete siempre se consideran como cizallamiento. Aunque una resistencia a la falla de soldaduras en filete

cargadas perpendicularmente a su eje longitudinal es mayor que la de las soldaduras en filete cargadas paralelamente a este eje, no se han asignado mayores capacidades de carga en la Tabla 2.3 para soldaduras en filete cargadas normalmente a su eje longitudinal.

Criterios alternativos que permitan mayores esfuerzos admisibles en las soldaduras en filete cargadas de forma oblicua al eje longitudinal de la soldadura se proporcionan en la sección 2.6.4.2.

(4) La capacidad de carga de cualquier soldadura se determina mediante la menor de las capacidades calculadas en cada plano de transmisión de esfuerzo. Estos planos para cizallamiento en soldaduras en filete y en ranura se ilustran en la Figura C-2.2.

(a) Plano 1-1, en el que la capacidad puede estar regida por el esfuerzo de cizalladura admisible para el material "A".

(b) Plano 2-2, en el que la capacidad se rige por el esfuerzo de cizalladura admisible del metal de soldadura.

(c) Plano 3-3, en el que la capacidad puede estar regida por el esfuerzo de cizalladura admisible para el material "B".

C-2.6.4.2 Esfuerzo admisible alternativo de las soldaduras en filete. Por mucho tiempo se ha reconocido que el rendimiento de la resistencia y la deformación de los elementos de soldadura en filete depende del ángulo Θ que la fuerza establece con el eje del elemento de soldadura. Las soldaduras en filete cargadas transversalmente tienen aproximadamente un 50% más de resistencia que las soldaduras cargadas en sentido longitudinal. Inversamente, se ha sabido que las soldaduras en filete transversalmente cargadas tienen menos capacidad de distorsión antes de la fractura que las soldaduras en filete cargadas longitudinalmente. Después de los ensayos realizados por Higgins y Preece, *Welding Journal Research Supplement*, octubre 1968 (Referencia 7), en aras de la simplicidad y porque los métodos para controlar la interacción entre los casos de carga longitudinal y de carga transversal no estaban disponibles, el esfuerzo admisible en soldaduras en filete se ha limitado en el código a $0,3 F_{TXX}$.

Este valor se basa en los resultados más bajos del ensayo de resistencia para soldaduras cargadas longitudinalmente con un factor de seguridad contra rotura de aproximadamente 2,2 a 2,7. El mismo criterio básico sigue siendo válido; sin embargo, el código proporciona ahora la opción, de un esfuerzo admisible más alto para soldaduras en filete con base en el cálculo de un valor específico para el ángulo de carga.

La mayor resistencia al corte de un elemento único de soldadura en filete en varios ángulos de aplicación de la carga se obtuvo originalmente a partir de las relaciones carga-deformación por Butler (1972) para los electrodos E60 (Referencia 3). Las curvas para los electrodos E70 las obtuvo Lesik (1990) (Referencia 4). El rendimiento de la resistencia y la deformación de las soldaduras depende del ángulo Θ que la fuerza elemental resultante forma con el eje del elemento de soldadura (consulte la figura C-2.3). La relación de deformación carga real para

las soldaduras en filete tomadas de Lesik se muestra en la Figura C-2.4.

La siguiente es la fórmula para el esfuerzo máximo de la soldadura, F_v .

$$F_v = 0,852 (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \Theta) F_{EXX}$$

Debido a que el esfuerzo admisible está limitado a $0,3 F_{EXX}$ para soldaduras longitudinalmente cargadas ($\Theta = 0^\circ$), los resultados de ensayo indican que las fórmulas en 2.6.4.2 y 2.6.4.3 proporcionan un factor de seguridad mayor que el valor comúnmente aceptado de 2.

C-2.6.4.3 Centro de rotación instantáneo. Cuando los grupos de soldadura se cargan en cizallamiento por una carga externa que no actúa a través del centro de gravedad del grupo, la carga es excéntrica y tenderá a causar una rotación y translación relativa entre las partes conectadas por las soldaduras. El punto sobre el que la rotación tiende a ocurrir se llama el centro de rotación instantáneo. Su ubicación depende de la excentricidad de la carga, la geometría del grupo de soldadura y la deformación de la soldadura en ángulos diferentes de la fuerza elemental resultante con respecto al eje de la soldadura. Se puede suponer que la fuerza de resistencia individual de cada elemento de soldadura unitario actúa en una línea perpendicular a un rayo que pasa por el centro de rotación instantáneo y la ubicación de los elementos (consulte la figura C-2.3).

La resistencia total de todos los elementos de soldadura se combina para resistir la carga excéntrica, y cuando se ha seleccionado la ubicación correcta del centro de rotación instantáneo, se satisfarán las ecuaciones en el plano de la estática (Σ_x , Σ_y , ΣM). Una explicación completa del procedimiento, incluidos los problemas de ejemplo se da en Tide (Referencia 5). Técnicas numéricas, como las que figuran en Brandt (Referencia 2), se han desarrollado para localizar el centro de rotación instantáneo a la tolerancia de convergencia. Para eliminar las posibles dificultades de cálculo, la deformación máxima en los elementos de soldadura se limita al valor límite inferior de $0,17W$. Por conveniencia de diseño, se utiliza una simple fórmula elíptica para $F(p)$ para aproximar estrechamente el polinomio derivado empíricamente en Lesik (Referencia 4).

C-2.6.4.4 Grupos de soldadura cargados de forma concéntrica. Una soldadura cargada transversalmente a su eje longitudinal tiene una mayor capacidad, pero una capacidad de deformación reducida menor en comparación con una soldadura cargada a lo largo de su eje longitudinal. Por lo tanto, cuando las soldaduras cargadas en ángulos diferentes se combinan en un solo grupo de soldadura, el diseñador debe tener en cuenta sus capacidades de deformación relativa para asegurar que todo el grupo de soldadura tiene compatibilidad a la deformación. El procedimiento en 2.6.4.3 tiene en cuenta la compatibilidad de deformación.

Dada la introducción de la ecuación en 2.6.4.2, que indica la resistencia de una soldadura en filete lineal cargada en el plano a través de su centro de gravedad como: $F_v = 0,3 F_{EXX} [1 + 0,5 \sin^{1,5}(\Theta)]$ muchos ingenieros simplemente han añadido la capacidad de las soldaduras de línea individuales en un grupo de soldadura, despre-

ciando la compatibilidad de carga-deformación. Esta es una práctica poco conservadora.

El diseño de un grupo de soldadura cargado concéntricamente pero de manera oblicua, además de realizarse mediante 2.6.4.4 como se muestra en la Figura C-2.5, se puede lograr gráficamente mediante las curvas de carga-deformación Figura C-2.6. Por ejemplo, para encontrar la fuerza del grupo de soldadura cargada de forma concéntrica se muestra en la Figura C-2.5, en primer lugar se determina el elemento de soldadura con la capacidad de deformación más limitada. En este caso, es la soldadura cargada transversalmente. Trazando una línea vertical desde el punto de fractura, se puede determinar el aumento o disminución de la fuerza para el resto de los elementos.

C-2.7 Configuración y detalles de junta

C-2.7.1 Consideraciones generales. En general, los detalles deben minimizar la restricción que inhibiría el comportamiento dúctil, evitar la concentración excesiva de la soldadura, así como también permitir un amplio acceso para depositar el metal de soldadura.

C-2.7.3 Carga de metal base en todo el espesor. La laminación de acero para producir formas y placas para su uso en estructuras de acero hace que el metal base presente diferentes propiedades mecánicas en las diferentes direcciones ortogonales. Esto hace que sea necesario que los diseñadores, delineantes y los fabricantes reconozcan el potencial de que laminaciones o el desgarro laminar afecten la integridad de las juntas acabadas, especialmente cuando se trata del espesor del metal base.

Las laminaciones no resultan de la soldadura. Son el resultado de los procesos de fabricación del acero. Por lo general, no afectan la fuerza del metal base cuando el plano de la laminación es paralelo al campo de esfuerzos, es decir, esfuerzos en la dirección longitudinal o transversal. Tienen efecto directo sobre la capacidad del metal base en juntas en esquina y T para transmitir fuerzas a través del espesor.

Los desgarros laminares, cuando se producen, en general, son el resultado de la contracción de los grandes depósitos de metal de soldadura en condiciones de restricción alta. Los desgarros laminares rara vez se producen cuando el tamaño de la soldadura es menor que aproximadamente $3/4$ pulgada a 1 pulgada [20 mm a 25 mm]. Los desgarros laminares rara vez se producen en las soldaduras en filete. Los desgarros laminares no ocurren en ausencia de restricciones a la contracción del metal de soldadura solidificado en caliente; sin embargo, en grandes soldaduras, las pasadas de soldadura iniciales solidificadas depositadas en la zona de la raíz de la soldadura, pueden proporcionar un tope rígido interno para las deformaciones por contracción a la tracción de las pasadas soldadura depositadas posteriormente.

Debido a que los desgarros laminares son causados por la contracción del metal de soldadura solidificado que se ve forzado a ser alojado dentro de una longitud corta de calibre mediante el balanceo localizado de la restricción a la compresión, las deformaciones unitarias en la direc-

ción a través del espesor en el metal base pueden ser muchas veces más grandes que la deformación del límite de fluencia. Se pueden generar desgarros laminares. Las deformaciones localizadas que pueden producir desgarros laminares se producen durante el enfriamiento durante la fabricación y constituyen la condición más severa que se impone sobre el metal base en las proximidades de la junta durante la vida de la estructura. Debido a que los esfuerzos de compresión y de tracción dentro o en estrecha proximidad a la junta se autoequilibran, y debido a que las deformaciones asociadas con los esfuerzos de diseño aplicados son una pequeña fracción de las asociadas con la contracción de la soldadura, las cargas aplicadas externamente no inician los desgarros laminares. Sin embargo, si las deformaciones se han iniciado por la soldadura, los desgarros laminares existentes pueden ampliarse.

El diseño y los detalles de las juntas en esquina y juntas T establecen las condiciones que pueden aumentar o disminuir la posibilidad de desgarro laminar, y hacer que la fabricación de una pieza soldada ocurra sin problemas o sea difícil o prácticamente imposible de realizar. Por lo tanto, es necesario que todos los miembros del equipo, el diseñador, el delineante, el fabricante y el soldador reduzcan al mínimo la posibilidad de desgarro laminar.

No se pueden proporcionar normas definitivas en el código para asegurar que no ocurra el desgarro laminar; por lo tanto, este comentario tiene por objeto proporcionar la comprensión de las causas y proporcionar orientación sobre los medios para reducir al mínimo la probabilidad de ocurrencia. Mediante ensayos y la experiencia se ha demostrado que las siguientes precauciones reducen al mínimo el riesgo de desgarro:

(1) El espesor del metal base y el tamaño de la soldadura se deben adecuar para satisfacer los requisitos de diseño. Sin embargo, el diseño de las juntas con base en esfuerzos más bajos que los esfuerzos admisibles del código, en lugar de proporcionar un diseño conservador, resulta en el aumento de retención, el aumento de tamaño de la soldadura y deformación por contracción que será necesario corregir. Por tanto, tal práctica aumenta en vez de disminuir las posibilidades de desgarro laminar.

(2) Utilice electrodos de bajo contenido de hidrógeno al soldar juntas T grandes y juntas en esquina. El hidrógeno absorbido no se considera como la causa principal para el inicio del desgarro laminar, pero el uso de electrodos de bajo contenido de hidrógeno en las juntas grandes (longitudinal, transversal o a través del espesor) para minimizar la tendencia al agrietamiento en frío inducido por hidrógeno es una buena práctica en cualquier caso. El uso de electrodos no bajos en hidrógeno puede acarrear problemas.

(3) Se ha demostrado en los ensayos y mediante la experiencia que la aplicación de una capa de pasadas de soldadura "de tope" aproximadamente 1/8 pulgada a 3/16 pulgada [3 mm a 5 mm] de espesor a la cara del metal base que se somete a esfuerzo en la dirección a través del grosor antes del montaje de la junta, reduce la probabilidad de desgarro laminar. Tal capa "de tope" proporciona metal de soldadura duro con una estructura de grano de fundición en lugar de la estructura de grano de acero la-

minado anisotrópico fibroso en el lugar de las deformaciones por contracción de la soldadura más intensas.

(4) En juntas grandes, secuencie las pasadas de soldadura de manera que se acumule en la superficie del metal base sometido a esfuerzo en la dirección longitudinal antes de depositar cordones de soldadura contra la cara del metal sometido a esfuerzo en la dirección a través del espesor. Este procedimiento permite que una parte significativa de la contracción de la soldadura ocurra en ausencia de restricción.

(5) En las juntas en esquina, cuando sea factible, la preparación de la junta abocinada debe ocurrir sobre el metal base sometido a esfuerzo en la dirección a través del espesor de modo que el metal de soldadura se funda en el metal base sobre un plano en el espesor del metal base hasta el máximo grado práctico.

(6) Las juntas en doble bisel y doble-V requieren disposición de mucho menos metal de soldadura que las juntas de V-única o bisel único, y por lo tanto, reducen a la mitad la cantidad de contracción de soldadura que se pueda alojar. Cuando sea práctico, el uso de este tipo de juntas puede ser útil.

(7) En las soldaduras que implican varias juntas de diferente grosor de metal base, las juntas más grandes se deben soldar primero para que los depósitos de soldadura, que pueden involucrar la mayor cantidad de contracción de la soldadura, se puedan terminar en condiciones de la más baja restricción posible. Las juntas más pequeñas, aunque soldadas bajo condiciones de mayor restricción, implicarán una menor cantidad de contracción de la soldadura para acomodarlas.

(8) El área de los miembros a los que las grandes soldaduras transferirán esfuerzos en la dirección a través del espesor, se debe inspeccionar durante el diseño para asegurar que la contracción de la soldadura de la junta no genere deformaciones a través del espesor en metal base con laminaciones preexistentes o inclusiones grandes (consulte la norma ASTM A578).

(9) Se ha demostrado que el martillado ejecutado correctamente de las pasadas de soldadura intermedias reduce la posibilidad de desgarro laminar. Las pasadas de raíz no se deben martillar con el fin de evitar la posibilidad de introducir grietas en las pasadas de soldadura finas iniciales, que no se puedan detectar y posteriormente se propaguen a través de la junta. Las pasadas intermedias se deben martillar con una herramienta de punta redonda con suficiente vigor para deformar plásticamente la superficie de la pasada y cambiar los residuales de tracción a esfuerzos residuales de compresión, pero no tan vigorosamente como para generar traslape o una superficie picada. Las pasadas finales no se deben martillar.

(10) Evite el uso del sobreesfuerzo de metal de aporte.

(11) Cuando sea práctico, utilice metal base con bajo contenido de azufre ($<0,006\%$) o metal base con propiedades mejoradas a través del espesor.

(12) Las juntas críticas se deben examinar mediante RT o UT después de que la junta se haya enfriado a temperatura ambiente.

(13) Si se detectan discontinuidades menores, el ingeniero debe evaluar cuidadosamente si las discontinuidades se pueden dejar sin reparar sin poner en peligro la idoneidad para el servicio o la integridad estructural. La soldadura en ranurado y la de reparación añadirán nuevos ciclos de calentamiento y enfriamiento, además de causar contracción de la soldadura en condiciones de restricción que pueden ser más graves que las condiciones en las que se soldó inicialmente la junta. Las operaciones de reparación pueden generar una condición más perjudicial.

(14) Cuando se identifican desgarros laminares y la reparación se considera conveniente, el trabajo no debe llevarse a cabo sin antes revisar las WPS y de hacer un esfuerzo para identificar la causa del resultado insatisfactorio. Puede ser necesaria una WPS especial o un cambio en el detalle de la junta.

C-2.7.4 Combinaciones de soldaduras. Las soldaduras en filete depositadas sobre las soldaduras en ranura no incrementan directamente la garganta efectiva de la junta; por lo tanto, la resistencia de la junta no se puede tomar como la suma algebraica de la resistencia de la soldadura en ranura y la resistencia del filete.

2.7.5 Contorno de superficie de juntas a tope, en esquina y en T. Las soldaduras en filete que contornean y de refuerzo tienen un propósito útil en las juntas en esquina y en T- y en las juntas a tope que unen partes de anchura o espesor desigual. Proporcionan un filete que reduce la gravedad de la concentración de esfuerzos que existiría en el cambio geométrico de noventa grados en la sección.

C-2.7.6 Orificios de acceso a la soldadura. No se requieren orificios de acceso a la soldadura e incluso no son deseables para cada aplicación. Sin embargo, es importante reconocer que cualquier junta transversal en la brida de secciones de brida ancha, en H y secciones transversales similares hechas sin el uso de un orificio de acceso a la soldadura no se pueden considerar como una junta soldada en ranura con CJP. Esto es cierto, puesto que las juntas soldadas en ranura con CJP precalificadas se limitan a los casos de elementos de placa plana a elementos de placa plana que se muestran en la Figura 3.3. La decisión de utilizar juntas CJP precalificadas o utilizar juntas no precalificadas sin orificios de acceso depende de la consideración de varios factores que incluyen, pero no se limitan a lo siguiente:

(1) El tamaño de los miembros que se van a unir.

(2) Si la junta es una soldadura en taller o en campo, es decir, si las piezas se pueden colocar para la soldadura de manera que se pueda evitar la soldadura de sobrecabeza y los filetes de refuerzo se puedan depositar fácilmente en la ubicación de las concentraciones de esfuerzo pico.

(3) La variación en la restricción para la contracción de la soldadura y la distribución del esfuerzo aplicado a lo largo de la longitud de la junta transversal debido a la geometría de las piezas que se van a unir. Por ejemplo, la restricción alta debido al alma de la columna en la región de la línea central del ala de la columna en comparación con la restricción más baja lejos de la línea central hace que los esfuerzos residuales de soldadura y los esfuerzos aplicados aumenten de forma pronunciada en la región difícil de soldar en el medio del ala de la viga.

(4) En el caso de una geometría que permita una restricción más uniforme sin un "punto duro" a lo largo de la longitud de la junta, la probabilidad de aumento del número de pequeñas discontinuidades internas del metal de soldadura, pero sin la gran discontinuidad del orificio de acceso a la soldadura, podrían proporcionar una junta con mayor resistencia. Por ejemplo, los ensayos de conexiones de placa-extremo (Murray 1996) han demostrado que las juntas entre extremos de viga y placas de extremo hechas sin orificios de acceso a la soldadura, pero con discontinuidades sin reparar en la región de la unión alma a ala proporcionan mayor resistencia que las conexiones similares hechas usando orificios de acceso, pero con un menor número de discontinuidades internas.

La investigación, el pensamiento y el ingenio se están dirigiendo hacia detalles mejorados para la soldadura de conexiones de momento viga a columna. El diseño alternativo de juntas y detalles para proporcionar la resistencia y la aptitud para el servicio se deben considerar cuando sean aplicables. Se requiere un criterio de ingeniería.

Cuando se requieren orificios de acceso a la soldadura, se aplican los requisitos mínimos de la sección 5.16. El tamaño mínimo requerido para proporcionar espacios libres para la buena ejecución y soldaduras aceptables puede tener un efecto significativo sobre las propiedades de sección neta de cada miembro conectado.

C-2.7.7 Soldaduras con remaches o pernos. En las ediciones anteriores del código, se permitió compartir la carga entre las soldaduras y pernos de alta resistencia cuando la junta se diseñó y los pernos se instalan como una conexión de deslizamiento crítico. Las limitaciones en dicho uso se proporcionan en las Especificaciones para juntas estructurales utilizando la norma ASTM A325 o A490 Pernos del Consejo de Investigación de conexiones estructurales (Especificación RCSC). Con base en la investigación realizada por Kulak y Grondin, (Strength of Joints that Combine Bolts and Welds; Geoffrey L. Kulak and Gilbert Y. Grondin; Engineering Journal, Second Quarter, 2003, page 89), se retiró el permiso en la versión de 2000 de la Especificación RCSC, y la Especificación RCSC no proporciona ninguna orientación.

La Especificación AISC para edificios de acero estructural (marzo de 2005), sección J1.8, ofrece una nueva guía para la distribución de cargas entre los pernos y soldaduras. No se debe considerar que los pernos comparten la carga en combinación con las soldaduras, salvo que se puede considerar que las conexiones de cizallamiento con los pernos instalados en orificios estándar o ranuras cortas transversales a la dirección de la carga comparten la carga con soldaduras en filete longitudinalmente cargadas. En este tipo de conexiones, la resistencia disponible de los pernos no se debe tomar como mayor que 50%

de la resistencia disponible de los pernos de tipo rodamiento en la conexión. Cuando se usan soldaduras en filete transversal en combinación con los pernos, la deformación al momento de la fractura de la soldadura es tal que casi no se desarrolla ninguna resistencia al cizallamiento del perno.

C-2.8 Configuración y detalles de junta - soldaduras en ranura

C-2.8.1 Transiciones de espesor y ancho. En aplicaciones de tracción, las concentraciones de esfuerzo que se producen en los cambios en el grosor del material o en la anchura de los elementos sometidos a esfuerzo, o ambos, dependen de la brusquedad de la transición, con factores de concentración de esfuerzos que varían entre 1 y 3. En las aplicaciones cargadas estáticamente, tales cambios geométricos no son de importancia estructural cuando se proporciona una transición sin entalla. El ingeniero debe considerar el uso de soldaduras filete de contorno agregadas u otros detalles para mejorar la continuidad del flujo de esfuerzo en aplicaciones estáticas en lugares como empalmes de tope en las cordones de tracción alineados axialmente de refuerzos de larga vida, las juntas sometidas a aplicaciones de baja temperatura donde las fracturas quebradizas son una preocupación, u otros puntos de servicio de alto esfuerzo o severos. Las disposiciones de fatiga establecen los efectos de las discontinuidades geométricas en aplicaciones de carga cíclica.

C-2.9 Configuración y detalles de junta—Juntas soldadas en filete

C-2.9.1.1 Soldaduras en filete transversal. Puesto que las juntas traslapadas soldadas en filete y cargadas transversalmente implican excentricidad, la fuerza aplicada tiende a abrir la junta y causar acción de palanca sobre la raíz de la soldadura como se muestra en el Detalle B de la figura C-2.7 a menos que se restrinjan mediante una fuerza, R , que se muestra en el Detalle A. El código requiere que se prevenga este modo de acción mediante soldaduras en filete doble o de otros medios.

C-2.9.2 Soldaduras en filete longitudinal. La transferencia de la fuerza por parte de las soldaduras en filete longitudinal solo en los extremos de los miembros provoca un efecto conocido como arrastre por cortante en la región de transición entre la junta donde el esfuerzo por cizallamiento se concentra a lo largo de los bordes del elemento hacia la ubicación donde el esfuerzo en el miembro puede considerarse uniforme en toda la sección transversal. La disposición de las soldaduras longitudinales relativa a la forma de la sección transversal afecta al diseño del miembro, así como también a la fuerza de la conexión. Para el caso simple de secciones transversales de barra plana y tipo placa, la experiencia, así como también la teoría, han demostrado que los requisitos de 2.9.2 aseguran la adecuación de la conexión, así como también la de las partes conectadas. Para otras secciones transversales, el área efectiva del miembro conectado depende de

la disposición de las soldaduras de conexión en el extremo. Por lo tanto, se debe hacer referencia a la especificación aplicable a los miembros y el diseño de la estructura.

C-2.9.3.1 Terminaciones de soldaduras en filete / Generalidades. En la mayoría de los casos, que las soldaduras en filete terminen en los extremos o en lados de un miembro no tiene ningún efecto sobre la idoneidad para el servicio de una junta, por lo tanto, este es el caso por defecto. Sin embargo, en varias situaciones la forma de terminación es importante. Se suministran normas racionales separadas para los casos individuales.

C-2.9.3.2 Juntas traslapadas sometidas a tracción. Cuando se hace una junta entre miembros en los que una parte conectada se extiende más allá del borde o extremo de la otra parte, es importante que se eviten las muescas en el borde de una parte sujeta a esfuerzo de tracción calculado. Una buena práctica para evitar este tipo de muescas en lugares críticos consiste en golpear el arco de soldadura ligeramente hacia atrás desde el borde y luego proceder a la deposición del cordón de soldadura en la dirección alejándose del borde que se debe proteger contra muescas.

C-2.9.3.3 Longitud máxima del remate. Para enmarcar los ángulos y conexiones de placa terminal simples en las que la flexibilidad de la conexión asumida en el diseño del miembro es importante, los ensayos han demostrado que la resistencia estática de la conexión no depende de la presencia o ausencia de un remate. Por lo tanto, una soldadura realizada a lo largo de la pierna sobresaliente de la conexión (en general, la soldadura vertical) se puede detener cerca del extremo, o se puede llevar a los extremos superior e inferior del ángulo o devolverse ligeramente a lo largo de los extremos horizontales. Sin embargo, si se utilizan remates, es importante asegurarse de que la longitud se limite a fin de que la flexibilidad de la conexión no se afecte.

C-2.9.3.4 Soldaduras de refuerzo transversal. La experiencia ha demostrado que, cuando los rigidizadores no se sueldan a las alas, es importante detener las soldaduras rigidizador a alma a una corta distancia del pie de la soldadura alma a ala. Si esto no se hace, una ligera torsión de la brida durante la manipulación normal y el envío inducirá esfuerzos de doblado extremadamente altos en la longitud de calibre extremadamente corto entre la terminación de la soldadura de refuerzo y el pie de la soldadura alma a ala. Unos pocos ciclos de estos esfuerzos no calculados en el rango inelástico iniciarán grietas que en última instancia pueden propagarse a través del alma o del ala durante el servicio. La longitud no soldada tiene un límite máximo para evitar el pandeo de la columna en la porción no reforzada del alma.

C-2.9.3.5 Lados opuestos de un plano común. Un intento de atar dos soldaduras en filete depositadas en lados opuestos de un plano común de contacto entre dos partes podría dar lugar a muescas o enmascaramiento de mal ajuste.

Ciertos requisitos de diseño o de aplicación pueden hacer necesario que las soldaduras sean continuas. Se puede requerir que las soldaduras sean continuas para la resistencia a la corrosión, por condiciones sanitarias de

lavado o para aplicaciones de galvanizado en caliente por inmersión y otras. La subsección 2.9.3.5 requiere soldaduras interrumpidas a menos que se anote una excepción en los documentos de contratación. Como práctica general, las soldaduras en filete se deben interrumpir en los lados opuestos de un plano común con el fin de eliminar el potencial de defectos de fabricación, como socavación. Debido a los problemas inherentes asociados con la fabricación de soldaduras continuas de calidad, se puede justificar la inspección especial, en particular para las estructuras cargadas cíclicamente. Se puede justificar la MT o PT de las soldaduras en las esquinas; cuando este es el caso, esta cláusula requiere que el método de inspección y la frecuencia se especifiquen en los documentos contractuales.

C-2.12 Miembros armados

C-2.12.2.1 Generalidades. Independientemente del requisito de suficiente soldadura para asegurar que las partes actúen al unísono, se especifica un espacio máximo para soldaduras en filete intermitente para asegurar que la estanqueidad de las juntas permitirá que la pintura selle las porciones no soldadas de la junta y para evitar el "acolchado" antiestético del metal base entre las soldaduras para las juntas que estén protegidos contra la corrosión mediante un recinto al interior de un edificio.

C-2.12.2.2 Miembros en compresión. Los criterios para la separación de las soldaduras en filete intermitente que unen las placas exteriores de los miembros sometidos a compresión se derivan de la teoría clásica de pandeo de placas elásticas y son coherentes con los criterios previstos en AISC *Especificación para el diseño, fabricación y montaje de edificios de acero estructural*.

C-2.12.2.3 Acero resistente al ambiente sin pintar. Para acero resistente al ambiente sin pintar que se expondrá a la corrosión atmosférica, con base en la experiencia y los ensayos, se requiere una separación más cercana para proporcionar resistencia al abultamiento de los productos de corrosión entre las partes que causa "acolchado" antiestético entre las soldaduras y la posibilidad de iniciar grietas en las terminaciones de soldadura.

C-2.13 Generalidades

C-2.13.1 Aplicabilidad. Las disposiciones de la Parte C del código se aplican a las estructuras y piezas soldadas sometidas a muchos ciclos de aplicación, remoción y reaplicación de la carga viva dentro del rango elástico del esfuerzo. Este tipo de carga se denomina generalmente fatiga de ciclo alto. Los esfuerzos de diseño máximos calculados permitidos por el código están en el rango de $0,60 F_y$ o los permitidos de manera similar por otros códigos y especificaciones de invocación estándar. Por lo tanto, el rango máximo del esfuerzo debido a la aplicación y la eliminación de carga viva es generalmente una fracción de este nivel de esfuerzo. A pesar de que estas condiciones no se adoptaron con el fin de limitar el ámbito de aplicabilidad de las disposiciones del código, sí establecen límites naturales que deben reconocerse.

Normalmente, no se requiere el diseño para la resistencia a la fatiga para la construcción de estructuras; sin embargo, los casos de carga cíclica que puede provocar la iniciación de grietas y la propagación de grietas de fatiga incluyen, pero no están necesariamente limitados a los siguientes:

- (1) Los miembros de soporte de equipos de elevación.
- (2) Los miembros de soporte de cargas de tráfico de rodamiento.
- (3) Los miembros sujetos a la vibración armónica inducida por el viento.
- (4) El soporte de maquinaria oscilante.

Para tener un poco de perspectiva sobre el ámbito de aplicabilidad, por ejemplo, si el rango de esfuerzo sobre el metal base conectado de un detalle soldado relativamente sensible (el extremo de una placa de cubierta de longitud parcial) debido a los ciclos de aplicación y eliminación de la carga viva completa es de 30 ksi [210 MPa], la vida útil prevista de falla por fatiga es de 36.000 ciclos (4 aplicaciones al día durante 25 años). Para el mismo detalle, si el rango de esfuerzo es menor que 4,5 ksi [32 MPa], se esperaría una vida útil infinita. Por lo tanto, si los ciclos de aplicación de la carga viva completa son menores que unos pocos miles de ciclos o si el rango de esfuerzo resultante es menor que el rango de esfuerzo umbral, la fatiga no es una preocupación.

C-2.14 Limitaciones

C-2.14.2 Fatiga de ciclo bajo. La carga sísmica implica un número relativamente bajo de ciclos de esfuerzo alto en el rango inelástico, no es apropiado basarse en las disposiciones de la presente Parte C para el diseño de cargas sísmicas.

C-2.14.4 Miembros redundantes y no redundantes. El concepto del reconocimiento de una distinción entre miembros y detalles redundantes y no redundantes no se basa en la consideración de cualquier diferencia en el desempeño de la fatiga de cualquier miembro o detalle dado, sino más bien en las consecuencias de la falla. Antes de la adopción de AASHTO / AWS D1.5, las especificaciones AASHTO proporcionaban criterios para los miembros críticos de fractura que incluían requisitos especiales de metales base e inspección, pero que incorporados por referencia, reducían las curvas de rango de esfuerzos admisible como en D1.1 Sección 9 puesto que se relaciona con las estructuras cargadas dinámicamente (descontinuado en 1996). Las curvas de rango de esfuerzo admisible reducido, designadas para estructuras no redundantes, que se obtuvieron mediante la limitación arbitraria de los rangos de esfuerzo de fatiga oscilan aproximadamente al 80% de las curvas de rango de esfuerzos para los miembros y detalles redundantes. Con la adopción de la AASHTO/AWS D1.5, se eliminó la referencia al código AWS D1.1 Sección 9 dado que se relacionaba con las estructuras cargadas dinámicamente (descontinuado en 1996) para esfuerzos admisibles y los esfuerzos y rangos de esfuerzo se eliminaron y se desplazaron hacia las especificaciones de diseño AASHTO. Posteriormente, dentro

de la AASHTO, se decidió que especificar rangos de esfuerzo admisible que fuesen sólo el 80% de las curvas de desviación estándar media menos 2 para los datos de ensayo de detalle de fatiga, además de los requisitos especiales de metal base y de inspección, constituía un doble conservatismo. Por lo tanto, en la Especificación AASHTO LRFD para el diseño de puentes, se han eliminado los rangos de esfuerzo admisible disminuidos para el diseño de los miembros no redundantes y se han eliminado detalles mientras que se han conservado los requerimientos especiales de metal base e inspección.

C-2.15 Cálculo de esfuerzos

C-2.15.1 Análisis elástico. Los criterios contenidos en las Tablas 2.5 y 9.1 se basan en ensayos de fatiga de las probetas de tamaño completo típicas de los casos presentados. Los efectos de las concentraciones de esfuerzos geométricos locales son tenidos en cuenta por las categorías de esfuerzo.

C-2.16 Esfuerzos y rangos de esfuerzo admisibles

2.16.2 Rango de esfuerzo admisible. Los criterios de curvas de ciclo de vida-rango de esfuerzos proporcionados por las fórmulas (2) a (4) y que se representan gráficamente en la Figura 2.11 se desarrollaron mediante la investigación patrocinada por el Programa nacional de investigación cooperativa de carreteras sobre los detalles reales que incorporaban discontinuidades geométricas realistas, lo que hace que amplificar los esfuerzos calculados para dar cuenta del efecto de entalladura sea inadecuado. Esta investigación se publicó como los informes de investigación 102 y 147 "Efectos de las piezas soldadas sobre la resistencia de las vigas" y "Resistencia de vigas de acero con rigidizadores y accesorios soldados". Investigaciones posteriores en los Estados Unidos y en el extranjero sobre otros detalles reales apoyan los casos que figuran en las tablas 2.5 y 9.1 pero que no figuran en el programa de ensayos NCHRP.

Cuando un elemento de placa, que está conectado mediante una soldadura CJP o PJP o mediante un par de soldaduras en filete transversal sobre lados opuestos de la placa, se somete a carga aplicada cíclicamente, los pies de las soldaduras transversales son generalmente la ubicación crítica para la iniciación de grietas en el metal base conectado. El rango de esfuerzo crítico para la iniciación de grietas en esta ubicación es el mismo para cada uno de los tipos de juntas y puede determinarse mediante la fórmula (2), y los criterios de la Categoría C.

Si la soldadura transversal es una soldadura PJP o un par de soldaduras en filete, se tienen en cuenta el potencial de inicio de grietas desde la raíz de las soldaduras, así como también la iniciación de grietas a partir del pie de soldadura opuesto cuando el metal de base al que se entrega la carga está sujeto a esfuerzos de tracción por doblado. El rango de esfuerzo máximo para que se considere la junta para el agrietamiento desde la raíz, se determina multiplicando los criterios de rango de esfuerzo admisible para el agrietamiento desde el pie por un factor de reducción. El tamaño relativo de la dimensión del espesor no soldado de la junta con respecto al espesor de la placa es el parámetro esencial en el factor de reducción incorporado en la fórmula (4). Para el caso de un par de soldaduras en filete en lados opuestos de la placa, $2a/t_p$ se convierte en la unidad y la fórmula de factor de reducción se reduce a la fórmula (5) (consulte la Referencia 8).

C-2.17 Detalles, fabricación y montaje

C-2.17.6 Terminaciones de soldaduras en filete. En ménsulas angulares, asientos de ángulo de haz, ángulos de encuadre y conexiones similares con soldadura en filete, en los que la carga aplicada tiende a separar las partes conectadas y aplicar un esfuerzo de tracción de palanca en la raíz de la soldadura, se requiere devolver la soldadura para proteger la raíz en el inicio de la soldadura contra la iniciación de grietas.

Referencias para la Sección C-2

1. Rolfe, S. T. and Barsom, J. M. *Fracture and Fatigue Control in Structures*. Prentice Hall, 1977.
2. Brandt, G. D. "A General Solution for Eccentric Loads on Weld Groups." AISC Engineering Journal, 3rd Qtr., 1982.
3. Butler, L., Pal, J. S., and Kulak, G. L. "Eccentrically Loaded Welded Connections." *Journal of The Structural Division*, ASCE 98 (ST5) 1972.
4. Lesik, D. F. and Kennedy, D. J. L. "Ultimate Strength of Fillet Welded Connections Loaded In-Plane." *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17(1) 1990.
5. Tide, R. H. R. "Eccentrically Loaded Weld Groups—AISC Design Tables." AISC Engineering Journal 17(4) 1980.
6. R. J. Dexter, et al. University of Minnesota. 7/20/2000 MTR Survey of Plate Material Used in Structural Fabrication; R. L. Brockenbrough; AISC; 3/1/2001 Statistical Analysis of Charpy V-Notch Toughness for Steel Wide Flange Structural Shapes; J. Cattani; AISC; 7/95.
7. Higgins, T. R. and Preece, F. R. "Proposed Working Stresses of Fillet Welds in Building Construction." *Welding Journal Supplement*, October 1968.
8. Frank, K. H. and Fisher, J. W. "Ultimate Strength of Fillet Welded Connections Loaded In-Plane." *Journal of The Structural Division*, ASCE 105 (ST9), September 1979, pp. 1727 -1740.

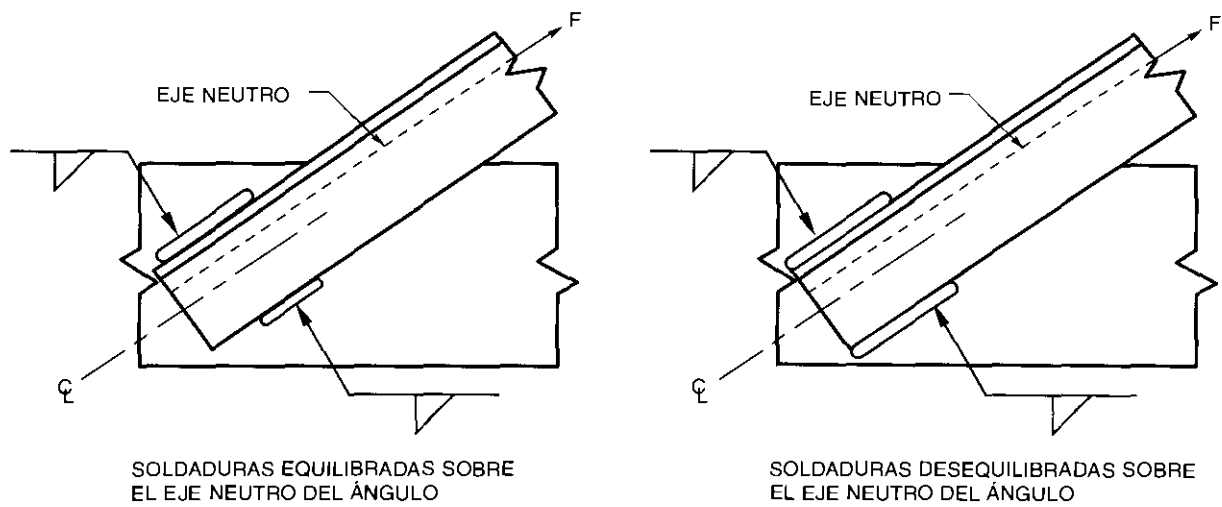


**Figure C-2.1—Equilibrio de soldaduras en filete en torno a un eje neutro
(véase Sección C-2.6.2)**

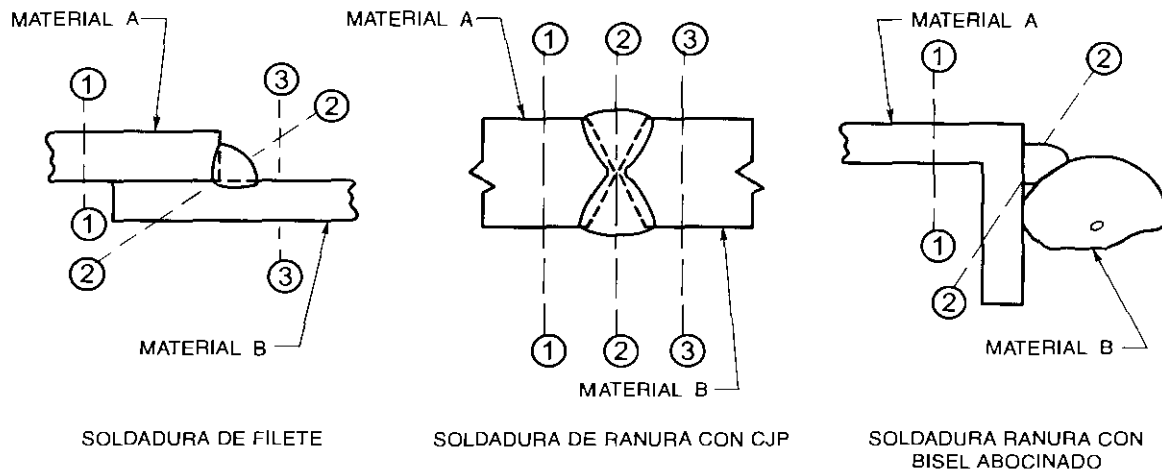


**Figure C-2.2—Planos de cizallamiento para soldaduras en ranura y en filete
(véase Sección C-2.6.4)**

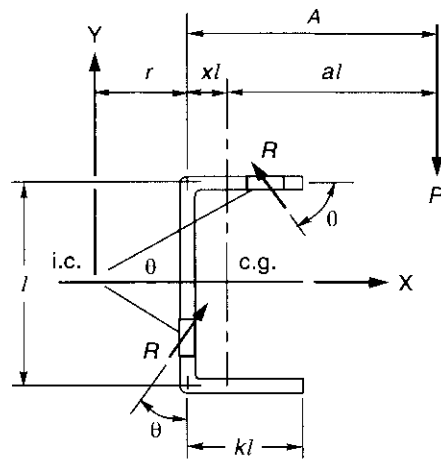


Figura C-2.3—Carga excéntrica
(véase Secciones C-2.6.4.2 y C-2.6.4.3)

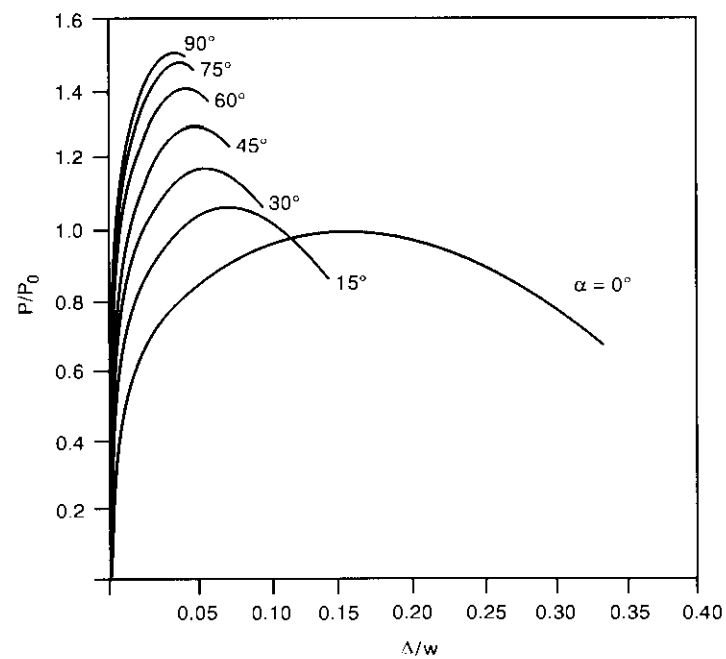
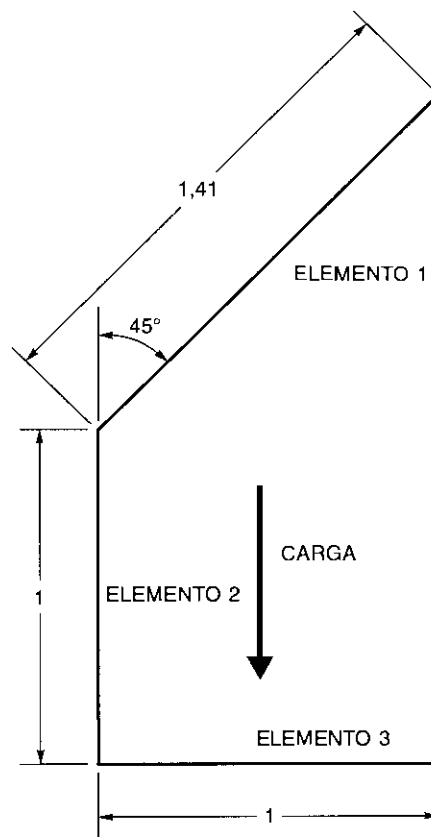


Figura C-2.4—Relación de deformación de carga
para soldaduras (véase Secciones C-2.6.4.2 y C-2.6.4.3)



Elemento 1: $\theta = 45^\circ$; $L = 1,41$; $C = 1,29$

Elemento 2: $\theta = 0^\circ$; $L = 1$; $C = 0,825$

Elemento 3: $\theta = 90^\circ$; $L = 1$; $C = 1,5$

$$\text{Resistencia admisible} = D(0,707)(0,3F_{EXX})(0,0625)\sum C_i L_i$$

$$\sum C_i L_i = [1,29(1,41) + 0,825(1) + 1,50(1)]$$

D = tamaño de la soldadura en 16s

Figura C-2.5—Ejemplo de un grupo de soldadura cargado oblicuamente (véase Sección C-2.6.4.4)

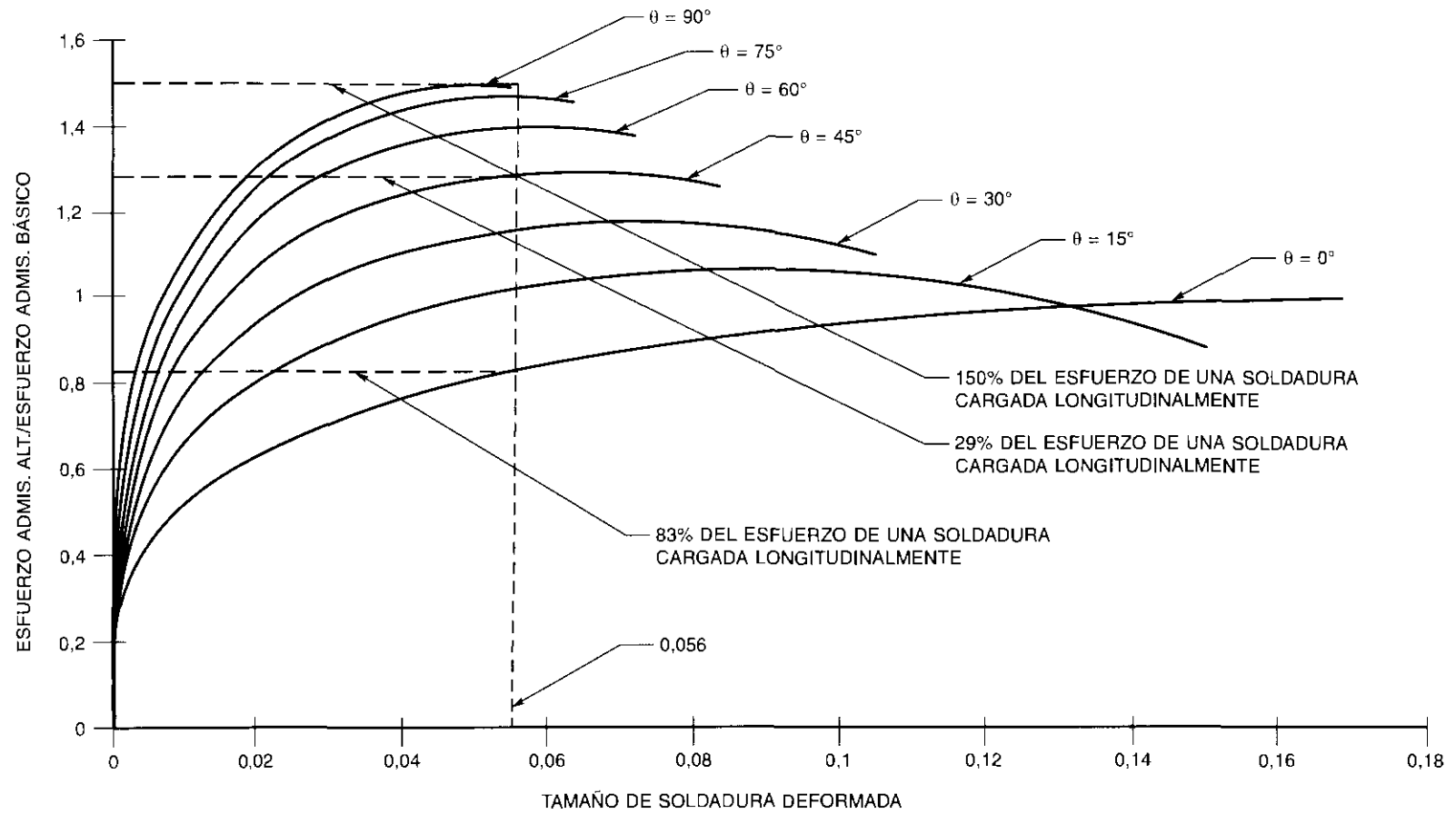


Figura C-2.6—Solución gráfica de la capacidad de un grupo de soldadura cargado oblicuamente (véase Sección C-2.6.4.4)

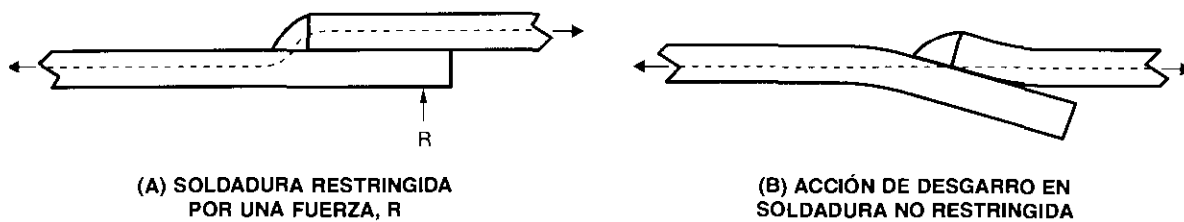


Figura C-2.7—Juntas traslapadas soldadas con filete sencillo (véase Sección C-2.9.1.1)

C-3. Precalificación de las WPS

C-3.2 Procesos de soldadura

C-3.2.1 Procesos precalificados. Ciertas WPS SMAW, SAW, GMAW (excluidos los GMAW-S), y FCAW en conjunto con ciertos tipos relacionados de juntas se han sometido ampliamente a ensayos y presentan un registro amplio de desempeño satisfactorio comprobado. Estas WPS y juntas se designan como precalificadas y se pueden utilizar sin ensayos o calificación (consulte la Sección 4).

En la Sección 3 se presentan disposiciones precalificadas, que incluyen WPS, con referencia específica para el precalentamiento, los metales de aporte, el tamaño del electrodo y otros requisitos pertinentes. En la Sección 9 se presentan disposiciones adicionales para juntas precalificadas en construcción tubular.

El uso de juntas y WPS precalificadas no necesariamente garantiza soldaduras aceptables. La capacidad de fabricación sigue siendo necesaria, junto con una supervisión eficaz y bien informada de la soldadura para producir constantemente soldaduras de buena calidad.

El código no prohíbe el uso de cualquier proceso de soldadura. Tampoco impone limitación alguna sobre el uso de cualquier otro tipo de juntas; y tampoco impone restricción alguna de procedimiento sobre cualquiera de los procesos de soldadura. Se prevé la aceptación de este tipo de juntas, procesos de soldadura y WPS, con base en una calificación exitosa por parte del contratista, realizada de conformidad con los requisitos del código (consulte la Sección 4).

La transferencia de cortocircuitos es un tipo de transferencia de metal en GMAW-S en la que el material fundido de un electrodo consumible se deposita durante cortocircuitos repetidos.

La soldadura de arco mediante cortocircuitos utiliza el rango más bajo de corrientes de soldadura y diámetros de electrodos asociados con GMAW. Los rangos de corriente típicos para electrodos de acero se muestran en la Tabla C-3.1. Este tipo de transferencia produce un charco de soldadura pequeño de solidificación rápida, que generalmente es adecuado para la unión de secciones delgadas, para la soldadura fuera de posición y para el llenado de las aberturas grandes en la raíz. Cuando la entrada de calor de la soldadura es extremadamente baja, la distorsión de la placa es pequeña. El metal se transfiere desde el electrodo a la obra sólo durante el período en el cual el electrodo está en con-

tacto con el charco de soldadura. No hay transferencia de metal a través de la brecha del arco.

Los electrodos se ponen en contacto con el charco de soldadura fundida a una velocidad constante que varía de 20 a más de 200 veces por segundo. La secuencia de acontecimientos durante la transferencia de metal y la corriente y voltaje correspondientes se muestran en la Figura C-3.1. A medida que el alambre toca el metal de soldadura, la corriente aumenta. Seguiría aumentando si no se forma un arco, como se muestra en el punto E en la figura C-3.1. La tasa de aumento de corriente debe ser lo suficientemente alta para mantener fundida la punta del electrodo hasta que se transfiera el metal de aporte. Sin embargo, no debe ocurrir tan rápido como para que provoque salpicaduras por la desintegración de la gota de transferencia del metal de aporte. La tasa de aumento de corriente se controla mediante el ajuste de la inductancia en la fuente de alimentación. El valor de la inductancia requerida depende de la resistencia eléctrica del circuito de soldadura y del rango de temperatura de fusión del electrodo. El voltaje de circuito abierto de la fuente de alimentación debe ser lo suficientemente bajo como para que un arco no pueda continuar bajo las condiciones de soldadura existentes. Una parte de la energía para mantener el arco se proporciona mediante el almacenamiento inductivo de energía durante el período de cortocircuito.

Puesto que la transferencia de metal sólo se produce durante el cortocircuito, el gas de protección tiene muy poco efecto sobre este tipo de transferencia. Se pueden presentar salpicaduras. Por lo general, la causa es el desprendimiento de gas o las fuerzas electromagnéticas en la punta fundida del electrodo.

C-Figura 3.2 Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con PJP precalificada

Tamaño efectivo de la soldadura en juntas soldadas de bisel, abocinadas y en ranura. Se han realizado ensayos sobre material ASTM A500 conformado en frío que exhibe una dimensión "c" tan pequeña como T_1 con un radio nominal de $2t$. A medida que el radio aumenta, la dimensión "c" también aumenta.

La curvatura de esquina puede no ser el cuadrante de un círculo tangente a los lados. La dimensión de la esquina, "c", puede ser menor que el radio de la esquina.

C-3.2.4 Fuentes de alimentación para FCAW y GMAW. Las fuentes de alimentación VC presentan relaciones voltio-amperio que producen grandes cambios de corriente a partir de cambios pequeños de voltaje del arco. Las fuentes de alimentación de corriente constante (CC) presentan relaciones voltio-amperio que producen cambios pequeños de corriente a partir de cambios grandes del voltaje del arco. Normalmente, los mejores resultados de soldadura para FCAW y GMAW se obtienen mediante el uso de salida CV. Se puede utilizar CC para FCAW o GMAW, siempre y cuando se califiquen las WPS mediante ensayos de conformidad con la Sección 4.

C-3.3 Combinaciones metal base/metal de aporte

Los metales de aporte con designaciones enumeradas en la Nota c de la Tabla 3.2 obtienen su resistencia de tracción de clasificación mediante PWHT a 1275°F o 1350°F [690°C o 730°C]. En la condición soldada sus resistencias a la tracción pueden superar los 100 ksi [690 MPa].

Los electrodos y las combinaciones electrodo-fundente que concuerdan con los metales base aprobados para su uso en las juntas precalificadas se enumeran en la Tabla 3.2. En esta tabla, las especificaciones de grupos de acero de las especificaciones de la Tabla 3.1 se hacen concordar con las clasificaciones de metales de aporte que tienen similar resistencia a la tracción en la Tabla 3.2. En las juntas que impliquen metales base que difieren en su resistencia a la tracción, se pueden utilizar los electrodos aplicables al material de menor resistencia siempre y cuando sean del tipo bajo en hidrógeno, si el metal base de mayor resistencia requiere el uso de dichos electrodos.

AWS A5.36/A5.36M, Especificación para electrodos de carbono y de acero de baja aleación con núcleo de fundente para soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos de núcleo metálico para soldadura por arco de metal con gas, es la primera especificación que combina electrodos de carbono y acero de baja aleación en una especificación única con sistemas de clasificación fija y abierta. A5.36 combina todos los electrodos tubulares, FCAW y GMAW, para la soldadura de acero al carbono y acero de baja aleación. La especificación tiene dos sistemas de clasificación de electrodos de acero al carbono, clasificaciones fijas y abiertas, para electrodos de paso múltiple, con excepción de que T11 FCAW y E70C-6C, E70C-3C, E70C-3M y E70C-G GMAW se clasifican bajo el sistema de clasificación abierta. El FCAW de acero de baja aleación y el GMAW con núcleo de metal sólo se pueden clasificar mediante el sistema de clasificación abierta. El Anexo U presenta datos más detallados para las clasificaciones mecánicas y químicas de electrodos bajo la especificación A5.36.

Debido a los dos sistemas de clasificación, la D1.1:2010 Tabla 3.1 no se puede adaptar a las nuevas clasificaciones A5.36 junto con las especificaciones existentes. En la edición de 2015 de D1.1, la Tabla 3.1 se divide en la Tabla 3.1 para los materiales base y en la Tabla 3.2 para metales de aporte, se siguen manteniendo los grupos de

materiales como en la tabla anterior. Diciembre, de 2015 es la fecha establecida para que A5.36 comience a ser la especificación que rige tales electrodos FCAW y GMAW. Sin embargo, los contratos existentes con los fabricantes podrán existir por muchos años más allá de esta fecha con las especificaciones actuales para electrodos A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 en WPS aprobadas, y se deben mantener dentro del Código para permitir el cumplimiento de los requisitos de contratación.

En la nueva tabla 3.2, las clasificaciones de electrodos AWS A5.36 fija y abierta tienen la intención de ser idénticas o lo más similares posible a las clasificaciones existentes de las especificaciones A5.18, A5.20, A5.28, A5.29 de la Tabla 3.1 para mantener la coherencia con las WPS existentes precalificadas y calificadas. De esta manera estas WPS precalificadas y calificadas se pueden "Eximir" con sólo cambios de edición. AWS A5.36/A5.36M:2012, *Especificación para electrodos de carbono y acero de baja aleación con núcleo de fundente para electrodos de soldadura por arco con núcleo de fundente y electrodos con núcleo de metal para soldadura por arco de metal y gas*, el metal de aporte con clasificaciones fija o abierta que sea idéntico a las propiedades mecánicas y físicas de las especificaciones anteriores A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 y que tengan los mismos requisitos de gas de protección para la clasificación de tales especificaciones, se consideran como «apadrinados» para las WPS válidas existentes. La edición de las WPS precalificadas y calificadas con la nueva especificación y clasificación A5 es el único cambio que se requiere para las WPS.

AWS A5.36 no identifica ningún gas de protección especial para la clasificación de los electrodos a excepción de las clasificaciones fijas de acero al carbono. Los sistemas de clasificación A5.36-2012 usan rangos de gas de protección para la clasificación. Sin embargo, el porcentaje nominal de gas de protección del rango es el gas de clasificación real según la Tabla 5 de A5.36.

Para dar continuidad, los gases de protección identificados en las clasificaciones mostradas en D1.1:2015 Tablas 3.2 y 4.9 son idénticos a las anteriores A5.18, A5.20, A5.28 y A5.29 con el fin de mantener las WPS existentes precalificadas y calificadas. Otros gases de protección se pueden utilizar para la clasificación, pero, a los efectos de las disposiciones del código, se deben limitar al gas de protección o mezcla específica utilizada para la clasificación, y no el rango de la designación de gas de protección de la Tabla 5 de A5.36.

La clasificación FCAW T12 de acero al carbono bajo la especificación A5.20 tiene composición química y propiedades mecánicas controladas. Bajo la nueva especificación A5.36, estos requisitos permanecen idénticos, sin embargo, bajo la clasificación abierta el requisito de composición química sigue siendo el mismo que en A5.20, pero el rango de requisitos mecánicos se expande a una resistencia a la tracción superior de 95ksi, en lugar de la anterior de 90ksi de A5.20 o la clasificación fija de A5.36.

La designación opcional "J" no existe en A5.36, y para los electrodos FCAW que previamente fueron clasificados con la letra "J", es necesaria la clasificación abierta para clasificar un electrodo con el requisito más bajo de temperatura CVN de una designación "J".

Los requisitos opcionales de la designación "D" para aplicaciones críticas bajo demanda ahora se pueden aplicar a los electrodos con núcleo de metal-GMAW. Sin embargo, el nivel de entrada de calor ensayado en metales de aporte que cumpla con AWS A5.36 no es el mismo que en los ensayos en AWS A5.20. Por lo tanto, las WPS con electrodos que utilizan la designación "D" de AWS A5.36 tendrán que evaluarse y potencialmente modificarse para utilizar entradas de calor dentro del rango de entrada de calor sometido a ensayo en AWS A5.36. D1.8, El suplemento sísmico también reflejará las diferencias en la capacidad de intercambio de las dos designaciones "D" en lo que respecta a los requisitos de clasificación de entrada de calor.

En la clasificación abierta de electrodos, el acero al carbono y el acero de baja aleación pueden clasificarse en la condición de como fue soldado o tratado con calor posterior a la soldadura, o ambas. La letra "A" para la condición de como fue soldado o la letra "P" para condición con tratamiento térmico posterior a la soldadura se encuentra entre la designación de gas de protección, en su caso, y la temperatura de ensayo CVN (por ejemplo, E8XT1-C1A8-CS1; E7XT15-M21P6-CS2).

Existen demasiado cambios sutiles y mayores en A5.36 como para mencionarlos en este comentario. Se recomienda encarecidamente que los ingenieros, fabricantes o contratistas obtengan una copia de A5.36 para su referencia.

Figuras C- 3.2, y 3.3. Notas para las Figuras 3.2 y 3.3. La Nota "o" permite el estado de soldadura precalificada para juntas de soldadura de acero de respaldo, cuando la orientación de los miembros supera la cantidad permitida en la Nota j (véase Figura 3.6). Se pueden utilizar el esmerilado, maquinado o formación para modificar la barra de respaldo.

C-3.5 Requisitos mínimos de temperatura de precalentamiento y entre pasadas

El principio de la aplicación de calor hasta que se alcanza una cierta temperatura y luego mantener esa temperatura como mínimo, se utiliza para controlar la velocidad de enfriamiento del metal de soldadura y el metal base adyacente. La temperatura más alta permite una más rápida difusión de hidrógeno y reduce la tendencia de agrietamiento en frío. Se puede precalentar la pieza entera o sólo el metal en las proximidades de la junta a soldar (consulte la Tabla 3.3). Para un conjunto dado de condiciones de soldadura, las tasas de enfriamiento serán más rápidas para una soldadura hecha sin precalentamiento que para una soldadura hecha con precalentamiento. Las temperaturas de precalentamiento más altas dan lugar a velocidades de enfriamiento más lentas. Cuando el enfriamiento es lo suficientemente lento, se reducirán efectivamente el endurecimiento y el agrietamiento.

Para los aceros templados y revenidos, el enfriamiento lento no es deseable y no es recomendado por el fabricante de acero.

Las temperaturas de precalentamiento de la Tabla 3.3 son mínimas. Las temperatura entre pasadas y de precalentamiento son lo suficientemente altas como para asegurar soldaduras aceptables. La cantidad de precalentamiento necesario para reducir las tasas de enfriamiento a fin de producir soldaduras libres de grietas dependerá de muchos factores, incluidos:

- (1) La temperatura ambiente
- (2) Calor a partir del arco
- (3) Disipación de calor de la junta
- (4) Química del acero (soldabilidad)
- (5) Contenido de hidrógeno del metal de soldadura depositado
- (6) Grado de restricción en la junta

El punto 1 se considera anteriormente.

El punto 2 no se considera actualmente en el código.

El punto 3 se expresa parcialmente en el espesor del material.

El punto 4 se expresa indirectamente en la agrupación de las designaciones de acero.

El punto 5 se expresa en la actualidad, ya sea como proceso de soldadura sin bajo contenido de hidrógeno o un proceso de soldadura de bajo contenido de hidrógeno.

El Punto 6 es menos tangible y sólo se reconoce el estado general en las disposiciones de la Tabla 3.3.

Con base en estos factores, los requisitos de la Tabla 3.3 no deben considerarse como exhaustivos, y el énfasis en considerar las temperatura entre pasadas y de precalentamiento como temperaturas mínimas asume validez añadida.

Se debe tener precaución durante el precalentamiento y soldadura de acero templado y revenido, puesto que estos aceros pueden tener temperaturas mínimas y máximas entre pasadas, así como también restricciones de entrada de calor (consulte la sección 5.7).

C-3.7 Requisitos generales de WPS

C-3.7.2 Limitación de ancho/profundidad de la pasada. La forma de la pepita o perla de soldadura es un factor importante que afecta el agrietamiento de la soldadura. La solidificación de metal de soldadura fundido debido al efecto de enfriamiento rápido del metal base se inicia a lo largo de los lados del metal de soldadura y progresa hacia el interior hasta completarse. El último metal líquido en solidificarse se encuentra en un plano a lo largo de la línea central de la soldadura. Si la profundidad de soldadura es mayor que la anchura de la cara, la

superficie de soldadura puede solidificarse antes de la solidificación del centro. Cuando esto ocurre, las fuerzas de contracción que actúan sobre el centro o núcleo de soldadura semilíquido todavía caliente pueden provocar el desarrollo de una grieta central, como se muestra en la Figura C-3.2 (A) y (B). Esta grieta puede extenderse a lo largo de la distancia longitudinal de la soldadura y puede, o no, ser visible en la superficie de soldadura. Esta condición también se puede obtener cuando se hacen soldaduras en filete simultáneamente en ambos lados de una junta con los arcos directamente opuestos entre sí, como se muestra en la Figura C-3.2(C).

El propósito de la limitación de la relación entre la anchura y la profundidad del talón es evitar el agrietamiento por contracción de las pasadas de soldadura que son demasiado profundas con respecto a su anchura. Las dimensiones del cordón de soldadura pueden medirse mejor mediante el seccionamiento y grabado de una soldadura de muestra. Las WPS que producen cordones estrechos que no cumplan con esta disposición se pueden calificar según la cláusula 4.

C-3.7.3 Requisitos del acero resistente al ambiente. Los requisitos establecidos en este apartado son para aplicaciones expuestas, desnudas, sin pintar de acero resistente al ambiente, donde se requieren características de resistencia a la corrosión atmosférica y a colorantes similares a las del metal base. Los metales de aporte especificados en la Tabla 3.4 cumplen con este requisito. Al soldar estos aceros para otras aplicaciones, el electrodo, la combinación de electrodo y fundente, o el grado de metal de soldadura especificado en la Tabla 3.2 es satisfactoria.

El uso de metales de aporte diferentes a aquellos listados en la Tabla 3.4 para soldadura de acero resistente al ambiente (utilizado en aplicaciones desnudas y expuestas) se permite para ciertos tamaños de filetes de una sola pasada (relacionados con el proceso de soldadura), según se muestra en la sección 3.7.3. En este caso, la cantidad de mezcla de metal de soldadura resulta en características de coloración y corrosión atmosférica del metal de soldadura similares a las del metal base.

En las soldaduras de varias pasadas, un metal de aporte de la Tabla 3.2 puede utilizarse para rellenar la junta a excepción de las últimas dos capas. El metal de aporte tal como se especifica en la Tabla 3.4 debe utilizarse para las dos últimas capas de la superficie y los extremos de las soldaduras.

La opción de agregar capas a la superficie permite el uso de material de aporte no corrosivo para las pasadas interiores de soldadura en las soldaduras en ranura de varias pasadas. La última pasada de llenado y la pasada final se sueldan con el material de aporte de la Tabla 3.4 para reducir al mínimo la dilución del metal de aporte subyacente sobre la superficie de la soldadura.

C-Tabla 3.6 Espesor máximo de pasada de raíz (variable). El grosor de una pasada de raíz se puede medir restando la profundidad sin llenar del espesor nominal de la placa o la profundidad de la ranura para la preparación de juntas de doble cara.

C-Tabla 3.6 Espesor máximo de pasada de relleno (variable). El espesor de una pasada de relleno se puede medir restando la profundidad sin llenar de la superficie de la placa de una nueva pasada de relleno /capa de la profundidad de la pasada / capa depositada previamente. La penetración en la pasada / capa anterior no se cuenta como parte del espesor.

C-Tabla 3.6 Limitaciones eléctricas. Los ensayos han demostrado que parece existir una relación empírica entre el ángulo en la raíz de la ranura y la corriente máxima que se puede utilizar sin producir perfiles de soldadura propensos a las grietas, como se muestra en la Figura C-3.2. En estas circunstancias, solo son eficaces bisels y ranuras en V precalificadas sin respaldo.

Las ranuras J- y U- tienen un ángulo mayor en la raíz que el ángulo de la ranura y, en su caso, la probabilidad de un núcleo soldado propenso a las grietas indeseables es muy pequeña. Sin embargo, el código no hace ninguna distinción entre ranuras en V-, J- y U- en este sentido. Esto hace que los requisitos de la Tabla 3.6 se apliquen a todas las ranuras. Dado que el uso de ranuras J- y U- es menos frecuente, este requisito no parece ser irrazonable.

La relación empírica define la cantidad aceptable de corriente, en amperios, como aproximadamente diez veces el ángulo de ranura incluido. Esto se aplica principalmente a las juntas precalificadas soldadas sin respaldo mediante bisels y ranuras en V. Puesto que el ángulo incluido para tales juntas precalificadas es 60°, el amperaje máximo permitido por el código es 600 A; para una soldadura en filete de 90°, la corriente máxima permitida es de 1000 A. Esta limitación se aplica sólo a los pasadas de fusión de ambas caras de la junta, a excepción de la pasada de cubierta.

C-Tabla 3.6 Requisitos comunes para SAW de electrodo paralelo y electrodo múltiple. Cuando se utiliza GMAW más SAW en tándem (consulte la Tabla 3.6), se requiere el espaciado máximo 15 pulgadas [380 mm] entre el arco metálico con gas y el arco sumergido para preservar los efectos de precalentamiento del primer arco para la subsiguiente soldadura principal depositada por los restantes dos arcos sumergidos de alta velocidad de depósito. El corto espacio también proporciona una mejor condición para la refundición de la primera pasada.

C-Tabla 3.6 Requisitos para GMAW/FCAW. Esta sección proporciona los requisitos para WPS GMAW y FCAW cuando se utilizan WPS precalificadas.

La protección de gas en el punto de soldadura se debe proteger del viento para evitar la interrupción en la protección y la contaminación resultante de la soldadura por la atmósfera.

Las disposiciones precalificadas se aplican sólo a GMAW mediante el uso de los modos de transferencia por pulverización y globular de deposición de metal. GMAW-S no está precalificada y por lo tanto se debe calificar de conformidad con la Sección 4. La experiencia ha demostrado frecuentes casos de falta de penetración y fusión con este modo de transferencia de metal. Una razón común para esta falta de fiabilidad es la baja entrada de calor por unidad de metal de soldadura depositado que resulta en una

tendencia a la poca o ninguna fusión del metal base. Por lo tanto, se requiere que cada usuario demuestre la capacidad de la WPS seleccionada para producir soldaduras robustas cuando se utiliza GMAW-S.

C-Tabla 3.7 Variables precalificadas de WPS

(1) **Propósito de la Tabla 3.7.** Este comentario ofrece explicación y ejemplos para la aplicación de la Tabla 3.7 para una WPS precalificada. La Tabla 3.7 se incluyó en D1.1 en 2010, lo que elimina la necesidad de que el usuario utilice la Tabla 4.5 para WPS precalificadas. La Tabla 3.7 identifica lo que se debe incluir en una WPS precalificada. Algunas de las variables que se enumeran en la Tabla 4.5 no eran aplicables a las WPS precalificadas. Una "X" en la Tabla 3.7 indica que un cambio en esa variable, o un cambio fuera del rango indicado para esa variable, requiere una nueva WPS precalificada.

(2) **Dónde obtener los valores.** El amperaje (o velocidad de alimentación de alambre, si no se controla el amperaje), el voltaje y la velocidad de desplazamiento identificados en la WPS precalificada, se requieren para satisfacer las condiciones de la Tabla 3.6, y se deben adecuar al espesor del material, la posición de soldadura, y tener la capacidad de satisfacer los requisitos de calidad de este código. Los valores o rangos específicos de valores que cumplen con estas disposiciones se pueden mencionar en la WPS precalificada.

(3) **Combinaciones de variables que se pueden enumerar en una sola WPS.** Se permite que se enumeren múltiples combinaciones de variables en una sola WPS. Por ejemplo, no se requiere una WPS separada para todos y cada tipo de acero para el que es aplicable la WPS. Por ejemplo, una única WPS puede enumerar A36, A53 y A106 en las que todos son aceros del Grupo I (consulte la Tabla 3.1). Por otra parte, A131 y A572 Grado 50 también se podrían listar en la WPS mencionada anteriormente, a pesar de que están en el Grupo II, en tanto que las otras variables de soldadura (tipo de electrodo, por ejemplo) se puedan aplicar a todos los aceros mencionados.

(4) **Cambios que se pueden realizar a una WPS precalificada.** Una vez que una WPS precalificada se ha escrito, se pueden hacer cambios a la WPS, dentro de los límites prescritos por la Tabla 3.7. Por ejemplo, si la WPS inicial incluía solamente E7016, y un contratista desea utilizar E7018, entonces se tendría que modificar la WPS inicial para reflejar la aceptabilidad del uso de E7018, según el artículo 5 de la Tabla 3.7. El uso de dicho electrodo no se aceptaría sino hasta después de añadir E7018 a la WPS, a pesar de que es un metal de aporte precalificado, según la Tabla 3.2. Sin embargo, una única WPS podría enumerar tanto E7016 como E7018, siempre y cuando ambos sean igualmente aceptables para la aplicación. Aunque estos cambios son una cuestión de papeleo, en lugar de un ensayo nuevo, como sería el caso para WPS calificadas, es importante tener en cuenta que tales cambios en las WPS probablemente requerirán que se vuelva a presentar la WPS revisada.

En general, es ventajoso que el contratista incluya en una sola WPS una serie de condiciones en las que se puedan utilizar las mismas WPS precalificadas (varios aceros, o referencia a la Tabla 3.1 Número de grupos, por ejemplo)

con el fin de minimizar la cantidad de trámites burocráticos. Sin embargo, la gama de condiciones permitidas, debe estar dentro de los límites de la Tabla 3.7 y otros requisitos del código. Las WPS excesivamente inclusivas pueden impedir una comunicación clara entre el soldador y el inspector.

(5) **Cambios que requieren una WPS precalificada nueva o modificada.** Si una WPS precalificada existente enumera un rango de intensidad de corriente de 300 amperios, más o menos 30 amperios, y el contratista desea utilizar 400 amperios, la WPS tendría que modificarse para reflejar la aceptabilidad del uso de este amperaje mayor, ya que este se encuentra fuera del rango permitido por la Tabla 3.7, artículo 9. Además, con este amperaje más alto, puede ser necesario ajustar el valor o el rango de la velocidad de desplazamiento a fin de cumplir con los requisitos de la Tabla 3.6, por ejemplo. Se pueden modificar las WPS existentes para añadir una nueva combinación de variables que den como resultado una soldadura que cumpla con los requisitos de este código, pero con un rango de amperaje más alto.

(6) **Cambios que requieren una WPS calificada.** Algunos cambios a una WPS pueden desplazar la WPS fuera de la gama de precalificación. Por ejemplo, si el proceso de soldadura en la WPS precalificada es GMAW con variables que resultan en transferencia por pulverización, no sería aceptable añadir nada a las variables de la WPS precalificada que resultase en la transferencia de corto circuito. Sin embargo, estos parámetros se podrían calificar mediante ensayo de conformidad con la Sección 4.

C-3.10 Requisitos de soldaduras de tapón y en ranura

Las soldaduras de tapón y en ranura que se ajusten a los requisitos dimensionales de la sección 2.5, soldadas mediante las técnicas descritas en la sección 5.24 y utilizando materiales enumerados en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9 se consideran como precalificadas y se pueden usar sin realizar ensayos conjuntos de calificación de las WPS.

C-3.11 Requisitos comunes de soldaduras en ranura con CJP y PJP

C-3.11.2 Preparación de juntas en esquina. El código permite una opción alternativa para la preparación de la ranura en uno o ambos miembros de todas las soldaduras en ranura abocinada y J- en juntas en esquina como se muestra en la Figura C-3.3.

Esta disposición fue motivada por consideraciones de desgarro laminar, permitiendo la totalidad o parte de la preparación en el elemento vertical de la junta. Tal preparación de la ranura reduce los esfuerzos de tracción residuales, que surgen de la contracción de las soldaduras durante el enfriamiento, que actúan en la dirección a tra-

vés del grosor en un único plano vertical, como se muestra en las juntas en esquina precalificadas esquematizados en las figuras 3.2, 3.3, y 3.4. Por lo tanto, la probabilidad de desgarro laminar se puede reducir para estas juntas mediante la preparación de la ranura, ahora permitida por el código. Sin embargo, algunos espesores sin preparación, "a", como se muestra en la Figura C-3.3, se deben mantener para evitar la fusión de la parte superior de la placa vertical. Esto puede hacerse fácilmente mediante la preparación de la ranura en ambos elementos (ángulo β).

3.13 Requisitos de soldaduras en ranura con CJP

C-3.13.1 Dimensiones de juntas. Después de la preparación, el segundo lado de las juntas soldadas dobles puede no coincidir exactamente con los dibujos que se muestran para las juntas soldadas precalificadas en la figura 3.3 debido a las limitaciones inherentes del proceso de ranurado de respaldo. Pueden aparecer formas U- y J- que se combinan con las formas en V- y abocinadas. Esta es una condición aceptable.

C-3.14 Tratamiento térmico posterior a la soldadura

Históricamente, los requisitos D1.1 para PWHT se han basado en gran medida en la experiencia con la fabricación de aceros planos al carbono-manganeso del código ASME. La industria del acero estructural se aleja cada vez más de los aceros al carbono hacia los aceros más nuevos que son metalúrgicamente más complejos, como los aceros de baja aleación y microaleados [por ejemplo, Cb(Nb) y adiciones V]. Los aceros más nuevos se pueden suministrar en el estado bruto de laminación o con tratamientos térmicos como templado y revenido (Q&T), templado y autorevenido (QST), o procesamiento controlado termomecánicamente (TMCP) para obtener mayor límite de fluencia. En general, las adiciones de Cb(Nb) y V no se utilizan en aceros de recipientes a presión, y cuando se incluyen, generalmente se restringen a valores bajos. La excepción en los aceros de recipiente a presión es SA-737 que tiene adiciones de

Cb(Nb) o V, dependiendo del grado. Se han publicado al menos siete boletines del Consejo de Investigación en Soldadura (CMR) sobre temas relevantes a los temas de PWHT y aceros microaleados. Un resumen de las conclusiones generales indica que:

(1) PWHT (a 1150°F [620°C] durante unas pocas horas) de aceros en condiciones de laminación o de carbono manganeso normalizados y aceros de baja aleación (con un límite de fluencia de 50 ksi [345 MPa] o menor resistencia) no afecta negativamente a la resistencia. PWHT, independientemente de la temperatura o duración, degrada la tenacidad a la entalla de metales base microaleados Cb(Nb) o V y HAZ. La degradación varía en gravedad y puede o no afectar a la aptitud para el servicio.

(2) Los aceros fabricados mediante procesamiento Q&T, QST, o TMCP necesitan que el desarrollo de su PWHT se base en el material y el procesamiento específicos. PWHT puede reducir las propiedades de resistencia y tenacidad a la entalla. La respuesta a PWHT depende mucho de la composición. Algunos datos japoneses indican que 1025°F [550°C] puede ser una temperatura PWHT más apropiada para ciertos aceros TMCP. La temperatura PWHT óptima depende de los requisitos específicos de composición, resistencia y tenacidad a la entalla.

(3) El acero ASTM A710 Grado A, endurecido por envejecimiento Ni, Cu, Cr, Mo, Cb(Nb) es susceptible a la formación de grietas en la HAZ durante PWHT. No se han sometido a estudios los grados B y C. Algunos grados de ASTM A514/A517 son marginales para PWHT debido a la baja ductilidad y al posible agrietamiento HAZ durante PWHT, así como también a la pérdida de resistencia y tenacidad. Algunas especificaciones colocan límites específicos sobre PWHT, como ASTM A913 o "Acero de alta resistencia y baja aleación Formas de calidad estructura, producidas por el proceso de templado y autorevenido (QST)" que requiere que "las formas no se conformen y traten por calor después de la soldadura a temperaturas que excedan los 1100°F [600°F]". Las especificaciones API 2W de estructuras costa afuera (offshore) para aceros TMCP y 2Y para aceros Q&T tienen advertencias similares en cuanto a "Calentamiento posfabricación", que deben tenerse en cuenta cuando se contempla PWHT.

Referencias para la Sección C-3

1. Stout, R. D. Postweld Heat Treatment of Pressure Vessels." WRC Bulletin 302(1), febrero 1985.
2. Shinohe, N., Sekizawa, M., and Pense, A. W. "Long Time Stress Relief Effects in ASTM A737 Grade B and Grade C Microalloyed Steels." WRC Bulletin 322(4), abril 1987.
3. Konkol, P. J. "Effect of Long-Time Postweld Heat Treatment of Properties of Constructional-Steel Weldments." WRC Bulletin 330(2), enero 1988.
4. Pense, A. W. "Mechanical Property Characterization of A 588 Steel Plates and Weldments." WRC Bulletin 332(2), abril 1988.
5. Japanese Pressure Vessel Research Council, "Characterization of the PWHT Behavior of 500 N/mm² Class TMCP Steels." WRC Bulletin 371, abril 1992.
6. Xu, P., Somers, B. R. and Pense, A. W. "Vanadium and Columbium Additions to Pressure Vessel Steels." WRC Bulletin 395, septiembre 1994.
7. Spaeder Jr., C. E. and Doty, W. D. "ASME Post-Weld Heat Treating Practices: An Interpretive Report." WRC Bulletin 407(2), diciembre 1995.

Tabla C-3.1
Rangos típicos de corriente para GMAW-S en acero (véase Sección C-3.2.1)

Corriente de la soldadura, amperios (electrodo positivo)					
Electrodo Diámetro		Plano y horizontal Posiciones		Posición Vertical y de sobrecabeza.	
pulg.	mm	min.	máx.	min.	máx.
0,030	0,8	50	150	50	125
0,035	0,9	75	175	75	150
0,045	1,2	100	225	100	175

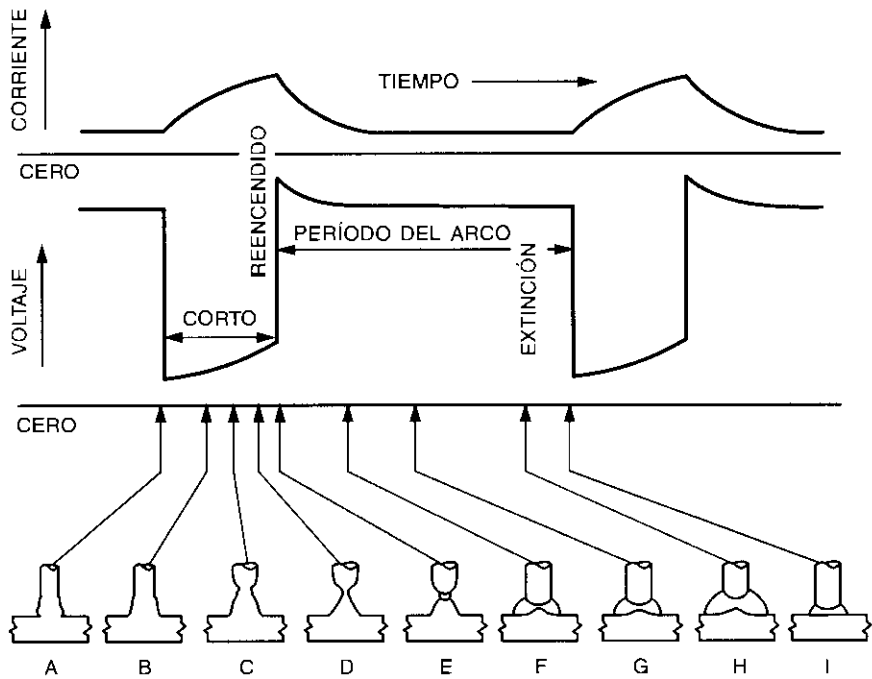


Figura C-3.1—Oscilogramas y esquemas de transferencia de metal GMAW-S
(véase Sección C-3.2.1)

Figura C-3.2 Ejemplos de agrietamiento de línea central (véase Sección C-3.7.2)

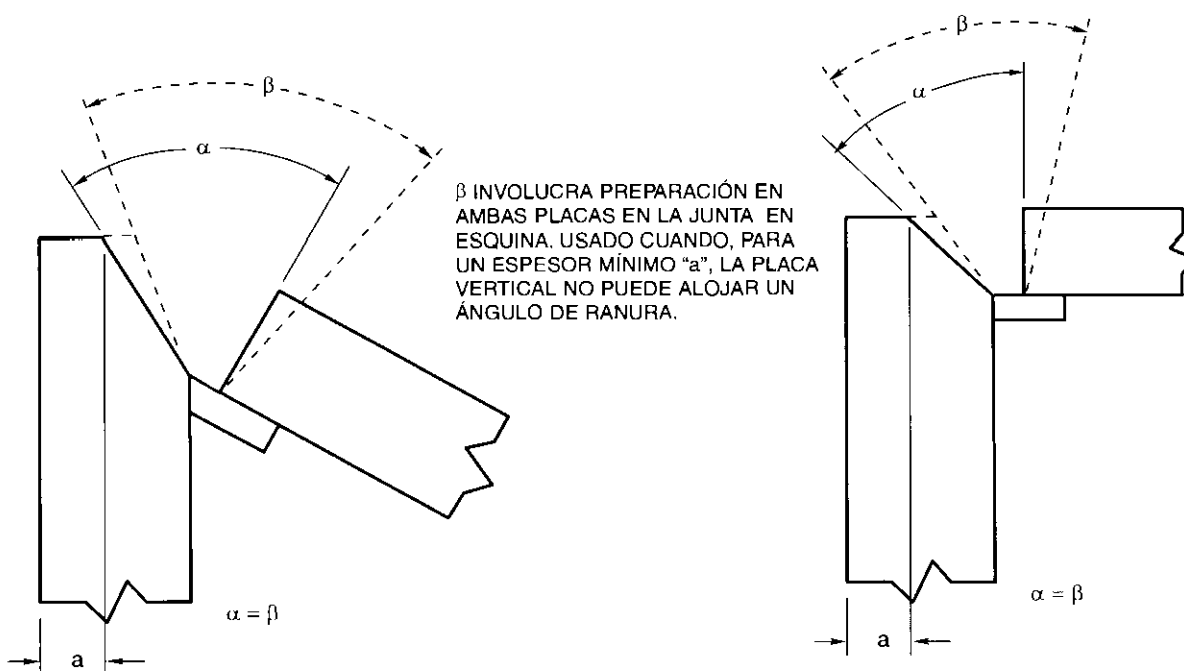


Figura C-3.3 Detalles de preparaciones alternativas de la ranura para juntas en esquina precalificadas (véase Sección C-3.11.2)

C-4. Calificación

Parte A *Requisitos generales*

C-4.2 General

C-4.2.1.1 Responsabilidad de calificación. Todos los Contratistas son responsables de su producto final. Por lo tanto, es su responsabilidad cumplir con los requisitos de calificación del código relacionados con las WPS. Para las WPS debidamente documentadas que realice el Contratista de conformidad con este código, se recomienda en el código que el Ingeniero las acepte en el contrato.

C-4.2.2 Calificación de desempeño del personal de soldadura. Los ensayos de calificación están especialmente diseñados para determinar la capacidad que tienen los soldadores, los operarios de soldadura y los soldadores de punteado de producir soldaduras sólidas al seguir una WPS. El código no supone que las personas que completen de manera satisfactoria los ensayos de calificación puedan realizar las soldaduras para las que han recibido la calificación en todas las condiciones que pudieran surgir durante la soldadura de producción. Es muy importante que los soldadores, los operadores de soldadura y los soldadores de punteado cuenten con cierto grado de capacitación para enfrentar estas diferencias.

Lo ideal es que los soldadores, los operadores de soldadura y los soldadores de punteado que realicen soldaduras de acero templado y revenido de alta resistencia tengan experiencia en soldadura de estos materiales básicos. Ante la falta de dicha experiencia, el Contratista debe asegurarse de que su personal reciba instrucción y capacitación en la soldadura de estos tipos de acero. También se recomienda que otros miembros del personal, como por ejemplo instaladores y cortadores térmicos (quemadores), que estén involucrados en el proceso de fabricación con acero templado y revenido de alta resistencia tengan experiencia o reciban instrucción y capacitación antes de comenzar con las operaciones de cortado térmico.

C-4.2.2.1 Calificación previa de desempeño. Las normas diferentes de la D1.1 tienen ensayos de calificación para soldadores y operadores de soldadura que son similares o incluso idénticos a aquellos requeridos por esta norma. Esta disposición le permite al Ingeniero aceptar otros ensayos de calificación si, a su criterio, las habilidades medidas por tales ensayos alternativos son

esencialmente las mismas que los ensayos prescritos por el presente código. Por ejemplo, se podrá utilizar la norma AWS B2.1, *Especificación para el procedimiento de soldadura y la calificación de desempeño*, al igual que el código ASME, para la calificación del personal de soldadura. De forma similar, se pueden utilizar los ensayos de calificación de desempeño de otras normas D1, como D1.2, D1.3, D1.4, D1.5 y D1.6. Es responsabilidad del Ingeniero determinar la aceptabilidad de la calificación otorgada por otras normas, puesto que existen diferencias entre esas normas, y dichas diferencias pueden ser significativas, según la estructura específica, las condiciones del servicio o ambas.

C-4.3 Requisitos comunes para calificación de la WPS y del desempeño del personal de soldadura

C-4.3.4 Posiciones de las soldaduras de ensayo. La presente subsección define las posiciones de soldadura para las soldaduras de ensayo de calificación y las soldaduras de producción. La posición es una variable imprescindible para todas las WPS, excepto para los procesos EGW y ESW que solo se realizan en una posición. Las relaciones entre la posición y la configuración de la soldadura de ensayo de calificación y el tipo de soldadura y las posiciones calificadas se muestran en la Tabla 4.1. Es muy importante realizar pruebas y evaluaciones a las soldaduras que podrían encontrarse en la construcción antes de su uso real en el trabajo. Esto asegurará que se sometan a prueba todas las posiciones necesarias como parte del proceso de calificación.

Parte B *Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)*

C-4.5 Tipos de ensayos de calificación

La Tabla 4.2 resume los requisitos para la cantidad y el tipo de probetas de ensayo y el rango de espesor calificado.

Una placa de ensayo con espesor de 1 pulgada [25 mm] o superior hace que una WPS califique para espesor ilimitado. El espesor de 1 pulgada [25 mm] ha demostrado que, por lo general, refleja la influencia de la química del metal de soldadura, la entrada de calor y la temperatura de precalentamiento sobre el metal de soldadura y la zona afectada por el calor. Si bien se recomienda utilizar el término *dirección de laminado*, las propiedades mecánicas de la placa de acero pueden variar significativamente con la dirección de laminado y pueden afectar los resultados del ensayo. Por ejemplo, la resistencia a la tracción y la tenacidad al impacto con frecuencia son mayores en la dirección longitudinal que en la dirección transversal, a menos que se utilice un laminado transversal. Del mismo modo, la dirección de laminado que se muestra en los dibujos con frecuencia genera mejores resultados en los ensayos de doblado. Para algunas aplicaciones, se requieren los resultados de resistencia y se debe anotar la dirección de laminado en los resultados de ensayo.

C-4.7 Preparación de WPS

La WPS y PQR escritos pueden seguir cualquier formato conveniente (véase ejemplos en el Anexo M).

C-4.8 Variables esenciales

Este código permite cierto grado de diferencia con las variables utilizadas para calificar una WPS. Sin embargo, no se permite una diferencia con las variables que afecte la composición mecánica o química de las propiedades del material, o la firmeza de la soldadura sin la recalificación. A estas últimas variables se les conoce como variables esenciales. Las variables esenciales del metal base se enumeran en 4.8.3. Las variables esenciales del proceso de soldadura se enumeran en 4.8.1. Las posiciones de las soldaduras de ensayo se enumeran en 4.3.4 y 9.12.1. Los cambios en estas variables más allá de la variación permitida por las subsecciones en cuestión requieren de recalificación de la WPS. Del mismo modo, los cambios más allá de los mostrados en 4.8.2 requieren recalificación mediante el uso de RT o UT únicamente.

Estas variables esenciales deben ser específicas en el documento de la WPS y se deben seguir en la fabricación de la soldadura.

La Tabla 4.6 enumera los requisitos complementarios de variables esenciales para la calificación de PQR cuando los documentos de contrato requieran los ensayos CVN. Los requisitos de la Tabla 4.6 son adicionales a los requisitos de variables esenciales de la Tabla 4.5. Los requisitos de variables esenciales de la Tabla 4.5 se deben cumplir por completo para la calificación del proceso sin los ensayos CVN y las variables esenciales de la Tabla 4.6 se deben cumplir por completo para calificar además el PQR para que cumpla con los requisitos de ensayos CVN. Los requisitos de la Tabla 4.6 no cambian ninguno de los requisitos de la Tabla 4.5. En la Tabla 4.6, la Variable esencial en la línea 6 elimina la necesidad de los ensayos CVN en todas las posiciones, pero no cambia los requisitos de la Tabla 4.5 con respecto a las posiciones de soldadura. Aun se requieren todos los requisitos de cali-

ficación de la WPS para resistencia y solidez de acuerdo con la Tabla 4.5.

C-4.8.1 SMAW, SAW, GMAW, GTAW y FCAW. La velocidad de recorrido afecta la entrada de calor, los índices de enfriamiento de la soldadura y la metalurgia de la soldadura, que son importantes para el HAZ, el control de resistencia a la fractura y para la soldadura de aceros templados y revenidos. También es necesaria la selección de la velocidad de recorrido adecuada para evitar la fusión incompleta y el atrapamiento de escoria.

La extensión del electrodo o la distancia entre el tubo de contacto y el trabajo es una variable de soldadura importante que afecta el amperaje, así como también al modo de transferencia. A una velocidad de alimentación de alambre establecida, mediante el uso de una fuente de potencia de voltaje constante, las extensiones más largas de los electrodos hacen que la corriente de soldadura disminuya. Esto puede reducir la penetración de la soldadura, la entrada de calor y causar discontinuidades de fusión. Una extensión más corta causa un incremento en la corriente de soldadura. Una variación en la extensión del electrodo puede causar que la transferencia por pulverización cambie a los modos globular o de corto circuito. Es importante controlar la extensión del electrodo así como también otras variables de soldadura.

Los procesos semiautomáticos de soldadura se pueden controlar mediante el uso de la velocidad de alimentación del alambre, la extensión del electrodo y la longitud del arco o el voltaje. Para la operación de la máquina, la extensión del electrodo se puede medir con anterioridad; para soldadura manual, se calcula visualmente. Soldar sobre formas de producto de material de tubo (o tubería) no necesariamente significa que se esté realizando soldadura de tubo. Obviamente, existe una diferencia entre soldar alrededor de un tubo y soldar a lo largo de un tubo paralelo a su eje (línea central). Una soldadura de contorno en una junta a tope es completamente diferente de una soldadura en ranura longitudinal que une una placa laminada para fabricar una tubería; una junta de rótula con una soldadura en filete es completamente diferente de una soldadura en filete a lo largo de la longitud de la tubería para adjuntar un tapón de placa. Obviamente, las habilidades para realizar una progresión en línea recta paralela al eje del tubo no son diferentes a las habilidades para soldar formas laminares forjadas mediante el uso de una progresión en línea recta; por lo tanto, la limitación de forma de producto de tubo no se aplica en estos casos de línea recta. véase Figura C-4.1.

C-4.9 Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de la WPS

C-4.9.3.2 Probetas de doblado longitudinal. En la presente subsección se han previsto ensayos de doblado longitudinal cuando las combinaciones de material difieren notablemente en relación con las propiedades mecánicas de doblado.

C-4.9.3.3 Criterios de aceptación para los ensayos de doblado. Se agregó la nueva y más definitiva redacción para la aceptación de los ensayos de doblado para ayudar a la interpretación de los resultados de los ensa-

yos. El propósito de los ensayos de doblado consiste en comprobar la solidez de la soldadura. Se agregó la frase sobre la cantidad total de indicaciones para restringir la cantidad acumulativa de discontinuidades.

Se agregó un límite máximo de rasgaduras originadas en las esquinas para prevenir los casos en que las fracturas de las esquinas se puedan extender a través de la probeta y se considerará aceptable si se encuentra por debajo de los criterios anteriores.

C-4.11 Soldaduras en ranura con PJP para conexiones no tubulares

C-4.11.1 Tipo y cantidad de probetas a ensayar. Esta subsección aborda los requisitos para la calificación de soldaduras en ranura con PJP que requieran de calificación por parte del Contratista debido a que el diseño de la junta y la WPS que se utilizarán en la construcción no cumplen con el estado precalificado según lo descrito en la sección 3.1 o a que se propone una WPS calificada para producir soldaduras CJP mediante el uso de un diseño específico de junta para su uso como una soldadura PJP. La intención consiste en establecer el tamaño de la soldadura que se producirá mediante el uso del diseño de junta y la WPS propuesta para la construcción. Ciertos diseños de junta en combinación con una posición y un proceso de soldadura específicos pueden demostrar que la preparación planificada de la ranura no producirá el tamaño de la soldadura deseado (E).

Las probetas de ensayo de macroataque solo se requieren para calificaciones de la WPS que cumplan con los requisitos de las secciones 4.11.2 o 4.11.3. Se requieren ensayos adicionales para aquellas WPS que se correspondan con los criterios de la sección 4.11.4. Dichos requisitos de ensayo se muestran en la Tabla 4.3.

C-4.12 Soldaduras en filete para conexiones tubulares y no tubulares

C-4.12.1 Tipo y cantidad de probetas. Cuando se deben utilizar soldaduras en filete de pasada única, se requiere una soldadura de ensayo como se muestra en las Figuras 4.15 y 9.21 mediante el uso del tamaño máximo de soldadura en filete de pasada única. Si solo se usarán soldaduras en filete de pasadas múltiples, solo se requerirá una soldadura de ensayo, según se muestra en las Figuras 4.15 y 9.21, mediante una soldadura en filete de pasada múltiple de tamaño mínimo a utilizar. Se supone que cada uno de estos ensayos evaluará la situación más crítica.

C-4.14 Procesos de soldadura que requieren calificación

El código no restringe la soldadura a las WPS precalificadas descritas en la sección 3.1. A medida que se dispone de WPS e ideas nuevas, se permite su uso, siempre

y cuando se hayan calificado mediante los requisitos descritos en la Sección 4, Parte B. Cuando un Contratista haya calificado anteriormente una WPS que cumpla con todos los requisitos descritos en la Parte B de esta sección, el Comité de Soldadura Estructural recomienda que el Ingeniero acepte la evidencia documentada de manera adecuada de un ensayo anterior y no solicite que el ensayo se realice de nuevo. La documentación adecuada significa que el Contratista ha cumplido con los requisitos de la Sección 4, Parte B y que los resultados de los ensayos de calificación se han registrado en los formularios apropiados como los contenidos en el Anexo M. Cuando se utilice, el formulario en el Anexo M deberá suministrar la información adecuada que enumere todas las variables esenciales y los resultados de los ensayos de calificación realizados.

Existen disposiciones generales aplicables a cualquier situación. La aceptabilidad de la calificación para otras normas es responsabilidad del Ingeniero y se debe ejercer en base a condiciones específicas de estructura y de servicio. El Comité de Soldadura Estructural no aborda la calificación bajo cualquier otra norma de soldadura.

C-4.14.1.3 Requisitos de WPS (ESW/EGW). Los procesos de soldadura, procedimientos y detalles de juntas para ESW y EGW no constituyen un estado precalificado en el código. Se deben establecer las WPS de conformidad con la Sección 4. La soldadura de aceros revenidos y templados con cualquiera de estos procesos está prohibida a causa de la alta entrada de calor asociada con ellos, que se conoce como el causante de serio deterioro de las propiedades mecánicas de la HAZ.

Parte C Calificación del desempeño

C-4.15 Generalidades

El ensayo de calificación del soldador se diseñó específicamente para determinar la capacidad de un soldador de producir soldaduras parejas en cualquier junta de ensayo. Después de completar con éxito los ensayos de calificación de soldador, debería considerarse que el soldador cuenta con unas calificaciones mínimas aceptables.

El conocimiento del material que se va a soldar es beneficioso para que el soldador pueda producir una soldadura pareja; por lo tanto, antes de soldar aceros revenidos o templados, se recomienda darle a los soldadores instrucciones relativas a las propiedades de este material o que tengan experiencia previa en la soldadura de ese acero en particular.

Ocasionalmente, el Contratista podrá actualizar o agregar nuevos equipos de control. Es posible que el operario de soldadura calificado anteriormente requiera capacitación para familiarizarse con este equipo nuevo. El énfasis se hace sobre la palabra “capacitación” en lugar de “recalificación” puesto que varios cordones sobre una placa o un tubo, según sea apropiado, podrían ser suficientes. La intención es que el Contratista capacite al

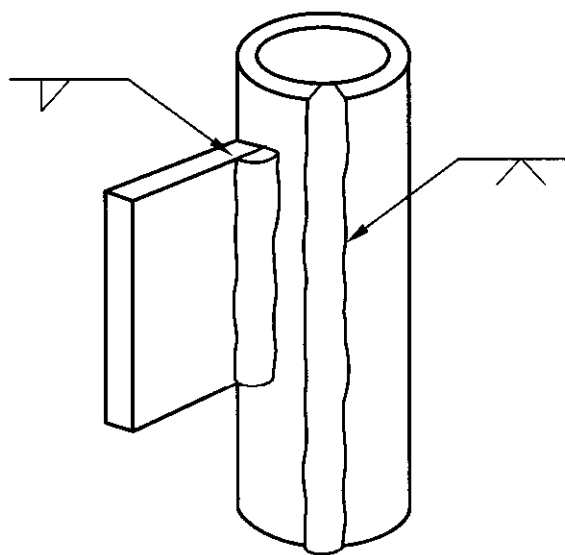
operario de soldadura para soldar mediante el uso del equipo nuevo.

C-4.19 Variables esenciales

El código considera que la capacidad del soldador para producir una soldadura pareja depende de ciertas variables esenciales, que se enumeran en la Tabla 4.12.

C-Tabla 4.13. Los electrodos para la SMAW se agrupan en relación con la habilidad requerida del soldador.

La designación en el Grupo F le permite a un soldador calificado con un electrodo de la designación de un grupo utilizar otros electrodos enumerados en una designación inferior en número. Por ejemplo, un soldador calificado para un electrodo E6010 también estará calificado para soldar con un electrodo E6011, designación de grupo F3 y se le permite soldar con electrodos que tengan designación de grupo F2 y F1; el soldador no está calificado para soldar con electrodos que tengan una designación de grupo F4.



Nota: No se requiere la calificación de tubería y la calificación de placa es aceptable para soldaduras en ranura y filete en posiciones plana, horizontal, vertical y de sobrecaabeza.

Figure C-4.1—Tipo de soldadura sobre conducto que no requiere calificación del conducto (véase Tablas 4.10 y 9.13)

C-5. Fabricación

C-5.1 Alcance

Los criterios que figuran en la Sección 5 están destinados a proporcionarles al productor, supervisor, Ingeniero y soldador la definición de lo que significa una buena mano de obra durante la fabricación y el montaje. El cumplimiento de los criterios es alcanzable y esperado. Si no se cumple con los criterios de mano de obra en términos generales, se dará lugar a una acción correctiva.

C-5.2 Metal base

Las especificaciones ASTM A6 y A20 rigen los requisitos de entrega de los aceros, disponen las tolerancias dimensionales, delinean los requisitos de calidad y definen el tipo de acondicionamiento de la laminación.

El material utilizado para las aplicaciones estructurales se suministra generalmente en estado bruto de laminación. El Ingeniero debe reconocer que las imperfecciones de la superficie (costuras, costras, etc.) aceptables bajo A6 y A20 puede estar presentes en el material recibido en el taller de fabricación. La calidad del acabado especial de superficies, cuando sea necesario en los productos en estado bruto de laminación, se debe especificar en la información que se le proporciona a los licitadores.

Los aceros enumerados según lo aprobado en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9 del código incluyen los que se consideran adecuados para estructuras soldadas cargadas cíclicamente y estáticamente, así como también para estructuras tubulares. También figuran otras especificaciones de la ASTM, especificaciones de la Oficina Estadounidense de Navegación (ABS) y el Instituto Estadounidense del Petróleo (API) que cubren las especificaciones de los tipos de materiales que se han utilizado en estructuras tubulares. Todos los aceros aprobados son considerados como soldables por las WPS que pueden ser calificadas o precalificadas para este código. Todos los aceros aprobados por el código se enumeran en la Tabla 3.1 o en la Tabla 4.9.

Las especificaciones de la ASTM para los grados de acero estructural utilizados en la construcción de edificios para los que hay WPS bien establecidas se enumeran en las Tablas 3.1 y 4.9 junto con otras especificaciones ASTM que cubren otros tipos de materiales que tienen aplicación poco frecuente pero que son adecuados para

su uso en estructuras cargadas estáticamente. Las especificaciones ASTM A588, A514 y A517 contienen grados con químicas que se consideran adecuadas para su uso en condiciones sin pintura y de desgaste. La ASTM A618 está disponible con resistencia mejorada a la corrosión.

Los aceros estructurales que se consideran generalmente aplicables para su uso en estructuras de acero soldadas cargadas cíclicamente se enumeran en la Tabla 3.1 y en la Tabla 4.9 como aceros aprobados. Otras especificaciones ASTM para otros tipos de acero que tienen aplicaciones poco frecuentes, pero adecuados para su uso en estructuras cargadas cíclicamente, también se enumeran como aceros aprobados. Los aceros que cumplan estas especificaciones ASTM adicionales, A500, A501 y A618, que cubran tubería estructural, y las placas para recipientes a presión A516 y A517 se consideran como soldables y están incluidos en la lista de los aceros aprobados para estructuras cargadas cíclicamente.

La lista completa de aceros aprobados en la Tabla 3.1 y la Tabla 4.9 le proporciona al diseñador un grupo de aceros soldables que tienen un rango de carga de fluencia mínima especificada de 30 ksi a 100 ksi [210 MPa a 690 MPa], y en el caso de algunos materiales, las características de tenacidad a la entalla que los hacen adecuados para la aplicación a baja temperatura.

Otros aceros se pueden utilizar cuando se ha establecido la soldabilidad de acuerdo con el procedimiento de calificación requerido por la Sección 4.

El código restringe el uso de aceros a aquellos límite de elasticidad mínimo especificada no exceda 100 ksi [690 MPa]. Algunas disposiciones de la sección 9.6.1 se basan en la capacidad del acero para endurecerse bajo tensión.

C-5.3 Requisitos para consumibles de soldadura y electrodos

C-5.3.1.3 Gas de protección. A partir de la información facilitada por los fabricantes del gas de protección, se ha determinado que un punto de rocío de -40°F [-40°C] es un límite superior práctico que proporciona una adecuada protección contra la humedad. Un punto de rocío de -40°F [-40°C] se convierte a aproximadamente 128 partes por millón (ppm) en volumen de vapor de agua o aproximadamente 0,01% de humedad disponi-

ble. Este contenido de humedad parece muy bajo, pero, cuando se disocia a temperaturas de soldadura, podría aportar hidrógeno al ya asociado con el electrodo. Por lo tanto, es obligatorio tener un punto de rocío de -40°F [-40°C] o inferior en el gas de protección. El gas de protección comprado como certificado según AWS A5.32 cumple con este requisito.

C-5.3.2 Electrodo de SMAW. La capacidad de los electrodos de bajo hidrógeno para evitar el agrietamiento debajo del cordón depende del contenido de humedad en el revestimiento. Durante la soldadura, la humedad se disocia en hidrógeno y oxígeno; el hidrógeno se absorbe en el metal fundido, y pueden aparecer porosidad y grietas en la soldadura después de que el metal de soldadura se solidifique. Se deben cumplir estrictamente las disposiciones del código para la manipulación, almacenamiento, secado y el uso de electrodos de bajo hidrógeno con el fin de evitar la absorción de humedad por parte del material de revestimiento.

C-5.3.2.1 Condiciones de almacenamiento del electrodo de bajo hidrógeno. El término “bajo hidrógeno” es ampliamente utilizado en la industria de la soldadura, y, sin embargo, este término no está definido oficialmente en los documentos de la industria, como AWS A3.0. Como resultado, se han asociado una gran cantidad de confusiones y malinterpretaciones con estas palabras. Puede ser útil proporcionar un breve resumen de su evolución.

El fenómeno de agrietamiento inducido por hidrógeno (HIC) se asocia generalmente con la interacción simultánea de tres factores en una soldadura: (1) Alto esfuerzo aplicado o residual, (2) la presencia de una microestructura de acero que es susceptible al HIC, y (3) la presencia de una alta concentración de hidrógeno difusible (atómico). En el caso de estructuras soldadas, el primer factor se fija generalmente mediante los niveles de resistencia de los metales de aporte y metales base que se utilizan. Los dos elementos restantes son controlados típicamente mediante precalentamiento (para promoverse menos microestructuras sensibles al HIC) y el uso de procesos y técnicas adecuados de soldadura para reducir al mínimo el hidrógeno. Con el fin de evitar el HIC, hay muchas combinaciones de control de precalentamiento y de hidrógeno que se pueden utilizar. Por ejemplo, se pueden tolerar mayores niveles de hidrógeno difusible con niveles más altos de temperaturas precalentamiento y entre pasadas. Por el contrario, a niveles más bajos de hidrógeno difusible, se pueden utilizar menores temperaturas de precalentamiento y entre pasadas.

Durante años, la única opción real para la soldadura por arco era SMAW. El uso que hacía de electrodos celulósicos o de rutilo (por ejemplo, E6010) constituyó una gran mejora sobre los electrodos desnudos utilizados anteriormente, reduciendo en gran medida el contenido de nitrógeno de los depósitos de soldadura. Sin embargo, los mismos recubrimientos que proporcionaron esta mejora en la calidad de la soldadura lo hicieron al permitir que una gran cantidad de hidrógeno entre en la soldadura como resultado de la descomposición de los revestimientos del electrodo en el arco. La cantidad variaba, pero no era inusual encontrar 40 ml–80 ml / 100 gramos de hidrógeno difusible en el metal de soldadura. Este alto nivel de hidrógeno difusible era aceptable, y fue posible

obtener soldaduras libres de grietas, cuando la soldadura se restringía a aceros de resistencia mas baja que eran menos susceptibles al HIC. Para los aceros más sensibles y aceros más espesos, las tendencias de HIC se superaron mediante temperaturas de precalentamiento y entre pasadas adicionales. Sin embargo, el HIC no era un acontecimiento poco común, especialmente en soldaduras más gruesas donde el precalentamiento insuficiente y los esfuerzos residuales muy altos hacían que la formación de grietas fuera casi inevitable.

La industria de la soldadura enfrentó este desafío mediante el desarrollo de los electrodos SMAW con revestimientos de bajo hidrógeno. Tales revestimientos tenían, y todavía tienen hoy en día, límites específicos sobre el máximo contenido permitido de humedad en el revestimiento del electrodo. Tales electrodos incluyen las clasificaciones AWS A5.1 y A5.5 E7015, E7016, E7018 y E7028. Estos productos se llegaron a conocer como “electrodos de bajo hidrógeno”, aunque el término no se definió mediante una norma AWS. Sin embargo, el contraste entre estos “electrodos de bajo hidrógeno” y los electrodos celulósicos o de rutilo alternativos era distinto: los depósitos de soldadura realizados con electrodos que tenían recubrimientos de bajo hidrógeno depositaban metal de soldadura con bastante menos hidrógeno. Esto permitió que “aceros difíciles de soldar” se soldaran con menos o sin precalentamiento, reduciendo en gran medida el HIC. El desarrollo posterior de los procesos semiautomáticos, como GMAW y FCAW, hizo posible que las soldaduras se realizaran con niveles de hidrógeno similares a los de los electrodos SMAW de bajo hidrógeno. Sin embargo, el término “bajo hidrógeno” nunca se utilizó para estos procesos y sus electrodos, ya que nunca pasó por el proceso evolutivo de la minimización de hidrógeno. Para capturar estos procesos, se comenzaron a utilizar términos como “procesos de bajo hidrógeno”, nuevamente sin definición formal.

Se sigue generando mucho debate acerca de cuáles cifras representan realmente un adecuado “bajo hidrógeno”. Hoy en día, el contenido real de hidrógeno difusible del metal de soldadura se puede medir, y se expresa normalmente en unidades de ml/100 g de metal de soldadura depositado. En lugar de debatir sobre la definición de “bajo hidrógeno”, en la actualidad es más común discutir el contenido de hidrógeno en términos de dicha unidad de medida. Para la gran mayoría de aplicaciones industriales típicas que se rigen por el código, el uso de estos procesos semiautomáticos proporcionará la introducción de los adecuados bajos niveles de hidrógeno para prevenir el HIC. La estipulación de los electrodos de “bajo hidrógeno” en los documentos del contrato ha sido a veces objeto de interpretación estricta para excluir los procesos semiautomáticos y en lugar de ello requerir el uso de electrodos SMAW con revestimientos de bajo hidrógeno. De hecho, tal redacción contractual está típicamente enraizada en el patrón de pensamiento de la década de 1950, para distinguir entre los electrodos SMAW que no depositaban metal de soldadura de un bajo hidrógeno. Típicamente, no existe razón para restringir el uso de procesos semiautomáticos. Además, el Código D1.1 proporciona las restricciones necesarias de metales de aporte, aceros y límites de precalentamiento aceptables y, en general, no hay necesidad de añadir restricciones adicionales en los documentos contractuales

con respecto a los metales de aporte aceptables. Para fines de precalentamiento y otros fines, D1.1 trata a los GMAW, FCAW, SAW, GTAW, ESW, y EGW de la misma manera que a los SMAW de “bajo hidrógeno”.

Los ensayos han demostrado que puede existir una amplia variación en el índice de absorción de humedad de varias marcas de electrodos que representan una clasificación AWS dada. Algunos electrodos absorben muy poca humedad durante tiempos de exposición estándar, mientras que otros absorben la humedad muy rápidamente. Los requisitos de control de la humedad de la sección 5.3.2.1 son necesariamente conservadores, con el fin de cubrir estas condiciones y asegurar que se puedan producir soldaduras óptimas.

Las restricciones de tiempo en el uso de electrodos después de retirarlos desde un horno de almacenamiento le pueden parecer demasiado restrictivas a algunos usuarios. La velocidad de absorción de humedad en las zonas de baja humedad es más baja que la que se encuentra en las zonas de alta humedad. El código cubre las situaciones más restrictivas.

C-5.3.2.5 Restricciones de electrodos de bajo hidrógeno para aceros ASTM A514 o A517. Para los electrodos de acero al carbono de bajo hidrógeno, AWS A5.1 / A5.1M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding* (Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico revestido), especifica un límite de humedad de 0,6% por peso en el recubrimiento del electrodo de bajo hidrógeno, bien sea “como se recibe” o “acondicionado”, a excepción de E7018M, que tiene un límite de humedad especificado de 0,1%. Los electrodos de bajo hidrógeno resistentes a la humedad, que utilizan la designación opcional R, tienen un límite de humedad específica de 0,3%. Los electrodos de aleación de acero de bajo hidrógeno cubiertos en AWS A5.5 / A5.5M, *Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding* (Especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo metálico revestido), presentan un contenido de humedad máximo especificado en la condición tal como se fabrica. Para los electrodos de clase E70XX-X, es de 0,4%; para los electrodos E80XX-X, es de 0,2%; para los electrodos de clase E90XX-X, E100XX-X, E110XX-X y E120XX-X, es de 0,15%. Los electrodos con la designación opcional H4 proporcionan límites suficientes de humedad de recubrimiento para asegurar que el nivel real de hidrógeno difusible se limite a un valor máximo de 4 ml/100 g de metal de soldadura depositado, independientemente de la clasificación de tracción del electrodo.

La experiencia ha demostrado que los límites especificados anteriormente para contenidos de humedad en revestimientos de electrodos no siempre son suficientemente restrictivos para algunas aplicaciones que utilizan la clase E80XX-X y clases inferiores. Los electrodos de clasificaciones más bajas que E90XX-X están sujetos a requisitos más rigurosos de nivel de humedad cuando se utilizan para la soldadura de aceros de alta resistencia revenidos y templados, ASTM A514 y A517. Se requiere que todos dichos electrodos se sequen entre 700 °F y 800 °F [370 °C y 430 °C] antes de su uso. Según AWS A5.5 no se requiere que los electrodos de las clasificaciones por debajo de E90XX-X tengan un contenido de hume-

dad inferior al 0,15%, y el secado requerido logrará al menos este nivel de humedad. Esta precaución era necesaria debido a la sensibilidad de los aceros de alta resistencia y el metal de soldadura al agrietamiento por hidrógeno.

C-5.3.3.1 Combinaciones electrodo-fundente. Los electrodos y los fundentes conformes con la designación de clasificación de estas especificaciones se pueden utilizar como precalificados, siempre y cuando se observen las disposiciones de la sección 3.3, de la Tabla 3.1 y de la Tabla 3.2. El Contratista debe seguir las recomendaciones del proveedor para el uso adecuado de los fundentes.

C-5.3.3.2 Estado del fundente. Los requisitos de esta sección son necesarios para garantizar que el fundente no sea un medio para la introducción de hidrógeno en la soldadura a causa de la humedad absorbida en el fundente. Cada vez que se cuestiona la idoneidad del fundente debido a un almacenamiento inadecuado o a un daño del paquete, se debe desechar o secar el fundente de conformidad con las recomendaciones del fabricante.

C-5.3.3.3 Recuperación del fundente. Para la recuperación del fundente sin fundir mediante el sistema de recuperación por vacío, se debe hacer una distinción entre fundentes fundidos y fundentes adheridos. En general, los fundentes fundidos tienden a volverse más gruesos a medida que se reciclan (especialmente donde las partículas son de malla inferior a 200). En este caso, generalmente el sistema de vacío filtra parte de las partículas más finas y por lo tanto se debe añadir al menos un 25% de material virgen para reponer las partículas finas antes de reutilizarlo. Por otra parte, debido a su método de fabricación, los fundentes adheridos tienden a descomponerse en el sistema de recuperación de fundente, dando lugar a una mayor proporción de partículas más pequeñas. Con el fin de compensar la descomposición del fundente, es necesario agregar al menos un 25% de material virgen (aunque un 50% es más común entre los usuarios) al fundente reciclado antes de reutilizarlo. Para ambas categorías de fundentes, es esencial separar cualquier elemento metálico posible (del óxido de la placa o de la cascarilla de laminación) antes de reciclar el fundente.

La calidad del fundente recuperado de los sistemas de recolección manual depende de la consistencia de esa técnica de recolección. El Contratista debe seguir un procedimiento que asegure que se añada una proporción constante de fundente virgen y que se mezcle con el fundente recuperado.

C-5.3.3.4 Escoria triturada. Es posible que la escoria formada durante la SAW no tenga la misma composición química que el fundente sin utilizar (virgen). Su composición se ve afectada por la composición del fundente original, la composición de la placa de metal base y la del electrodo, además de los parámetros de soldadura.

Aunque puede ser posible triturar y reutilizar cierta cantidad de escoria de la SAW como fundente de soldadura, la escoria triturada, independientemente de cualquier adición de fundente virgen a la misma, puede ser un nuevo fundente químicamente diferente. Se puede clasificar de conformidad con la especificación AWS A5.17 o A5.23,

pero no se debe considerar como lo mismo que el fundente virgen.

C-5.4 Procesos ESW y EGW

Los procedimientos que se deben utilizar para ESW y EGW se detallan en la sección 5.4 y las variables esenciales para estos procedimientos se indican en la sección en 4.8.2.

El código requiere la calificación de las WPS puesto que las variables de soldadura influyen sobre el funcionamiento del proceso con respecto a la penetración adecuada, la fusión completa de la zona de junta y la capacidad para producir una soldadura aceptable.

Estos son procesos relativamente nuevos y la experiencia insuficiente es la justificación para no asignarles el estado de precalificados.

C-5.4.1 Limitaciones del proceso. Los procesos ESW y EGW pueden representar una ventaja debido a que ambos depositan metal de soldadura en placas muy gruesas en una sola pasada, a muy altas velocidades de deposición y con una distorsión mínima. La entrada de calor relativamente alta y la lenta tasa de enfriamiento de los procesos ESW y EGW pueden producir soldaduras con zonas reblandecidas afectadas por el calor (HAZ) en aceros templados y revenidos (Q&T), de proceso de control termomecánico (TMCP) y endurecidos por precipitación (PH). Puede ocurrir reducción de la tenacidad a la fractura, es decir, zonas frágiles locales (LBZ), en las HAZ de estas soldaduras.

Cuando se producen grietas por fatiga, a menudo se inician en el pie de las soldaduras donde hay una concentración de esfuerzos. El crecimiento de las grietas por fatiga avanza perpendicular al campo del esfuerzo principal y es una función del rango de esfuerzo por carga viva. El mayor tamaño de las HAZ y de cualquier LBZ en soldaduras por procesos ESW y EGW significará que pueden formarse grietas de fatiga más grandes en la región de baja tenacidad a la fractura. Además, las cargas altas pueden concentrar cualquier tipo de deformación plástica en las regiones HAZ reblandecidas. Estos dos factores, ya sea individualmente o en combinación, aumentarán el riesgo de fractura por fragilidad. El diseño de junta de ranura en escuadra utilizada con los procesos ESW y EGW soluciona este problema, puesto que orienta las HAZ y LBZ perpendicularmente a los esfuerzos de tracción. Las calificaciones estándar de procedimiento de ensayo de tracción y doblado no revelarán esta condición. Si esto se corresponde con la aplicación deseada, el diseñador o Ingeniero deberá realizar ensayos adicionales, como ensayos de tenacidad a la fractura por CTOD (desplazamiento de la abertura de la punta por agrietamiento) y ensayos de fatiga.

A los Ingenieros y Contratistas que deseen utilizar estos procesos se les recomienda investigar las posibles consecuencias con respecto a la selección de los materiales y del proceso. ESW-NG, una variación específica del proceso, tiene una entrada de calor relativamente más baja y por lo tanto reduce el tamaño de las HAZ y el deterioro de la resistencia a la entalla de la HAZ.

C-5.5 Variables de WPS

El código pretende que los soldadores, operadores de soldadura y soldadores de punteado sean capaces de utilizar adecuadamente las WPS. Esto puede lograrse mediante la experiencia, la capacitación o instrucción, según sea necesario.

C-5.7 Control de la entrada de calor para aceros revenidos y templados

La resistencia y la tenacidad de las HAZ de las soldaduras en aceros templados y revenidos están relacionadas con la velocidad de enfriamiento. Contrario a los principios aplicables a otros aceros, se necesita más bien una rápida disipación del calor de la soldadura para obtener la resistencia y la tenacidad adecuadas. Las HAZ austenizadas deben enfriarse rápidamente para asegurar la formación de los constituyentes de endurecimiento en la microestructura del acero. El sobrecalentamiento del acero templado y revenido, seguido del enfriamiento lento previene la formación de una microestructura endurecida.

La deposición de muchos pequeños cordones de soldadura mejora la resistencia a la entalla de la soldadura mediante el refinado del grano y la acción de templado de las pasadas siguientes. Un cordón oscilado, con su velocidad de marcha más lenta, aumenta la entrada de calor y por lo tanto no se recomienda. Debido a que la entrada de calor máxima para diversos aceros templados y revenidos varía en un amplio rango, se debe utilizar de manera estricta la entrada de calor desarrollada y recomendada por los fabricantes de acero.

C-5.8 Tratamiento térmico para el alivio del esfuerzo

Esta subsección dispone dos métodos PWHT para aliviar el esfuerzo de un conjunto soldado. El primer método requiere que el conjunto se caliente a 1100 °F [600 °C] como máximo para aceros templados y revenidos, y entre 1100 °C y 1200 °F [600 °C a 650 °C] para otros aceros. El conjunto se mantiene a esta temperatura durante el tiempo especificado en la Tabla 5.2. En la sección 5.8.2, un método alternativo permite una disminución de la temperatura por debajo del mínimo especificado en el primer método, cuando se aumenta el tiempo de retención. El método alternativo se utiliza cuando no es práctico someter a PWHT al conjunto soldado a temperaturas más altas. Estas temperaturas están lo suficientemente por debajo de la temperatura crítica como para impedir cualquier cambio en las propiedades.

Si el propósito del PWHT es aliviar el esfuerzo de la soldadura, el tiempo de retención se basa en el espesor del metal de soldadura aunque algunos materiales de la misma sean más gruesos que la soldadura. Si el propósito del PWHT es mantener la estabilidad dimensional du-

rante el mecanizado subsiguiente, el tiempo de retención se basa en el componente más grueso en la soldadura. Ciertos aceros templados y revenidos, si se someten a alivio de esfuerzo como acero al carbono o de baja aleación, pueden sufrir cambios indeseables en la microestructura, lo que provocaría un deterioro de las propiedades mecánicas o agrietamiento, o ambos. Tales aceros solo se deben someter a alivio de esfuerzo después de consultar con el fabricante del acero y en estricta conformidad con las recomendaciones del fabricante.

NOTA DE ADVERTENCIA: *Se debe prestar atención a la posible distorsión debida al alivio del esfuerzo.*

C-5.9 Respaldo

Se requiere que todas las soldaduras en ranura con CJP precalificadas hechas de un solo lado, con excepción de lo permitido para estructuras tubulares, presenten completa fusión del metal de soldadura con un respaldo de acero. Es posible utilizar otro respaldo, como se indica en la subsección 5.9.3, si está calificado según la Sección 4. Cuando se utiliza respaldo de acero, se requiere que sea continuo para toda la longitud de la soldadura salvo lo dispuesto en la sección 5.9.1.2 o 9.23.1. Cuando no sea continuo, la junta a tope sin soldar del respaldo actuará como un elevador de esfuerzo que puede iniciar el agrietamiento.

C-5.9.1.2 Respaldo de longitud completa. La experiencia ha demostrado que una junta a tope en escuadra ajustada firmemente en el respaldo de acero que no esté soldada constituye una condición a la entalla severa, similar al agrietamiento, que puede producir grietas transversales en la soldadura cuando la zona no fundida es perpendicular al campo de esfuerzo. Tales grietas, en muchos casos, se propagarán en el metal base.

Las discontinuidades en el respaldo no se pueden evitar en algunos detalles, donde la geometría de la pieza requiere una discontinuidad y la falta de acceso no permite soldar el respaldo. El respaldo soldado paralelo al eje del miembro se deformará con el miembro. La discontinuidad sin soldar proporcionará una concentración de esfuerzo y fallará cuando sea perpendicular al campo de esfuerzo. La concentración de esfuerzo puede iniciar el agrietamiento. Las tensiones residuales, la retención alta y las cargas cíclicas aumentan el riesgo de tal agrietamiento. Los esfuerzos por compresión disminuyen el riesgo de formación de grietas a menos que haya esfuerzo inverso en el ciclo de esfuerzo aplicado. El código permite respaldo discontinuo en aplicaciones específicas seleccionadas o donde el Ingeniero lo apruebe.

C-5.9.1.3 Espesor del respaldo. El espesor nominal mínimo recomendado del respaldo de acero se muestra en la siguiente tabla:

Proceso	Espesor, min.	
	pulgadas	mm
GTAW	1/8	3
SMAW	3/16	5
GMAW	1/4	6
FCAW-S	1/4	6
FCAW-G	3/8	10
SAW	3/8	10

Los respaldos de acero disponibles comercialmente para tubos y tuberías son aceptables, siempre que no haya evidencia de fusión en las superficies internas expuestas.

C-5.9.1.4 Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente. El respaldo de acero transversal al esfuerzo aplicado forma un punto de concentración del esfuerzo y puede ser una fuente de iniciación de grietas por fatiga en estructuras cargadas cíclicamente. Por lo tanto, las disposiciones de la sección 5.9.1.3 requieren la eliminación del respaldo que sea transversal a la dirección del esfuerzo computado en estructuras cargadas cíclicamente.

C-5.11 Ambiente de la soldadura

C-5.11.2 Temperatura ambiente mínima. La experiencia ha demostrado que el personal de soldadura no puede producir resultados óptimos cuando trabaja en un ambiente donde la temperatura es inferior a 0 °F \ [-20 °C]. En la sección 5.11.2 se hace referencia al uso de una estructura o refugio calefaccionado para proteger al soldador y la zona a soldar de las inclemencias del tiempo. Si la temperatura en esta estructura o refugio proporciona un entorno a 0 °F \ [-20 °C], o superior, la prohibición de la sección 5.11.2 no es aplicable. Las condiciones ambientales en el interior de la estructura o refugio no alteran los requisitos de temperatura de precalentamiento o entre pasadas para los metales base indicados en otra parte del código.

C-5.12 Conformidad con el diseño

Una o ambas piernas de las soldaduras en filete pueden tener exceso de tamaño sin corrección, siempre y cuando el exceso no interfiera con el uso final satisfactorio de un miembro. Los intentos de eliminar el material sobrante de las soldaduras con exceso de tamaño no sirven de nada. La adecuación de la dimensión de la garganta y la conformidad con los perfiles de soldadura de la Figura 5.4 deben ser los únicos criterios de aceptación.

C-5.13 Tamaños mínimos de la soldadura en filete

El código especifica tamaños mínimos de la soldadura en filete en base a dos consideraciones independientes.

(1) Para los procesos sin bajo hidrógeno, el tamaño mínimo especificado sirve para garantizar una entrada de calor suficiente para reducir la posibilidad de agrietamiento, ya sea en la HAZ o en el metal de soldadura.

(2) Cuando la posibilidad de formación de grietas se reduce mediante el uso de procesos de bajo hidrógeno o mediante procesos sin bajo hidrógeno utilizando un procedimiento establecido de conformidad con la sección 4.8.4, el mínimo especificado sirve para mantener una proporcionalidad razonable con las partes más delgadas conectadas.

En ambos casos, el tamaño mínimo se aplica si es mayor que el tamaño necesario para satisfacer los requisitos de diseño.

C-5.14 Preparación del metal base

C-5.14.1 Generalidades. Para producir soldaduras de calidad, la limpieza del metal base es importante. Sin embargo, no es necesario ni se requiere que el metal base esté perfectamente limpio antes de realizar soldaduras. Es difícil establecer límites cuantificables de limpieza y medir dichos límites. Por lo tanto, esta disposición utiliza el estándar práctico de la calidad de la soldadura resultante. Si el metal base está lo suficientemente limpio como para facilitar la creación una soldadura que cumpla con los requisitos de este código, entonces está lo suficientemente limpio. Si las soldaduras resultantes no cumplen con los requisitos de calidad de este código, se pueden requerir metales base más limpios.

C-5.14.2 Defectos de superficie provocados en la aceria. El metal base al que se unen las soldaduras debe tener la calidad suficiente a fin de no afectar a la resistencia de la conexión. Los defectos del metal base se pueden reparar antes de la deposición de la soldadura prescrita. Esta subsección no limita las reparaciones de los metales base mediante soldadura. Los defectos que puedan estar expuestos en los bordes cortados se rigen mediante las secciones 5.14.5. y C-5.14.3.

C-5.14.3 Cascarilla y óxido. La excesiva oxidación o formación de cascarilla puede afectar negativamente la calidad de la soldadura. El código permite la soldadura sobre superficies que contengan cascarilla fina de laminación, siempre y cuando:

- (1) la cascarilla de laminación se mantenga intacta después de utilizar un cepillo de alambre, y
- (2) la calidad de la soldadura resultante no se vea afectada de manera adversa (véase C-5.14.1).

C-5.14.4 Materiales extraños. Esta subsección prohíbe que se dejen cantidades volumétricas (tridimensionales) de contaminantes sobre la superficie a soldar y las zonas adyacentes. Las superficies contaminadas por los materiales enumerados en la sección 5.14.4.1 se deben lim-

piar, por ejemplo, frotando con un paño antes de la soldadura. Se debe prestar especial atención a la eliminación de los contaminantes superficiales que contengan hidrocarburos o humedad condensada, puesto que el hidrógeno liberado en el charco de soldadura fundida puede causar graves imperfecciones en la soldadura, como por ejemplo, grietas. No es necesario que las operaciones de limpieza, que puede ser frotar solo con un paño, eliminen todos los contaminantes externos, ni se requiere el uso de disolventes. La soldadura a través de capas delgadas de contaminantes restantes es aceptable, a menos que se degraden los requisitos de calidad de este código, dando como resultando soldaduras inaceptables.

C-5.14.5.2 Reparación. Los defectos provocados en la aceria que se observan en las superficies cortadas, son causados por la escoria o las inclusiones refractarias atrapadas, productos de desoxidación, o sopladuras. Es posible que los procedimientos de reparación para las discontinuidades de las superficies de corte no sean adecuados cuando se aplique tracción en la dirección a través del espesor del material. Para otras direcciones de carga, este artículo permite algunas discontinuidades de tipo laminación en el material. La experiencia y los ensayos han demostrado que laminaciones paralelas a la dirección de los esfuerzos de tracción no afectan generalmente de manera adversa a la capacidad de carga de un elemento estructural. El usuario debe tener en cuenta que los procedimientos de reparación de la sección 5.14.5.2 se destinan solo para la corrección de material con bordes cizallados o cortados por calor.

C-5.14.6 Preparación de la junta. El ranurado con oxígeno sobre aceros templados y revenidos o procesados mediante control termomecánico (TMCP) está prohibido a causa de la alta entrada de calor del proceso (véase C-5.7).

C-5.14.8.3 Requisitos de rugosidad. Se permiten correcciones para superficies de corte térmico que excedan los valores máximos admisibles de rugosidad de la superficie. Las entallas o hendiduras ocasionales de profundidad limitada se pueden corregir, las más profundas solo con aprobación. Las limitaciones de profundidad representan la opinión colectiva del Comité y reflejan los requisitos estructurales y la capacidad de mano de obra típica del Contratista.

Al hacer referencia a "entallas y hendiduras ocasionales", el Comité se abstuvo de asignar valores numéricos en el supuesto de que el Ingeniero, siendo la persona más familiarizada con las condiciones específicas de la estructura, juzgará mejor lo que es aceptable. El Ingeniero podrá optar por establecer los criterios de aceptación para entallas y hendiduras ocasionales.

C-5.15 Esquinas reentrantes

Se especifican radios mínimos para las esquinas reentrantes con el fin de evitar los efectos de las concentraciones de esfuerzos. El código no especifica un radio mínimo para las esquinas de los recortes redondeados de vigas laminadas en caliente o secciones transversales armadas y soldadas, puesto que cualquier radio mínimo seleccionado arbitrariamente se extendería hacia el filete

de la viga o la parte inferior de la brida, en algunos casos, haciendo extremadamente difícil o imposible proporcionar el radio. Además, el pico de esfuerzo se puede acomodar solamente mediante fluencia localizada, y la magnitud de los factores de concentración de esfuerzos elásticos no se ve afectada significativamente por las diferencias en los radios de cualquier tamaño práctico.

Las estructuras tubulares y las cargadas estáticamente permiten, y generalmente requieren, un radio de esquina reentrante más pequeño que el permitido para las estructuras cargadas cíclicamente. Para algunas conexiones estándar atornilladas o remachadas se necesitan radios más pequeños.

véase Figura C-5.1 para ejemplos de esquinas reentrantes inaceptables.

C-5.16 Orificios de acceso a la soldadura, recortes redondeados de viga y material de conexión

C-5.16.1 Dimensiones de los orificios de acceso a la soldadura. El metal de soldadura solidificado pero todavía caliente se contrae de manera significativa cuando se enfría a temperatura ambiente. La contracción de grandes soldaduras entre miembros que no tienen libertad de movimiento para acomodar las deformaciones inducidas por la contracción en el material adyacente a la soldadura puede exceder la deformación del punto de fluencia. En materiales gruesos, la contracción de la soldadura se restringe en las direcciones de espesor, así como también en las direcciones de anchura y longitud, causando desarrollo de esfuerzos triaxiales que pueden inhibir la capacidad del acero dúctil para deformarse de manera dúctil. (La Figura C-5.2 muestra ejemplos de buenas prácticas para la formación de recortes redondeados).

Bajo estas condiciones, aumenta la posibilidad de fractura por fragilidad. Se requieren orificios de acceso a la soldadura de dimensiones generosas, Figura 5.2, para proporcionar un mayor alivio del esfuerzo a partir de las deformaciones concentradas por contracción de la soldadura, para evitar las juntas estrechas de soldaduras en direcciones ortogonales y para proporcionar espacio suficiente para el ejercicio de la mano de obra de alta calidad en la preparación de orificios, la soldadura y la facilidad de la inspección. No se recomienda el cierre de los orificios de acceso a la soldadura. Cuando se requiere cerrar los orificios de acceso a la soldadura por razones cosméticas o por protección contra la corrosión, el sellado mediante el uso de materiales de masilla puede ser preferible a la soldadura.

C-5.16.2 Perfiles galvanizados y C-5.16.3 Perfiles pesados. El precalentamiento antes de realizar recortes redondeados y agujeros de acceso en las secciones pesadas y el esmerilado de secciones que se van a galvanizar tienen la intención de reducir la formación de una capa superficial dura y la tendencia a generar grietas.

C-5.18 Contraflecha de miembros armados

El recalado por calor (también conocido como *contracción por llama*) es la deformación de un elemento por la aplicación de calor localizado. Se permite la corrección de variaciones moderadas con respecto a las dimensiones especificadas. El recalado se lleva a cabo mediante una cuidadosa aplicación de calor sin que la temperatura resultante exceda la temperatura máxima prevista en la sección 5.25.2.

C-5.20 Control de la distorsión y la contracción

C-5.20.2 Al hacer empalmes entre las secciones, ya sea en el taller o en campo, la secuencia de soldadura debe estar razonablemente equilibrada entre las soldaduras del alma y la brida, así como también alrededor de los ejes mayor y menor del miembro.

C-5.21 Tolerancia de dimensiones de juntas

C-5.21.1 Montaje de soldaduras en filete. Excepto para la separación de superficies de contacto en juntas traslapadas y barras de respaldo, se permite una brecha máxima de 3/16 pulg. [5 mm] para que el material de soldadura de filete no exceda un espesor de 3 pulg. [75 mm]. Para el material por encima de 3 pulg. [75 mm], el espacio máximo admisible es de 5/16 pulg. [8 mm].

Estos espacios son necesarios debido a las tolerancias de fundición admisibles y a la incapacidad para alinear de manera más estrecha las piezas con mayor espesor. El código presupone el enderezamiento del material antes del montaje o la aplicación de un mecanismo de carga externa para forzar y mantener el material alineado durante el montaje.

Estos espacios pueden requerir sellado ya sea con una soldadura o con otro material capaz de soportar el metal de soldadura fundido. Debe tenerse en cuenta que después de la liberación de cualquier carga externa de soporte, es probable que las tensiones adicionales actúen sobre las soldaduras. Cualquier espacio de 1/16 pulg. [2 mm] o mayor en tamaño requiere de un aumento de tamaño del filete por la cantidad de separación.

C-5.21.2 Montaje de soldaduras en ranura con PJP. véase C-5.21.1.

C-5.21.3 Alineación de la junta a tope. Los esquemas típicos de la aplicación de los requisitos de alineación para piezas a tope que se van a unir mediante soldaduras en juntas a tope se muestran en las Figuras C-5.3 y C-5.4.

C-5.21.4.2 Corrección. Las aberturas de la raíz más amplias que las permitidas por la Figura 5.3 y la Tabla 9.15 se pueden corregir mediante la creación de uno o ambos lados de las caras de la ranura mediante soldadura. Durante la corrección de las aberturas de la raíz, se

le recomienda al usuario obtener las aprobaciones necesarias del Ingeniero donde sea necesario. La soldadura final se debe realizar solo después de haber corregido la junta para ajustarla a la tolerancia especificada de abertura de la raíz, manteniendo así la contracción a un mínimo.

C-5.22 Tolerancias dimensionales de elementos estructurales soldados

C-5.22.2 Rectitud de vigas y vigas principales (sin contraflecha especificada) y C-5.22.3 Contraflecha de vigas y vigas principales (viga principal típica). La variación admisible en la rectitud de los miembros armados soldados es la misma que la especificada en la norma ASTM A6 para las formas laminadas en caliente.

C-5.22.4 Contraflecha de viga y viga principal (sin cartela de concreto diseñada). La formación de contraflechas en las vigas o vigas principales soldadas se utiliza para eliminar la aparición de pandeo o para hacer coincidir la elevación de los componente de construcción adyacentes cuando el elemento está totalmente cargado.

Aunque la tolerancia en contraflecha es de menor importancia que la contraflecha per se, por consistencia, la variación admisible en la contraflecha se basa en el caso típico de carga distribuida que provoca una forma desviada parabólicamente.

Las tolerancias indicadas se medirán cuando los miembros se ensamblen a los agujeros perforados para empalmes de campo o para preparar los empalmes de campo soldados (véase Figura C-5.6).

Cuando se diseñe la cubierta con una cartela de concreto, la tolerancia de 1-1/2 pulg. [40 mm] a la mitad del tramo se basa en una cartela de diseño asumida de 2 pulg. [50 mm]. La diferencia de 1/2 pulg. [12 mm] es para desviaciones de campo y otras contingencias.

Cuando el Contratista compruebe los elementos individuales, se debe tener cuidado de asegurar que se cumplan las tolerancias del montaje.

Existen dos conjuntos de tolerancias para la variación admisible con respecto a la cartela especificada. El primer conjunto de tolerancias se aplica a todas las vigas y vigas principales, excepto a los elementos cuya brida superior esté incrustada en el concreto sin una cartela diseñada para concreto. Aquí la tolerancia de inclinación es positiva y no se permite ninguna tolerancia negativa.

El segundo conjunto de tolerancias se aplica a los miembros soldados cuando la brida superior está incrustada en concreto sin una cartela diseñada; la variación permitida tiene tolerancia positiva y negativa.

C-5.22.6.1 Mediciones. Las tolerancias admisibles para desviaciones de la planicidad de las almas de viga principal con carga dinámica aparecen por separado en el código para vigas principales interiores y exteriores. La tolerancia más estricta para las vigas principales exteriores se basa solo en la apariencia ya que no existen requisitos estructurales para la diferencia. La distorsión

permitida de la viga principal exterior será visible, de una manera u otra, sobre todo cuando los elementos estén pintados con un acabado brillante. Las tolerancias exteriores se consideran satisfactorias para la mayoría de los requisitos. Si se necesitan tolerancias más estrictas para la apariencia, deberán incluirse en los documentos del contrato establecidos en la sección 5.22.6.1, pero es inevitable que se produzca cierto grado de distorsión.

Las variaciones de la planicidad en las almas de viga principal se determinan midiendo el desplazamiento desde la línea central nominal del alma a un borde recto cuya longitud sea mayor que la dimensión menor del panel y colocada en un plano paralelo al plano nominal del alma (véase Figura C-5.5 para conocer un método de medición típico).

C-5.22.6.2 Estructuras no tubulares cargadas estáticamente. Las tolerancias de planicidad de almas con rigidizadores intermedios en ambos lados y sujetas a carga dinámica son las mismas que las de vigas principales de puente interiores (véase 5.22.6.3). Cuando se somete a cargas estáticas solamente, la tolerancia es un poco más liberal. La tolerancia dada para rigidizadores intermedios colocados solo en un lado del alma es la misma para cargas cíclicas o estáticas y es la misma que la de las vigas principales de puente interiores.

NOTA: La Especificación AISC para el diseño, fabricación y montaje de acero estructural para edificios indica que no es necesario aplicar las tolerancias de planicidad de las almas de viga principal indicadas en la sección 5.22.6.2 a las vigas principales cargadas estáticamente.

C-5.22.6.4 Distorsión excesiva. Las distorsiones del alma del doble de la cantidad permitida para los paneles de vigas principales interiores o exteriores se admiten en los paneles terminales de las vigas principales si la instalación de placas de empalme de campo atornilladas reducirá la distorsión al nivel permitido de otra manera. Para evitar la posibilidad de una costosa corrección en campo, el Contratista debe determinar mediante un montaje en taller si la placa de empalme atornillada reducirá la distorsión a límites aceptables.

C-5.22.8 Alabeo e inclinación del ala. El alabeo y la inclinación Δ combinados de la brida de vigas y vigas principales soldadas se mide como se muestra en la Figura C-5.7. A juicio del Comité, esta tolerancia es más fácil de usar que los criterios de especificación ASTM A6, aunque ambos conjuntos de tolerancias concuerdan razonablemente.

La tolerancia a la torsión no se especifica debido a que la rigidez a la tracción de perfiles abiertos (no rectangulares) es muy baja, de manera que la torsión se elimina fácilmente por la interconexión con otros miembros durante el montaje. Los miembros de las secciones transversales rectangulares son aproximadamente 1000 veces más rígidos a la tracción como un perfil abierto en I o W con propiedades equivalentes de doblado y sección de área. Una vez que se haya soldado una sección rectangular cerrada, es extremadamente difícil corregir cualquier torsión que se pueda haber generado sin tener que cortar una de las esquinas y volverla a soldar. Debido a que la torsión resultante de la soldadura no es totalmente prede-

ble y es extremadamente difícil de corregir en miembros rectangulares, se aplica lo siguiente.

(1) Se deben incorporar las disposiciones apropiadas en el diseño para garantizar un rendimiento fiable del servicio de tales miembros con alguna medida arbitraria de torsión.

(2) Se debe tener en cuenta el tamaño del elemento, el efecto de la torsión al colocar concreto sobre la estructura, y el uso de los detalles de conexión que ajusten satisfactoriamente la torsión.

C-5.22.10 Resistencia en puntos de carga. La Figura C-5.8 ilustra la aplicación del requisito del código.

C-5.22.12 Otras tolerancias dimensionales. Las tolerancias especificadas en 5.22 se limitan a los casos que se encuentran rutinariamente. Las tolerancias dimensionales que no se incluyen en la sección 5.22 se deben establecer para reflejar la construcción o la adecuación para los requisitos de servicio.

C-5.23 Perfiles de soldadura

La edición de 1982 cambió los requisitos de convexidad de soldaduras en filete de manera que la fórmula de máxima convexidad se aplica no solo al ancho total de la cara de soldadura, sino también al ancho de un cordón individual sobre la cara de una soldadura de pasadas múltiples. Esto se hizo para eliminar la posibilidad de aceptar un cordón estrecho “de mala calidad” en la cara de una soldadura de otra forma aceptable. La nueva fórmula, que se basa en el “ancho de la cara”, ofrece el mismo requisito de convexidad que la fórmula anterior que se basaba en el “tamaño de la pierna”.

Cuando se inicia una soldadura en filete, el metal de soldadura, debido a su tracción superficial, se redondea en el extremo. A veces esto sucede de manera tal que se forma una ligera curva hacia dentro. Además, en los extremos de inicio y terminación, esta curva impide que la soldadura cubra el tamaño completo hasta el extremo. Por lo tanto, estas porciones no se incluyen como parte de la longitud efectiva de la soldadura. Si el diseñador tiene alguna preocupación con respecto a los efectos de entalla de los extremos, se debe especificar una soldadura en filete continua que por lo general reduce el tamaño de la soldadura requerida.

C-5.25 Reparaciones

C-5.25.1 Opciones del Contratista. El código le permite a los Contratistas, a su elección, reparar o retirar y reemplazar una soldadura inaceptable. No es la intención del código darle autoridad al Inspector para especificar el modo de corrección.

C-5.25.2 Limitaciones de la temperatura de reparación de calor localizado. Se permite la aplicación de calor localizado para enderezar miembros; sin embargo, esto debería hacerse con cuidado para que no se excedan los límites de temperatura que podrían afectar negativamente a las propiedades del acero. Aceros templados y

revenidos que se calientan por encima de 1000°F [538°C] pueden experimentar deterioro de propiedades mecánicas como consecuencia de cambios en la microestructura no deseada cuando se calienta a temperatura ambiente. Otros aceros que se calientan por encima de 1200°F [650°C] pueden experimentar cambios indeseables de productos indeseables de transformación, crecimiento del grano, o ambos. Sin embargo, estos aceros están suficientemente por debajo de la menor temperatura de transformación del metal como para permitir una cierta tolerancia en el método de medición de la temperatura.

C-5.25.5 Restauración soldada del metal base con orificios mal localizados. La técnica para la fabricación de soldaduras de tapón establecida en la sección 5.24.1 de este código no es satisfactoria para la restauración de toda la sección transversal del metal base en los orificios mal localizados. Las soldaduras de tapón están diseñadas para transmitir el cizallamiento de una superficie plana a otra y no para desarrollar la sección transversal completa del agujero. Un método para la restauración de agujeros inaceptables es llenar la mitad de la profundidad o menos con respaldo de acero de la misma especificación de material que el metal base, tallar con gubia una cavidad alargada en forma de barco hasta el respaldo, luego, llenar la cavidad mediante soldadura utilizando la técnica de cordón estrecho. Después de soldar la primera parte, tallar con gubia otra cavidad alargada en forma de barco eliminando completamente el respaldo temporal en el segundo lado, y completar mediante soldadura mediante la técnica de cordón estrecho.

C-5.26 Martillado

Salvo lo dispuesto en la sección 9.2.7.6(3), el martillado de la capa superficial de la soldadura está prohibido puesto que el trabajo mecánico de la superficie puede enmascarar discontinuidades en la superficie de otro modo inaceptables. Por razones similares, el uso de herramientas vibradoras de bajo peso para la eliminación de la escoria se debe utilizar con discreción.

C-5.27 Sellado

El código ha prohibido históricamente cualquier deformación plástica de las superficies de soldadura o de metal base con el fin de oscurecer o sellar discontinuidades. Sin embargo, puesto que algunas discontinuidades menores pueden interferir con la integridad del sistema de revestimiento, ahora se puede utilizar el sellado para las soldaduras más blandas y los metales base cuando sea aprobado por el Ingeniero.

No existen prohibiciones contra el uso de rellenos de masilla o no metálicos por razones cosméticas, siempre y cuando todas las inspecciones requeridas de la soldadura y el metal base se hayan completado y aceptado antes de la aplicación.

C-5.28 Golpes de arco

Los golpes de arco tienen como resultado un calentamiento y enfriamiento muy rápido. Cuando se encuentran fuera del área pretendida de soldadura pueden dar lugar a endurecimiento o agrietamiento localizado, y pueden servir como sitios potenciales para la iniciación de fracturas.

C-5.29 Limpieza de la soldadura

La eliminación de la escoria de un cordón de soldadura depositado es obligatoria para prevenir la inclusión de la escoria en cualquier cordón siguiente y para permitir la inspección visual.

C-5.30 Lengüetas de soldadura

La terminación, inicio o parada de una soldadura en ranura tienden a presentar más discontinuidades de las que generalmente se encuentran en otro lugar de la soldadura. Esto se debe al mecanismo de arranque y parada del arco. Por lo tanto, se deben usar lengüetas de soldadura para colocar estas zonas fuera de la soldadura terminada funcional donde se puedan eliminar según lo requerido por la sección 5.30.2 o 5.30.3. Las lengüetas de soldadura también ayudarán a mantener la sección transversal completa de la soldadura a lo largo de su longitud especificada. Es importante que se instalen de manera que se evite la formación de grietas en la zona donde la lengüeta de soldadura está unida al miembro.

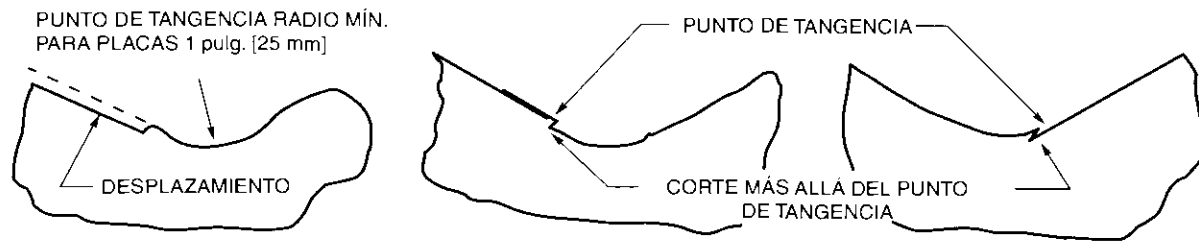


Figura C-5.1—Ejemplos de esquinas reentrantes inaceptables (véase C-5.15)

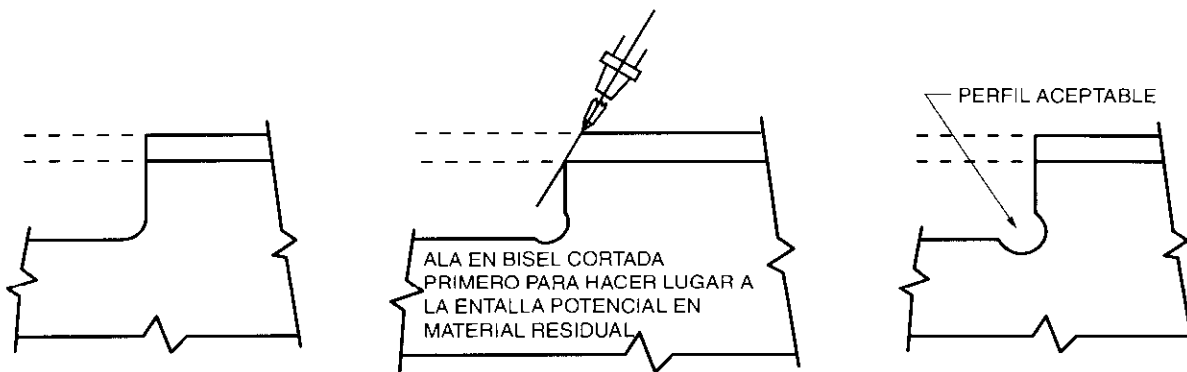


Figura C-5.2—Ejemplos de buenas prácticas para corte de recortes redondeados (véase C-5.16)

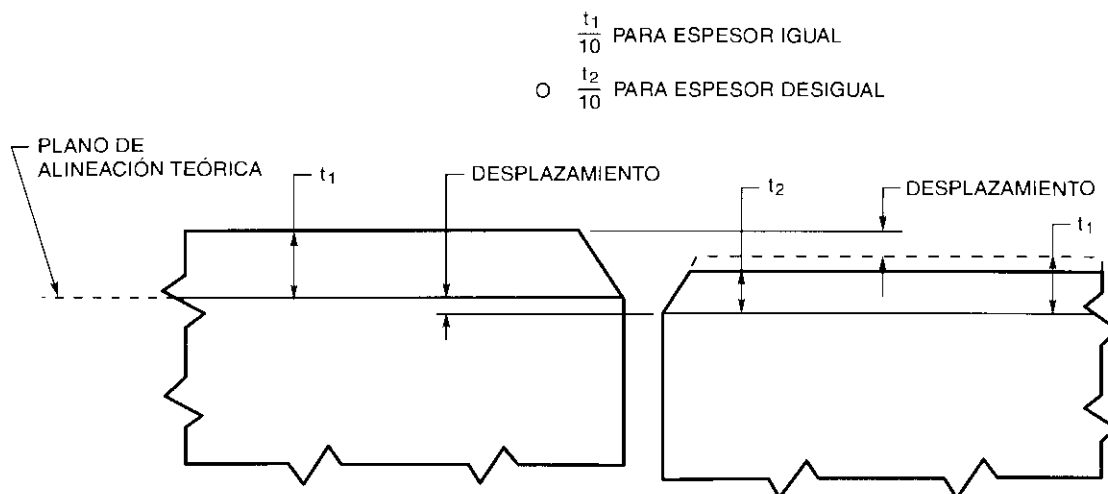
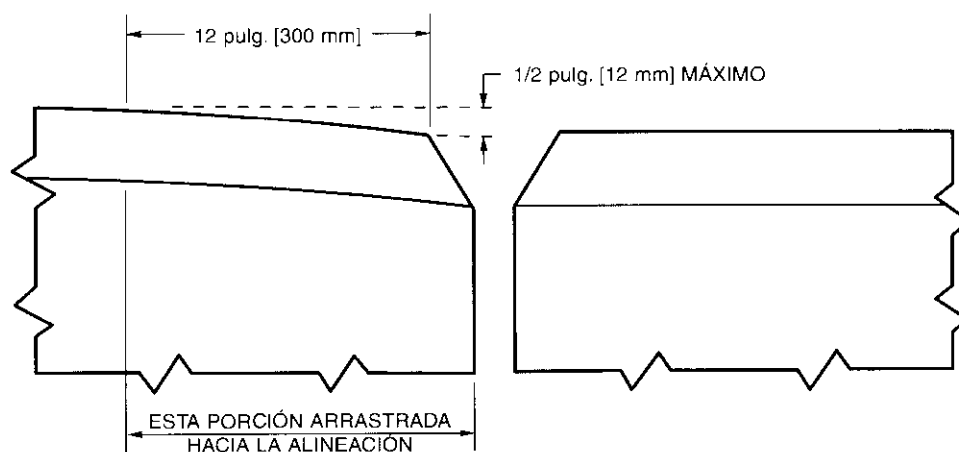


Figura C-5.3— Desplazamiento admisible en miembros colindantes (véase C-5.21.3)



Nota: Al corregir una desalineación que supere lo permitido, las partes no se deben colocar a una pendiente mayor que 1/2 pulg. [12 mm] en 12 pulg. [300 mm].

Figura C-5.4— Corrección de miembros desalineados (véase C-5.21.3)

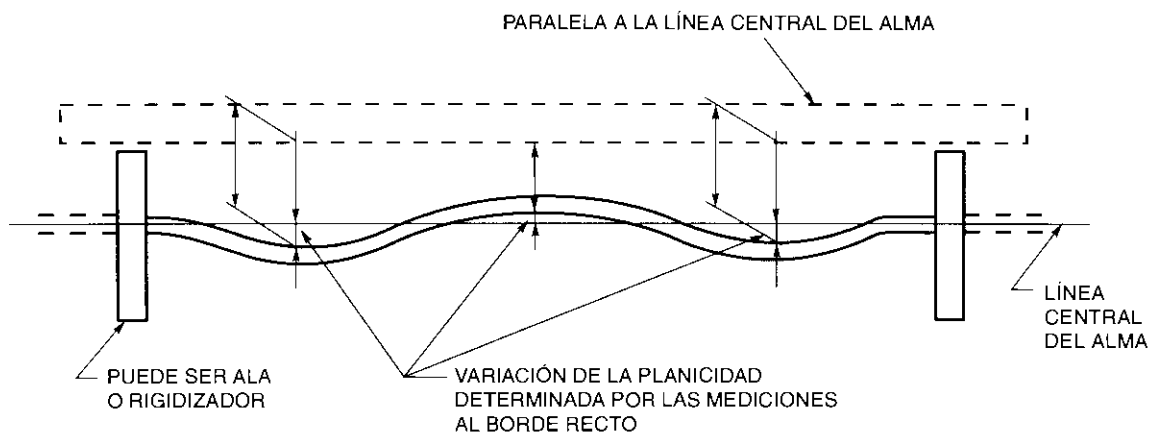
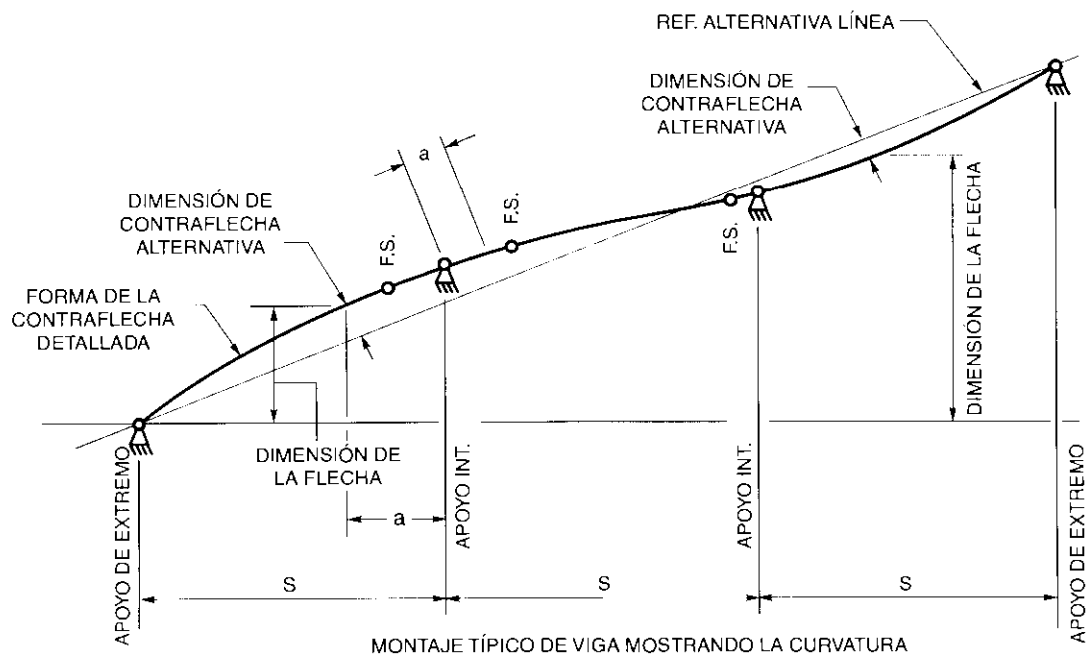
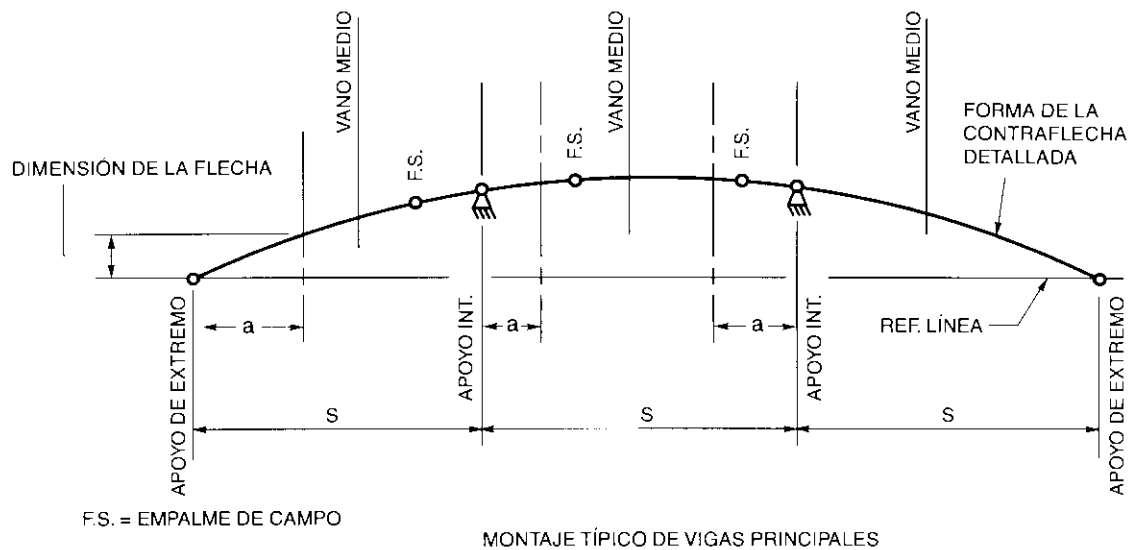


Figura C-5.5— Método típico para determinar las variaciones en la planicidad del alma de viga (véase C-5.22.6.1)



Nota: Una tolerancia positiva indica que el punto se encuentra por encima de la forma de contraflecha detallada. Una tolerancia negativa indica que el punto se encuentra por debajo de la forma de contraflecha detallada.

Figura C-5.6 — Ilustración que muestra los métodos de medición de contraflecha (véase C-5.22.4)

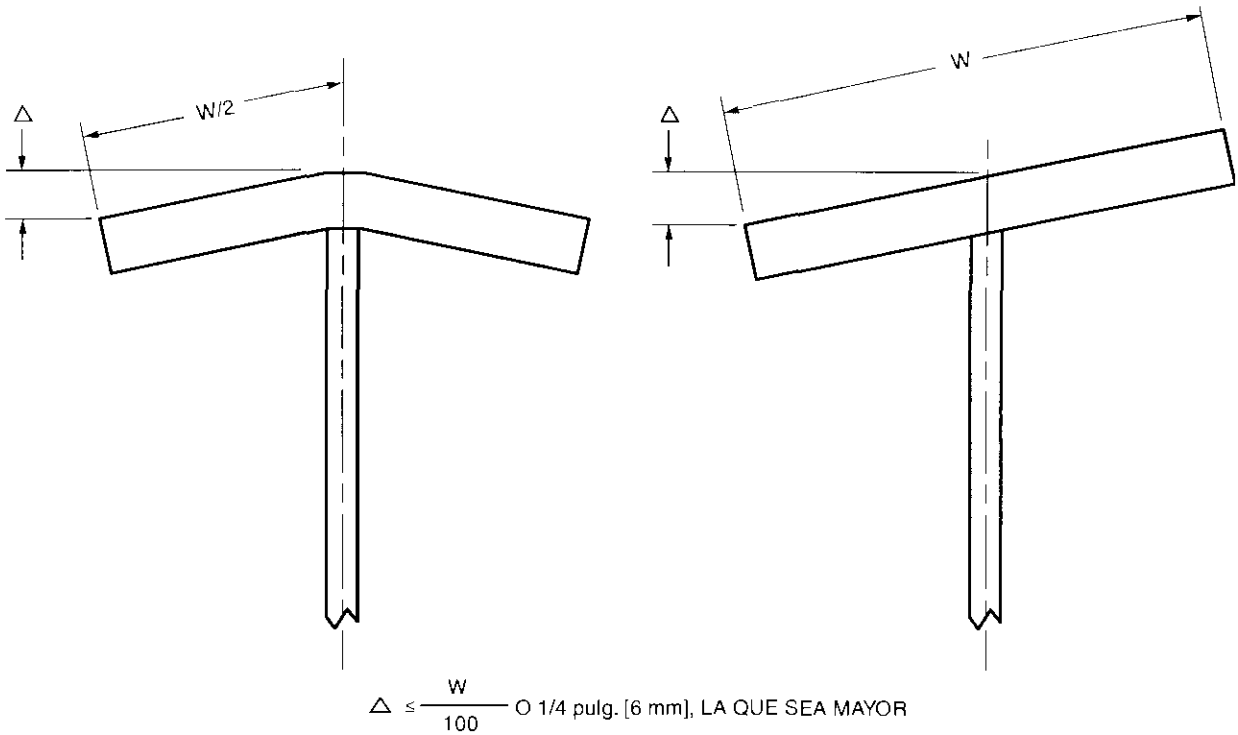


Figura C-5.7— Medición de alabeo e inclinación del ala (véase C-5.22.8)

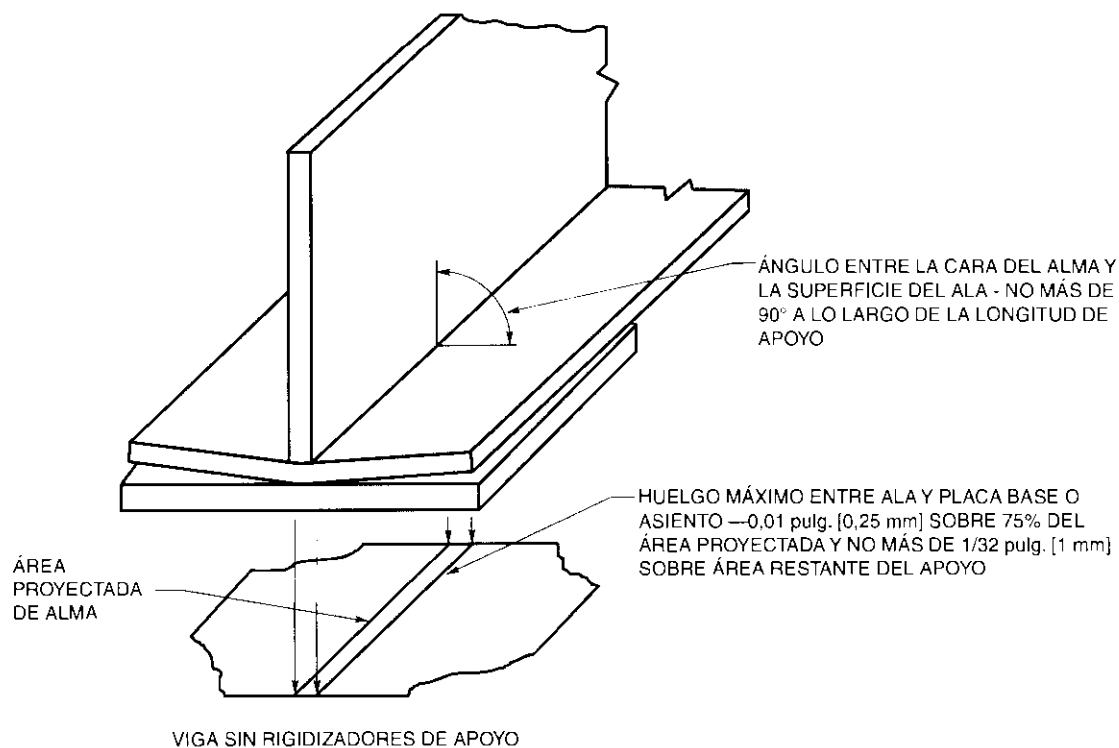
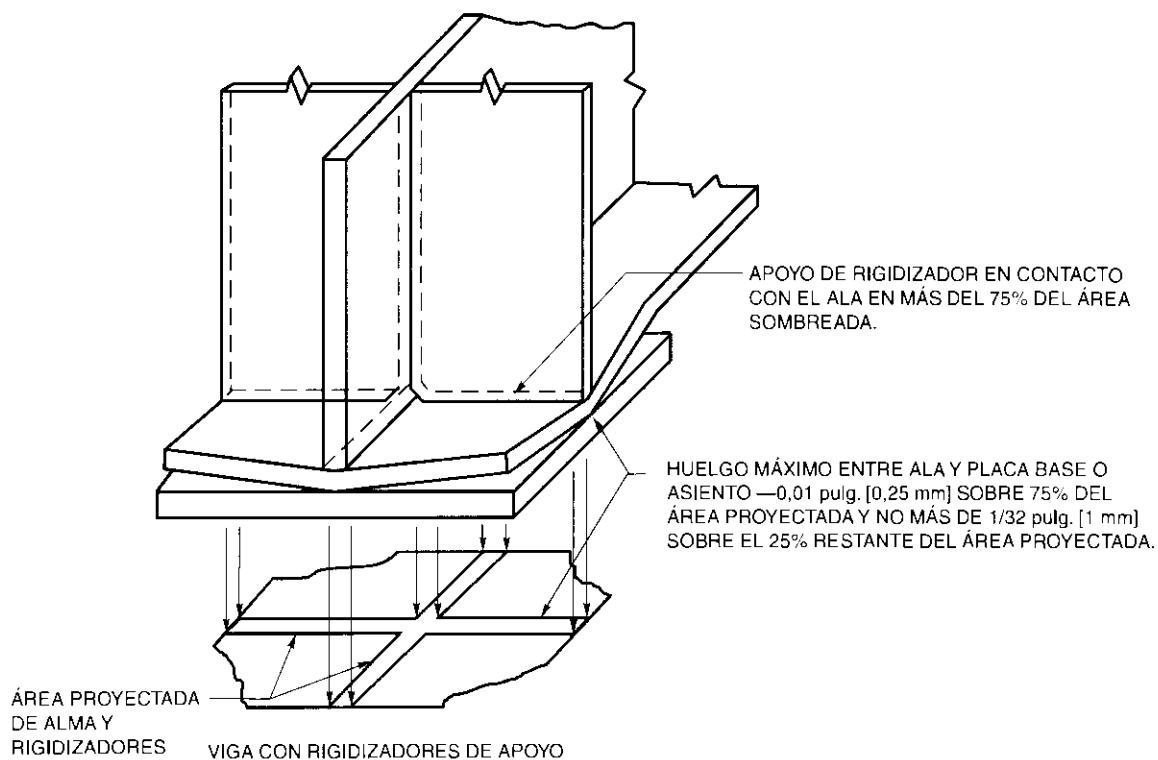


Figura C-5.8— Tolerancias en puntos de soporte (véase C-5.22.10)

C-6. Inspección

C-6.1 Alcance

Esta cláusula del código se destina a clarificar las responsabilidades específicas del Contratista, fabricante y montador en contraposición con el Propietario, etc.

Las disposiciones aclaran la premisa básica de las obligaciones contractuales en la prestación de productos y servicios. Quienes presenten ofertas competitivas o no participen en un contrato para proporcionar materiales y mano de obra para soldaduras estructurales de conformidad con lo dispuesto en el código, asumen la obligación de proveer productos según se especifica en los documentos del contrato y son completamente responsables de la calidad del producto.

En esta cláusula, el término *inspección de construcción /montaje* se separa de la inspección de verificación. En la primera versión de esta sección, estas funciones separadas se designaron como control de calidad y aseguramiento de calidad, respectivamente. Estos términos se sustituyeron por los términos más amplios ahora contenidos en el código para evitar la confusión con el uso de algunas industrias (por ejemplo, la de energía nuclear). Aseguramiento de calidad significa tareas y procedimientos de documentación específicos para algunos usuarios del código. Fue ventajoso el uso de términos más generales que ponen mayor énfasis en la inspección oportuna. Se debería planificar la inspección por parte del Propietario y debería realizarse de manera oportuna si se trata de mejorar la calidad de la construcción.

C-6.1.1 Información suministrada a los licitadores.

Es esencial que el Contratista sepa de antemano qué soldaduras están sujetas a NDT y qué procedimientos de ensayo se utilizarán. A menos que se disponga lo contrario en los documentos del contrato, los criterios de calidad para la aceptación de las soldaduras se indican en la Sección 6, Parte C y en la Sección 9, Parte F para tubulares. No es necesario redactar en los documentos del contrato exactamente qué soldaduras o cuáles porciones de soldaduras específicas se examinarán mediante un método de ensayo específico. Se puede especificar una descripción general de los requisitos de ensayo de soldadura (por ejemplo, "el 10% de la longitud de todas las soldaduras en filete se deberán inspeccionar mediante MT", o "Todas las soldaduras de junta a tope con CJP en bridas de tracción de las vigas principales se deben radiografiar").

Si la ubicación de las soldaduras de junta a tope con brida de tracción no es evidente, su ubicación se debe designar en los planos.

Cuando se especifica una verificación aleatoria (por ejemplo, el 10% de todas las soldaduras en filete), no se deberá interpretar que el Contratista debe ser notificado sobre cuáles serán las soldaduras o porciones de soldaduras específicas que se someterán a ensayo antes de realizar las soldaduras. Es una premisa básica de las especificaciones que si se hacen ensayos al azar o ensayos in situ, debería haber una cantidad suficiente de ensayos al azar para dar una indicación fiable de la calidad de la soldadura.

Existen diferentes criterios de aceptación para las estructuras cargadas estáticamente, las estructuras cargadas cíclicamente y las estructuras tubulares. La diferencia básica en cuanto a criterios de aceptación para cada una de estas estructuras se basa en la diferencia entre carga estática y carga de fatiga.

Cuando se anticipa un crecimiento de grietas por fatiga, los tamaños iniciales de las discontinuidad en la soldadura son más pequeños. Todos los criterios se establecen en un intento de impedir la falla de la soldadura durante la vida útil esperada de la soldadura.

C-6.1.2 Inspecciones y condiciones del contrato. En esta subsección se describe la responsabilidad del Contratista en relación con la inspección y los ensayos de la fabricación/montaje, que es básicamente la responsabilidad del control de calidad descrita en otros documentos del contrato. El Propietario tiene el derecho, pero generalmente no la responsabilidad, de proporcionar inspección independiente para verificar que el producto cumpla con los requisitos especificados. Esta función de aseguramiento de la calidad la puede realizar el Propietario o su representante de forma independiente o, cuando se dispone en el contrato, la inspección de verificación podrá omitirse o se podrá estipular que el Contratista realice la inspección y la verificación. Cuando se hace esto, el control de calidad y el aseguramiento de calidad se mantienen como funciones separadas. La inspección de verificación la debe realizar de forma independiente el personal cuya responsabilidad principal sea el aseguramiento de calidad y no la producción.

C-6.1.3 Definición de categorías de Inspector. En esta subsección se describe la diferencia entre el Inspector que representa al Propietario y el Inspector que representa al Contratista.

C-6.1.5 Responsabilidad del Inspector. En esta subsección se requiere que el Inspector verifique que toda la fabricación y el montaje mediante soldadura se lleven a cabo de conformidad con los requisitos de los documentos contractuales. Esto incluye no solo la soldadura, sino también materiales, ensamblaje, precalentamiento, NDT y todos los demás requisitos del código y las disposiciones de los documentos contractuales.

C-6.1.6 Elementos que se deben suministrar al Inspector. Los Inspectores necesitan un conjunto completo de planos aprobados para que puedan hacer su trabajo correctamente. Solo se les debe presentar las partes de los documentos del contrato que describen los requisitos de los productos que van a inspeccionar. Gran parte de los documentos del contrato abordan asuntos que no son responsabilidad del Inspector; no es necesario suministrar tales partes.

C-6.1.7 Notificación al Inspector. Si no se les notifica a los Inspectores con antelación sobre el comienzo de las operaciones, no podrán realizar adecuadamente las funciones requeridas por el código.

C-6.2 Inspección de materiales y equipos

Esta disposición del código es global. Requiere la inspección de materiales y la revisión de los informes de certificación de materiales, además de informes de ensayos en aceria. Es importante que este trabajo se realice de manera oportuna para que no se incorporen materiales inaceptables en el trabajo.

C-6.3 Inspección de la calificación de la WPS

Los requisitos de esta sección, incluido cualquier ensayo de calificación requerido por la Sección 4, se deben completar antes de comenzar a soldar en cualquier soldadura requerida por los documentos del contrato. La calificación siempre se debe realizar antes de iniciar el trabajo, pero no es necesario completar la totalidad de la calificación antes poder iniciar cualquier trabajo.

C-6.4 Inspección de las calificaciones del soldador, operario de soldadura y soldador de punteado

C-6.4.1 Determinación de la calificación. Es importante que el Inspector determine si todos los soldadores están calificados antes de comenzar a trabajar en el proyecto. Si se descubre después de haber comenzado la soldadura, la falta de documentación de calificación del

soldador puede causar serios retrasos en la aceptación de las soldaduras.

C-6.4.2 Repetición de ensayos sobre la base de la calidad del trabajo. Los ejemplos de métodos que el Inspector puede elegir para demostrar la capacidad para producir soldaduras en buen estado incluyen los siguientes:

- (1) entrevista con el soldador,
- (2) mayor inspección visual durante un periodo de tiempo limitado,
- (3) observación de la soldadura, o un ensayo simplificado de la soldadura desarrollado para evaluar el tema en cuestión,
- (4) recalificación de conformidad con la Sección 4 o la Sección 9 para tubulares.

C-6.4.3 Repetición de ensayos por vencimiento de la calificación. Si no se puede suministrar evidencia que demuestre que un soldador, operario de soldadura o soldador de punteado haya utilizado el proceso de soldadura en los últimos seis meses, tal persona no se considerará como calificada para soldar mediante ese proceso sin realizar nuevos ensayos de calificación. Debido a que los soldadores activos pueden mantener su certificación, siempre y cuando sigan haciendo un buen trabajo, es importante que los Inspectores evalúen regularmente la calidad de las soldaduras producidas por cada soldador, operario de soldadura y soldador de punteado.

C-6.5 Inspección de trabajos y registros

Excepto para la inspección visual final, que se requiere para cada soldadura, el Inspector debe revisar el trabajo a intervalos apropiados para asegurar que se cumplan los requisitos de las secciones aplicables del código. Dichas inspecciones deben llevarse a cabo en base al muestreo, antes del montaje, durante el montaje y durante la soldadura. El Inspector identifica la aceptación o rechazo final del trabajo, ya sea mediante marcas u otros métodos de registro. El método de identificación no debe ser destructivo para la soldadura. No se recomienda el estampado de las soldaduras ya que las marcas de estampado pueden formar sitios de inicio de agrietamiento.

C-6.5.4 Identificación de las inspecciones realizadas por el Inspector. Las marcas de estampado pueden formar sitios de inicio de agrietamiento.

C-6.6 Obligaciones del Contratista

C-6.6.1 Responsabilidades del Contratista. El Contratista realiza la inspección en la medida necesaria para asegurar la conformidad con el código, salvo lo dispuesto en 6.6.5.

Parte C

Criterios de aceptación

C-6.8 Aprobación del Ingeniero de criterios de aceptación alternativos

Los criterios previstos en la Sección 5, Fabricación, se basan en una opinión experta de lo que un soldador calificado puede lograr. Los criterios establecidos en la Sección 5 no se deben considerar como un límite de idoneidad para el servicio. El análisis de idoneidad para el servicio generaría criterios muy diversos de mano de obra no aptos para un código estándar. Además, en algunos casos, los criterios podrían ser más liberales de lo que se consideraría deseable en un soldador o lo que este pudiera producir. En general, el Ingeniero es el encargado de decidir cuáles son los criterios de aceptación de calidad adecuados y si una desviación genera o no un producto nocivo. Cuando se aprueban modificaciones, la evaluación de la idoneidad para el servicio mediante el uso de modernas técnicas de mecánica de fractura, un historial de servicio satisfactorio en estructuras similares, o la evidencia experimental se reconocen como una base adecuada para los criterios de aceptación alternativos para soldaduras.

C-Tablas 6.1 y 9.16, Punto 8—Porosidad vermicular. Las Tablas 6.1 y 9.16 contienen los criterios de aceptación visual para la porosidad vermicular que rompe la superficie, ya que se puede detectar visualmente y puede reducir significativamente las áreas transversales de la soldadura disponibles para resistir las cargas aplicadas. Existen otras formas de porosidad que rompe la superficie que no pueden reducir el área transversal tan significativamente (véase Anexo J para una definición de porosidad vermicular).

C-6.9 Inspección visual

Esta subsección dispone que la inspección visual de las soldaduras es obligatoria y contiene los criterios de aceptación para ello. Los requisitos de fabricación de la Sección 5 también están sujetos a la inspección visual. La profundidad admisible de socavación se revisó en la edición de 1980 del código para reflejar con mayor exactitud la reducción del porcentaje aceptable de área transversal para tres categorías de esfuerzo. Los valores de socavación se destinan a las estructuras y los miembros individuales que están, en esencia, cargados estáticamente.

Los valores de socavación para estructuras cargadas cíclicamente o estructuras tubulares (6.9 y 9.25) no se han cambiado y se deben especificar para estructuras y miembros individuales sujetos a una carga cíclica.

C-6.11 NDT

A excepción de lo requerido en 9.2.6.1, los requisitos de calidad de soldadura para el método NDT no forman parte del contrato a menos que se especifique el NDT en la información difundida a los licitadores o que posteriormente se haya incluido en el contrato. El Propietario y el Contratista deben prestar cuidadosa atención a las disposiciones de 6.6.5 y 6.14.1. Cuando se especifique el NDT, además de los requisitos de inspección visual, se aplican los criterios de aceptación de 6.11, 6.12 o 6.13. Los criterios de aceptación para aceros templados y revenidos ASTM A514, A517 y A709 Grado HPS 100W de alta resistencia se basan en la inspección, visual o NDT, realizada al menos 48 horas después de la finalización de la soldadura. Puesto que los aceros de alta resistencia, cuando se sueldan, y los metales de soldadura son susceptibles al agrietamiento retrasado causado por la fragilidad por hidrógeno, rotura por esfuerzo, etc., ha sido necesario imponer esta restricción de tiempo para asegurar que cualquier agrietamiento retrasado tenga una posibilidad razonable de ser descubierto durante la inspección.

C-6.12 RT

C-6.12.1 Criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas estáticamente. Véase Figuras C-6.7 y C-6.8.

C-6.12.2.1 Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente a tracción. Véase Figura C-6.9.

C-6.13 UT

C-6.13.1 Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas estáticamente. En las notas de la Tabla 6.2, las palabras clave que más a menudo se interpretan mal son "... de extremos de soldadura que porten esfuerzo de tracción primaria". Esta frase se refiere en general a los extremos de las soldaduras en ranura que están sometidos a cargas aplicadas de diseño de tracción que son normales para la garganta de soldadura. Cuando se utilizan columnas rectangulares con miembros de conexión de momento soldados a las placas superficiales exteriores y de diafragma soldadas en el interior para transferir el esfuerzo primario a través del elemento de la columna rectangular, los extremos de las soldaduras de momento de la placa a la columna rectangular están sujetos a la distancia 2L desde el extremo de la soldadura, pero las soldaduras sobre las placas de diafragma en el interior de la columna rectangular no están sometidas a esta restricción. Los extremos de soldadura de las placas de diafragma no llevan el esfuerzo de tracción primario puesto que este esfuerzo se transporta a través de la anchura de las placas adyacentes del miembro rectangular.

Se añadió la nota de la tabla 6.2 sobre los niveles de exploración puesto que la experiencia con las disposiciones de nivel de aceptación UT requeridas previamente por el código resultó en la aceptación de algunas bolsas de gas bastante grandes y porosidad vermicular que pueden ocurrir en soldaduras ESW y EGW. La forma de estos

defectos de gas, que son peculiares para soldaduras ESW y EGW, es tal que reflejan menos ultrasonido que las discontinuidades de soldadura habituales. Realizar ensayos a 6 dB con más sensibilidad que las amplitudes de ensayos estándar no garantizará una evaluación precisa de los defectos de gas en soldaduras ESW o EGW. Este tipo de discontinuidad se evalúa fácilmente mediante RT, que se recomienda si se observan indicaciones de discontinuidades de tuberías u otras discontinuidades de gases en los niveles de exploración.

C-6.13.2 Criterios de aceptación para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente. véase Sección C-6, Parte F. El código proporciona criterios de aceptación para soldaduras sometidas a esfuerzos de tracción que difieren de aquellas sometidas únicamente a esfuerzos de compresión. Se requiere que las soldaduras en ranura sometidas solamente a esfuerzos de compresión y que se indican en los planos de diseño o de taller se ajusten a los criterios de aceptación de la Tabla 6.2. Se requiere que las soldaduras en ranura sometidas a esfuerzos de tracción en cualquier condición de carga y soldaduras sometidas únicamente a esfuerzos de compresión, pero no específicamente designadas como tal en los planos de diseño o de taller, se ajusten a los criterios de aceptación de la Tabla 6.3, que son hasta 6 dB más altos que los de la Tabla 6.2.

Parte D ***Procedimientos NDT***

C-6.14 Procedimientos

Además de la inspección visual, que siempre es necesaria para cumplir con los requisitos del código, en el código se proporcionan cuatro métodos NDT: (1) RT, (2) UT, (3) MT y (4) PT.

RT y UT se utilizan para detectar discontinuidades de superficie e internas. MT se utiliza para detectar discontinuidades en la superficie y cerca de la superficie. PT se utiliza para detectar discontinuidades abiertas a la superficie. Otros métodos NDT se pueden utilizar previo acuerdo entre Propietario y Contratista.

C-6.14.6 Calificación del personal. Además de los técnicos de Nivel II, el personal de Nivel III también puede realizar ensayos NDT siempre que cumpla con los requisitos de NDT Nivel II. Los Ingenieros y técnicos en NDT de Nivel III son en general los supervisores y no pueden participar activamente en el trabajo real del ensayo. Puesto que no hay un ensayo de calificación de desempeño para las personas calificadas para NDT Nivel III, todas las personas que presten servicios de ensayos en virtud del código están obligadas a recibir calificación para el Nivel II, que tiene requisitos específicos de calificación.

C-6.15 Alcance de los ensayos

Es importante que las juntas que se deban examinar de forma no destructiva se describan con claridad en la información facilitada a los licitadores como se explica en la parte A del presente Comentario.

Parte E ***Prueba radiográfica***

C-6.16 RT de soldaduras en ranura en juntas a tope

C-6.16.1 Procedimientos y normas (RT). Los procedimientos y las normas establecidos en esta sección están diseñados principalmente para las soldaduras en ranura con CJP en estructuras cargadas cíclicamente y estructuras cargadas estáticamente. Las geometrías típicas para conexiones estructurales y los requisitos de diseño para dichas estructuras se tomaron en cuenta en la preparación de la especificación. Se hizo un esfuerzo para incorporar la metodología de la ASTM y para utilizar los procedimientos descritos en el *Código de calderas y recipientes a presión ASME* siempre que sea posible.

C-6.17 Procedimiento de RT

Se especifica una única fuente de radiación de inspección para evitar la confusión o borrosidad de la imagen radiográfica. En otras partes del código, se establecen límites en el tamaño de la fuente para delimitar la falta de nitidez geométrica. La sensibilidad RT se evalúa únicamente en la calidad de las imágenes IQI, como en ASTM y ASME.

C-6.17.3 Eliminación del refuerzo. Cuando el Propietario desea que las superficies de soldadura sean esmeriladas al ras o se alisen de otro modo en preparación para la RT, debe constar en los documentos del contrato. El Propietario y el Contratista deberán intentar llegar a un acuerdo de antemano sobre qué irregularidades de la superficie de la soldadura no se van a esmerilar al ras a menos que las irregularidades de la superficie interfieran con la interpretación de la radiografía. Es extremadamente difícil y a menudo imposible separar las discontinuidades internas de las discontinuidades superficiales en la revisión de las radiografías ante la ausencia de información que describa la superficie de soldadura. Cuando se alcance un acuerdo sobre la preparación de superficies de soldadura antes de la RT, en general, se reducirán los rechazos y demoras.

C-6.17.3.1 Lengüetas. Las lengüetas de soldadura se eliminan generalmente antes de la RT de modo que la radiografía representará la soldadura como fue terminada y puesta en servicio. En la soldadura se encuentran comúnmente grietas de contracción en la interfaz entre las lengüetas de soldadura y el borde de la placa o del perfil unido por la soldadura. Estas grietas son difíciles de identificar en la radiografía en las mejores condiciones. Se considera necesario retirar las lengüetas de soldadura

antes de intentar radiografiar los límites de la junta soldada (véase también C-6.17.13).

C-6.17.3.3 Refuerzo. Cuando el refuerzo de la soldadura, o el respaldo, o ambos no se eliminan, se requieren cuñas colocadas bajo los IQI para que la imagen del IQI se pueda evaluar en el espesor total promedio del acero (metal de soldadura, de respaldo, de refuerzo) expuesta a la radiación de inspección.

C-6.17.4 Película radiográfica. Las disposiciones de esta sección se destinan a proporcionar la película de grano fino y a evitar la aspereza de la imagen que puede resultar del uso de pantallas fluorescentes.

C-6.17.5 Técnica. La fuente de radiación se centra con respecto a la parte de la soldadura que se está examinado para evitar la distorsión geométrica en la medida de lo posible.

C-6.17.5.1 Falta de nitidez geométrica. Esta subsección se proporciona para limitar la falta de nitidez geométrica, que provoca la distorsión y borrosidad de la imagen radiográfica.

C-6.17.5.2, C-6.17.5.3 Distancia de la fuente a objeto y limitaciones. Estas secciones están destinadas a limitar la distorsión geométrica del objeto como se muestra en la radiografía. Se hace una excepción para las exposiciones panorámicas en estructuras tubulares, que están cubiertas por la sección 9.29 del código.

C-6.17.6 Fuentes. En esta subsección se pretende que las unidades de rayos X, 600 kVp máximo, y las fuentes de iridio 192 se puedan utilizar por todas las RT, siempre que tengan la capacidad de penetración adecuada y puedan producir sensibilidad radiográfica aceptable en base a la imagen del IQI según lo dispuesto en 6.17.7 y 9.28.2. Puesto que el cobalto 60 produce un contraste radiográfico pobre en materiales de espesor limitado, no está aprobado como una fuente radiográfica cuando el espesor del acero que se está radiografiado es igual a, o menor que, 2-1/2 pulg. [65 mm]. Cuando el espesor del acero que se está radiografiado excede de 2-1/2 pulg. [65 mm], se prefiere a menudo el cobalto 60 por su capacidad de penetración. Se debe tener cuidado para asegurar que el tamaño efectivo de la fuente radiográfica sea lo suficientemente pequeño como para evitar una falta de nitidez geométrica excesiva.

C-6.17.7 Selección y colocación de IQI. Dado que la sensibilidad radiológica y la aceptabilidad de las radiografías se basan en la imagen de los IQI requeridos, se presta especial atención en la descripción de la fabricación y en el uso de los IQI requeridos. Los IQI se colocan en los extremos de las juntas de soldadura donde se anticipa que la distorsión geométrica puede contribuir a la falta de sensibilidad en la radiografía, tal y como se muestra en las Figuras 6.6-6.9.

Los IQI solo se podrán colocar en el lateral de la fuente, a menos que el Ingeniero apruebe lo contrario. No colocar los IQI en el lado de el lateral de la fuente durante la exposición radiográfica, sin la aprobación previa del Ingeniero, constituirá un motivo de rechazo para las radiografías.

C-6.17.8.3 Retrodispersión. La retrodispersión de la radiación puede causar empañamiento general y producir

artefactos en la radiografía. El método descrito en esta sección identificará la radiación retrodispersada de manera que se puedan tomar medidas correctivas.

C-6.17.11.1 Densidad H y D. Esta especificación dispone del uso de películas radiográficas dentro de los límites completos de la densidad útil de la película. Se realiza un esfuerzo en este código para evitar la necesidad de hacer múltiples exposiciones o usar películas de más de una velocidad de exposición al examinar las juntas soldadas de forma rutinaria, que se esperan encontrar en las estructuras cargadas cíclicamente y estructuras cargadas estáticamente.

C-6.17.11.2 Transiciones. Se espera que las transiciones de soldadura de espesores previstos en la presente subsección sean graduales con una pendiente máxima de 1 en 2-1/2 como se muestra en la Figura 2.2.

C-6.17.12 Marcas de identificación. En esta subsección se describe toda la información necesaria para identificar la radiografía y también proporciona métodos para la hacer concordar la radiografía con la junta de soldadura, de manera que se puedan realizar reparaciones de soldadura, cuando sea necesario, sin excavaciones repetitivas o innecesariamente grandes.

C-6.17.13 Bloques de borde. Las juntas a tope soldadas ala a ala que se unen a segmentos gruesos de alas en las vigas y vigas principales son particularmente difíciles de radiografiar debido a la distorsión geométrica y a la socavación de la radiación dispersa en los extremos de la soldadura que representan los bordes del ala. Los defectos de soldadura en estos lugares críticos están limitados en virtud de lo dispuesto en 6.12.

En las soldaduras con más de 1/2 pulg. [12 mm] de espesor, mediante el uso de agujeros perforados e indicadores de plomo cerca del borde superior de un conjunto soldado, se demostró que una parte sustancial de este borde quedaba sobreexpuesto y no se podía mostrar, lo que condujo a la posibilidad de que los defectos no se mostraran. Mediante el uso de bloques de borde y una alineación de fuente estándar, los indicadores de plomo y agujeros perforados pueden aparecer en una radiografía en el borde de la placa.

C-6.18 Evaluación, informe y disposición de las radiografías

C-6.18.1 Equipo proporcionado por el Contratista. Se requiere un iluminador adecuado de intensidad variable, con capacidad de revisión de punteado o revisión de puntos enmascarada, puesto que es posible véase la película con más precisión cuando los ojos de los espectadores no están sometidos a la luz de las porciones de la radiografía que no se están examinando. La posibilidad de ajustar la intensidad de la luz reduce la incomodidad ocular y mejora la visibilidad de las discontinuidades de película. La luz tenue en el área de visualización le permite a los ojos del revisor ajustarse de manera que se puedan véase las pequeñas discontinuidades en la imagen radiográfica. La revisión de la película en completa oscuridad no es aconsejable debido a que el contraste entre la oscuridad y la luz intensa a partir de porciones de la radiografía con baja densidad

causan molestias y pérdida de precisión. En general, dentro de los límites de densidad aprobados por el código, cuanto mayor sea la densidad de la película, mayor será la sensibilidad radiográfica.

C-6.18.3 Informes y retención. El término *conjunto completo de radiografías*, tal y como se utiliza en 6.18.3, significa una radiografía de calidad aceptable de cada exposición radiográfica requerida para la RT completa. Si los Contratistas eligen cargar más de una película en cada casete para producir una radiografía adicional para su propio uso o para evitar posibles retrasos, las exposiciones adicionales debido a artefactos en la película, o ambos, y las radiografías adicionales, a menos que se especifique lo contrario, son propiedad del Contratista.

Parte F

UT de soldaduras en ranura

C-6.19 Generalidades

C-6.19.1 UT Procedimientos y normas. Las disposiciones UT se escriben como un método preciso y directo para someter las soldaduras a ensayo. Estas disposiciones se diseñaron para asegurar la reproducibilidad de los resultados de los ensayos al examinar reflectores específicos. La mayoría de las soldaduras en ranura se pueden someter a ensayo adecuadamente por medio de lo dispuesto en la Sección 6, Parte F.

Las disposiciones para UT de soldaduras en conexiones tubulares en T-, Y-, y K- se pueden encontrar en 9.27.1 y 9.30. No se han incluido procedimientos detallados en esta sección del código debido a la compleja geometría asociada con estas soldaduras. Los procedimientos UT para estas juntas soldadas deben ser aprobados por el Ingeniero y el Contratista.

Los UT de soldaduras en filete no se incluyeron en el código debido a la incapacidad para formular un procedimiento simple que genere resultados satisfactorios. Se puede obtener considerable información sobre la ubicación de una discontinuidad en una soldadura en filete, así como también sobre su tamaño y orientación, al utilizar técnicas especiales. La complejidad y las limitaciones de UT incrementan a medida que disminuye el tamaño de la soldadura en filete. Los tamaños de las soldaduras en filete inferiores a 3/4 pulg. [20 mm] por lo general requieren el uso de unidades de búsqueda en miniatura para una evaluación completa. La frecuencia de las unidades de búsqueda en miniatura debe ser mayor que la frecuencia nominal de 2,25 MHz que normalmente se requiere, con el fin de controlar la divergencia del haz de sonido. Este cambio de frecuencia también afectaría a el factor de atenuación de 2 decibelios por pulgada [25 mm] utilizado para la evaluación de indicación. Las variaciones de las disposiciones del código para UT pueden ser aceptables según el acuerdo con el Ingeniero. Se recomienda que los detalles de dichos acuerdos se establezcan por escrito de manera que todas las partes sepan cómo se deben inspeccionar las soldaduras.

C-6.19.2 Variaciones. La UT a través de capas de pintura en superficies pintadas ha cambiado para convertirse en una variable esencial que requiere la aprobación del Ingeniero. Aunque el código prohíbe la UT de rutina a través de capas de pintura, no significa necesariamente que un recubrimiento uniforme de pintura aceptable y parejo interfiera con la aplicación del procedimiento UT. Cuando la pintura está presente, se debe medir y notificar.

Durante la fabricación rutinaria de acero estructural, todas las soldaduras se deben inspeccionar y aceptar antes de pintarlas. Cuando se trata de superficies pintadas la mayoría de los ensayos se realizan en los miembros que han estado en servicio, y se debe considerar la condición de la superficie de ensayo antes de realizar los ensayos de rutina.

C-6.19.3 Porosidad vermicular. La naturaleza general de la porosidad vermicular en soldaduras ESW y EGW es normalmente tal que los agujeros en la parte central de la soldadura pueden estar enmascarados por otros agujeros circundantes. Las ramas o túneles de porosidad vermicular tienen una tendencia a desplazarse hacia los bordes de la perla de soldadura. Las UT solo pueden evaluar de manera efectiva el primer reflector principal interceptado por la trayectoria del sonido. Algunas discontinuidades pueden estar enmascarados de esta manera; esto es válido para todas las UT.

Las RT se deben utilizar para evaluar la sospecha de porosidad vermicular en soldaduras ESW y EGW utilizadas en la construcción de edificios (véase Nota 4 de la Tabla 6.2). No se hace mención a las RT adicionales con referencia a los ensayos de soldaduras ESW y EGW en la Tabla 6.3, ya que estos procesos no están actualmente aceptados para soldaduras de tracción. La UT de las soldaduras de ESW y EGW en los niveles más altos de exploración darán respuestas intermitentes de porosidad vermicular. Esto indica que las RT se deben utilizar como se describe anteriormente.

La técnica de emisión y recepción para evaluar la fusión incompleta mediante UT en soldaduras ESW y EGW está destinada a ser utilizada solo como un ensayo secundario a ser realizado en un área a lo largo de la cara de ranura original en la mitad central del espesor de la placa. Este ensayo se especifica para evaluar además una indicación UT en esta área que aparece en la pantalla al nivel de exploración, pero es aceptable por la calificación de indicación. La respuesta de amplitud de emisión y recepción que se espera de un reflector de este tipo es muy alta, por lo que es innecesario el uso de niveles de aceptación de amplitud aplicables. Sin embargo, dado que no se proporciona ninguna alternativa, se deben utilizar las calificaciones de decibel. Puesto que se está evaluando solamente una ubicación específica, se puede realizar el posicionamiento predeterminado de la sonda. Los accesorios de retención de la sonda son de gran ayuda en esta operación.

El uso de la sonda de 70° en la aplicación principal es adecuado en los ensayos de las superficies de fusión de soldaduras ESW y EGW con materiales con 2-1/2 pulg. [65 mm] y menos de espesor porque los niveles de aceptación son tales que se puede esperar una evaluación adecuada.

6.21 Equipo UT

Se establecen normas para asegurar un rendimiento mecánico y eléctrico adecuado de los detectores de discontinuidad UT cuando se utilizan en conformidad con los requisitos del código.

Las subsecciones 6.21.1 a 6.21.5 cubren las características específicas de los equipos que se deben considerar para la calificación de los equipos; 6.22.1 cubre los estándares de referencia; 6.23.1 a 6.23.4 cubren los requisitos de intervalo de tiempo y las referencias al 6.27 Uso del bloque de referencia aplicable y 6.28 presenta procedimientos detallados de calificación. Ejemplos de estas aplicaciones se incluyen en el Anexo L, Formulario L-8.

C-6.21.6 Unidad de búsqueda de haz recto (onda longitudinal). Las limitaciones de tamaño de las áreas activas de los transductores de haz recto no se han modificado; sin embargo, los tamaños se han indicado como en 1/2 pulg.² [160 mm²] y 1 pulg.² [645 mm²] se ha mal interpretado como 1/2 pulg. [12.7 mm] al cuadrado y 1 pulg. [25.4 mm] al cuadrado en lugar de 1/2 pulg. cuadrada y 1 pulg. cuadrada, respectivamente.

Ahora, estos requisitos de áreas activas se indican para eliminar la confusión.

C-6.21.7.2 Dimensiones del transductor. Las Tablas 6.2 y 6.3 de la Sección 6 se desarrollaron dentro de un rango limitado de parámetros. Las modificaciones de los parámetros de equipos o procedimientos de la Sección 6 pueden dar lugar a resultados de ensayo significativamente diferentes de los previstos. Se le advierte a los usuarios que cualquier cambio en los parámetros de ensayo (por ejemplo, tamaños de transductores, ángulos, perfiles, frecuencias, la calibración de equipos, etc.) puede invalidar la aplicabilidad de las Tablas 6.2 y 6.3. La aprobación del Ingeniero para las modificaciones en el equipo o los procedimientos de ensayo solo debe concederse cuando se hayan establecido los efectos de esos cambios en los criterios de aceptación.

C-6.22 Normas de referencia

C-6.22.1 Norma IIW. El código ya no requiere el bloque de referencia tipo 1 IIW UT. Se puede utilizar cualquier bloque "tipo" IIW.

La norma que se muestra en la Figura 6.13 se conoce comúnmente en los EE. UU. como un bloque de referencia tipo IIW. IIW es un acrónimo para el Instituto Internacional de Soldadura. Se conoce como un bloque de referencia "tipo" IIW, ya que fue modelado según el bloque IIW "verdadero", pero no se ajusta a los requisitos del IIW en IIS/IIW-23-59. Los bloques IIW "verdaderos" solo se fabrican de acero (para ser más precisos acero calmado, de chimenea abierta, o de horno eléctrico con bajo contenido de carbono en estado normalizado con un tamaño de grano de McQuaid-Ehn N.º 8) cuando los bloques "tipo" IIW se puedan obtener comercialmente en una selección de materiales. Las dimensiones de los bloques IIW "verdaderos" se expresan en unidades métricas, mientras que las de los bloques "tipo" IIW por lo general se expresan en el sistema de unidades de medición norteamericano.

Los bloques "tipo" IIW también pueden incluir funciones de calibración y referencias adicionales, como entallas, ranuras circulares y escalas, que no estén especificados por IIW.

C-Figura 6.13 Todas las notas que aparecen aquí pertenecen a todos los bloques de referencia, en la Figura 6.13 y el Anexo G.

C-6.22.2 Reflectores prohibidos. El código prohíbe el uso de esquinas en escuadra para fines de calibración, debido a la imposibilidad de adquirir la normalización de amplitud a partir de diversas esquinas que se denominan "en escuadra". Los factores que pueden afectar a la normalización de amplitud son el tamaño del filete o bisel en la esquina, si corresponde; la magnitud del descuadre de la esquina (variación con respecto a 90°); y el acabado de la superficie del material. Cuando se utiliza una sonda de 60°, es muy difícil identificar la indicación de la esquina debido a las conversiones en modo de onda de alta amplitud que se producen en la esquina.

C-6.23 Calificación del equipo

C-6.23.1 Linealidad horizontal. El uso de la norma ASTM E317 para la calificación la linealidad horizontal se ha eliminado, y en el punto 6.28.1 se detalla paso a paso el procedimiento que se usa para la certificación.

C-6.23.2 Control de ganancia. Es necesario tener precaución cuando se aplican métodos alternativos para la certificación de la linealidad vertical. Las maneras normales para traducir las proporciones de voltaje en graduaciones dB generalmente no se pueden utilizar debido a problemas de carga del potenciómetro y de capacitancia creados por la transferencia de corriente de alta frecuencia. También es necesario un alto grado de blindaje en todo el cableado.

6.23.4 Calibración de unidades de búsqueda de haz angular. Dado que las superficies de contacto de las unidades de búsqueda se desgastan y causan pérdida de precisión de indicación de la ubicación, el código requiere verificar la precisión de la unidad de búsqueda después de un máximo de ocho horas de uso. La responsabilidad de verificar la precisión de la unidad de búsqueda después de este intervalo de tiempo recae sobre la persona que realiza el trabajo.

C-6.24 Calibración para ensayos

C-6.24.4.1 Barrido. Se deben mostrar las indicaciones de al menos dos espesores de placa para asegurar la calibración correcta de la distancia, puesto que la ubicación del pulso inicial puede ser incorrecta debido a un retardo de tiempo entre la cara del cristal del transductor y la cara de la unidad de búsqueda.

C-6.24.5.1 Barrido horizontal. También se deben utilizar al menos dos indicaciones distintas del pulso inicial para esta calibración de la distancia debido al retardo de tiempo incorporado entre la cara del transductor y la cara de la unidad de búsqueda.

NOTA 1: La ubicación del pulso inicial estará siempre a la izquierda del punto cero en la pantalla.

NOTA 2: Se debe tener precaución para asegurar que el pulso en el lado izquierdo de la pantalla sea el pulso inicial y no uno de un reflector de referencia. (Extraiga la unidad de búsqueda de la pieza de trabajo para verificar).

Se ha añadido una nota al final de esta subsección para asegurar la duplicación de los datos de ubicación.

C-6.25 Procedimientos de ensayo

C-6.25.4 Acopladores. Se reconoce que los acopladores, diferentes de los requeridos específicamente en el código, pueden funcionar igual o mejor para algunas aplicaciones. Está más allá del alcance del código enumerar todos los fluidos y grasas que podrían considerarse como materiales aceptables para acopladores. Cualquier material de acoplador, distinto de los indicados en el código, que haya demostrado su capacidad de cumplir con los requisitos del código, se puede utilizar en la inspección con la aprobación del Ingeniero y el operador UT.

Se deben realizar ensayos para determinar si hay una diferencia en las respuestas del reflector de referencia, debido a las diferencias entre el acoplador utilizado para la calibración en comparación con el acoplador utilizado en los ensayos reales. Cualquier diferencia medible se debe tener en cuenta en la evaluación de la discontinuidad.

véase Anexo L, Formulario L-11 para una muestra del formulario de informe UT.

C-6.25.5 Alcance de los ensayos. No se pretende que la disposición para buscar el metal base para reflectores laminares constituya una verificación de la aceptabilidad del metal base, sino más bien se utiliza para determinar la capacidad del metal base para aceptar procedimientos UT especificados.

C-6.25.5.1 Tamaño del reflector. Un procedimiento para la evaluación del tamaño laminar se incluye ahora en 6.29.1.

C-6.25.5.2 Inaccesibilidad. En esta subsección, el requisito de esmerilar la superficie de soldadura o el acabado al ras de las superficies es necesario solo para obtener accesibilidad geométrica para un procedimiento UT alternativo cuando las discontinuidades laminares en el metal base eviten que se puedan realizar ensayos mediante un procedimiento estándar. Los documentos del contrato pueden requerir esmerilado al ras de las soldaduras en ranura por tracción para mejorar el rendimiento de fatiga y facilitar RT y UT más precisas.

C-Tabla 6.7 Se estableció el esquema del procedimiento sobre la base de que un ángulo de unidad de búsqueda de 70° detectará mejor y evaluará con mayor precisión las discontinuidades, si se tiene una mayor dimensión orientada normal o casi normal a los esfuerzos de tracción residuales y aplicados combinados (más perjudicial para la integridad de la soldadura). Debe suponerse que todas las discontinuidades podrían estar orientadas en esta dirección, y la sonda de 70° debe utili-

zarse siempre que sea posible. Para obtener mejores resultados, se ha establecido una trayectoria de sonido de 10 pulg. [250 mm] como un máximo de rutina. Sin embargo, existen algunos tamaños y configuraciones de junta que requieren trayectorias de sonido más largas para inspeccionar la soldadura completamente.

Los procedimientos de ensayo 6, 8, 9, 12, 14 y 15 en la leyenda de procedimiento de la Tabla 6.7, identificados por la designación GA del cuarto superior o la denominación del GB del cuarto inferior, requieren una evaluación de discontinuidades directamente debajo de la unidad de búsqueda. Se pueden obtener resultados más exactos sometiendo estas soldaduras grandes a ensayos en ambas caras, A y B, como también se prevé en esta tabla.

El gráfico de procedimiento fue desarrollado teniendo en cuenta los factores antes mencionados. La razón de los requisitos de alto nivel de exigencia del código con respecto a la aplicación de la unidad de búsqueda (frecuencia, tamaño, ángulo) es para mantener la mejor condición posible para la reproducibilidad de los resultados. El código pretende que las soldaduras se puedan examinar utilizando los ángulos de unidad de búsqueda y caras de soldadura especificados en la Tabla 6.7. El uso de otros ángulos o caras de soldadura puede dar lugar a un examen más crítico que el establecido por el código.

Las sondas de 60° con leyenda "P" están prohibidas para la evaluación cuando se utiliza el método de ensayo de emisión y recepción debido a la alta pérdida de energía que se puede generar por la conversión del modo de onda.

C-6.25.6 Ensayos de soldaduras. Cuando las Tablas 6.2 y 6.3 lo requieran, según sea aplicable, la sensibilidad para la exploración se puede incrementar al menos cuatro decibelios por encima del máximo nivel de rechazo en la máxima trayectoria del sonido de ensayo. Este aumento de la sensibilidad asegura que las discontinuidades inaceptables no se pasen por alto durante la exploración. La exploración en los niveles superiores de decibelios requeridos por las Tablas 6.2 y 6.3 puede requerir técnicas de exploración específicas que difieren de las técnicas que se utilizan cuando se somete a ensayo un nivel menor de decibelios. Es importante tener en cuenta que el nivel de exploración se determina mediante la distancia de la trayectoria del sonido y no mediante el espesor del material. Por ejemplo, supongamos que se realizan pruebas ultrasónicas sobre una junta de soldadura gruesa de 2 pulg. [50 mm] en una conexión no tubular cargada cíclicamente (Tabla 6.3). Mediante el procedimiento 4 de la Tabla 6.7, la soldadura se divide en tres áreas de ensayo independientes. Estas áreas están conformadas por el cuarto superior, la mitad central, y el cuarto inferior del espesor de la soldadura. La distancia de la trayectoria de sonido para el cuarto superior sería de 7 a 8 pulg. [180 mm a 200 mm] (ensayos en la pierna 2 mediante un transductor 60), la distancia de la trayectoria de sonido para la mitad central sería de 1-1/2 a 4-3/8 pulg. [38 mm a 111 mm], y la distancia de la trayectoria de sonido para el cuarto inferior sería 4-3/8 a 5-7/8 pulg. [111 mm a 150 mm]. Los niveles de exploración, según lo determinado por la Tabla 6.3, son de 35 dB para el cuarto superior, 25 dB para la mitad central y 35 dB para el cuarto inferior. Con el fin de minimizar los problemas asociados con la exploración a altos niveles de decibelios, a menudo es necesario llevar a cabo la prueba en varios pasos, explo-

rando cada una de las tres áreas (cuarto superior, mitad central y cuarto inferior) como actividades separadas utilizando el nivel de exploración aplicable a la trayectoria del sonido requerida para cada uno. No utilizar el nivel de exploración requerido puede dar lugar a la aceptación indebida de defectos graves.

C-6.25.6.4 Factor de atenuación. El índice de atenuación de 2 decibelios por pulgada [2 dB por 25 mm] de la trayectoria de sonido, con exclusión de la primera pulgada [25 mm], se establece para proporcionar la combinación de dos factores: la ley del cuadrado de la distancia y la atenuación (absorción) de la energía sonora en el material de ensayo. La trayectoria del sonido utilizada es la dimensión mostrada en la pantalla. El redondeo del número al decibelio más próximo se logra mediante el mantenimiento de valores fraccionarios o decimales en todo el cálculo, y en el último paso, avanzando hacia el valor entero de decibelios más próximo cuando se calculan los valores de medio decibelio o más, o eliminando la parte de decibelios menores que un medio.

C-6.25.7 Longitud de las discontinuidades. El descenso requerido de seis decibelios en la energía sonora se puede determinar mediante la adición de seis decibelios de ganancia al nivel de indicación con el control de ganancia calibrado y luego volver a explorar la zona de soldadura hasta que la amplitud de la indicación de discontinuidad descienda de nuevo a la línea de referencia.

Al evaluar la longitud de una discontinuidad que no tiene igual reflectividad en toda su longitud, su evaluación de longitud se podría interpretar mal. Cuando se obtiene una variación de seis decibelios de la amplitud mediante el movimiento de la sonda y la calificación de indicación es mayor que la de un reflector más pequeño, el operador debe registrar cada porción de la discontinuidad que varíe en ± 6 dB como una discontinuidad separada para determinar si es aceptable bajo el código en base a la longitud, la ubicación y el espaciado.

C-6.25.8 Bases para la aceptación o rechazo. En los procedimientos especificados para UT, el nivel de referencia cero para la evaluación de la discontinuidad es la indicación máxima reflejada desde un orificio de diámetro de 0,06 pulgadas [1,5 mm] en el bloque de referencia ultrasónica IIW. Cuando se realiza el ensayo real de las soldaduras, los niveles mínimos aceptables se dan en decibelios para varios espesores de soldadura. En general, cuanto mayor sea la calificación de indicación o nivel de aceptación, menor será el área transversal de la discontinuidad normal al esfuerzo aplicado en la soldadura.

Las calificaciones de indicación de hasta 6 dB más sensibles que lo inaceptable se deben registrar en el informe de ensayo para soldaduras designadas como "críticas a la fractura" para que si se realizan ensayos futuros, se pueda determinar si hay un crecimiento de la discontinuidad.

C-6.25.12 Respaldo de acero. El respaldo de acero es considerado por muchos operadores de UT como un obstáculo para una UT efectiva de las soldaduras en ranura debido a las indicaciones falsas que resultan en la pantalla. Sin embargo, el operador de UT puede utilizar la reflexión desde el respaldo de acero como una

confirmación de que las ondas de ultrasonido están penetrando a través de toda la sección transversal de la zona de la raíz de la soldadura. La presencia de la indicación de respaldo de acero y la ausencia de cualquier otra huella en la pantalla de la UT es evidencia de una soldadura libre de discontinuidades. También demuestra que la zona de soldadura, por la que se está haciendo pasar la onda de sonido, está libre de las discontinuidades que podrían interrumpir la trayectoria normal de las ondas sonoras. La onda de sonido se puede interrumpir mediante atenuación, reflexión o refracción con el fin de impedir el retorno de la onda sonora al transductor, lo cual puede resultar en la aceptación de una soldadura que contiene una discontinuidad de tamaño crítico.

Las UT de juntas soldadas complejas se pueden realizar de forma fiable y económica. Las maquetas de la junta de soldadura, las capacitaciones de los operadores de UT y el conocimiento de la junta de soldadura y los equipos de UT aplicables asegurarán la fiabilidad y economía de la prueba.

Las indicaciones falsas que provienen del respaldo de acero serán el resultado de una variedad de configuraciones. Los siguientes ejemplos incluyen procedimientos y técnicas de inspección combinados.

(1) Juntas en esquina o en T

(a) **Ángulo diedro de 90°.** El extremo del respaldo de acero en la Figura C-6.1 actuará como un reflector ("R_B"), siempre y cuando el espacio de la raíz y la profundidad de penetración sean tan grandes como se muestra. R_B dará lugar a una traza horizontal a una distancia de trayectoria del sonido aproximadamente igual a una discontinuidad de soldadura en el punto "D".

Técnica de resolución:

1. Utilice UT de haz recto desde el punto "C" para determinar si existe una discontinuidad "D" (si "C" es accesible).
2. Determine si la indicación es relativamente continua para la longitud de la junta de soldadura. *NOTA: La mayoría de las discontinuidades de soldadura no son relativamente uniformes.*
3. Evalúe la soldadura desde el punto "B" para determinar si existe "D". *NOTA: El punto "F" puede requerir la modificación mediante esmerilado al ras para efectuar el acceso del ultrasonido al punto "D".*
4. Aumente el ángulo del transductor para proporcionar un mejor acceso a "D".
5. Retire una pequeña sección del respaldo, de manera que "R_B" no sea accesible a la onda de sonido para confirmar que "D" en realidad existe o que "R_B" es la fuente de la indicación.
6. Seleccione un área de mayor calificación de discontinuidad para el esmerilado o ranurado exploratorio para determinar si existe "D".

(b) **Juntas en esquina o en T oblicuas.** La interpretación de una junta en T se vuelve más compleja a medida que cambia el ángulo diedro. El aumento de la complejidad se debe a un aumento en la reflexión de res-

paldo de acero y a la posición del extremo del respaldo de acero en relación con el pie superior de la soldadura. Como se muestra en la Figura C-6.2 (A), la reflexión de “R_B” también puede interpretarse como una grieta bajo el cordón (“C_U”).

Con el ángulo diedro mayor que 90 ° como se muestra en la Figura C-6.2 (B), “R_B” se encuentra ahora en una distancia de trayectoria del sonido igual a una inclusión de escoria (“D”). La resolución de estas condiciones es la misma que para las juntas en esquina o en T de 90 ° [véase C-6.25.12(1)(a)].

(2) Juntas a tope.

(a) **Separación entre el respaldo y la junta.** La indicación falsa más común (“I_S”) es causada por un desplazamiento de las piezas unidas (problemas de acoplamiento) o por al unión de dos placas de diferente espesor que resulta en una separación de la superficie de contacto entre el respaldo de acero y la placa. En base a la distancia y la profundidad de la trayectoria del sonido, la indicación en la figura C-6.3 parece ser una discontinuidad de raíz similar a una grieta o falta de fusión cuando se realizó el ensayo a partir del punto “A”.

Técnica de resolución:

1. Marque con precisión la ubicación (“L”) de la indicación.
2. Repita la UT desde el punto “A1”.
3. Una indicación “L” desde el punto “A1” es la verificación de que existe una discontinuidad en la raíz.
4. La falta de la indicación “L” desde el punto “A1” es la evidencia de que “I_S” es la fuente de la reflexión.

(b) **Geometría de la superficie y respaldo con similares trayectorias de sonido.** Otra fuente de confusión es el perfil de la superficie de soldadura y el respaldo de acero resultante en una reflexión a la misma distancia de trayectoria del sonido. La abertura de la raíz en la Figura C-6.4 (A) es lo suficientemente grande en esta junta de soldadura como para permitir que la onda de sonido se transmita al respaldo de acero resultando en la reflexión y una gran indicación desde el punto “R_B”.

En la Figura C-6.4 (B) la abertura de la raíz es más estrecha y la entrada de la onda de sonido está ligeramente más lejos del lado “A” de la junta de soldadura, lo que resulta en la reflexión de las ondas de sonido y una gran indicación desde la superficie del refuerzo de la soldadura (“WR”).

En esta etapa en el proceso de UT, el operador de UT se enfrenta a una compleja interpretación de las indicaciones; la distancia de la trayectoria de sonido es la misma para (A) y (B). ¿Es la indicación una discontinuidad superficial, un refuerzo de la soldadura, o un borde del respaldo de acero?

Técnica de resolución:

1. Practique una soldadura UT (B) desde el punto “A.1” para determinar si hay una discontinuidad en el área de “WR”.
2. Cualquier indicación en “WR” es justificación para su examen mediante esmerilado para identificar específicamente la discontinuidad y el evaluar criticidad.
3. Si no resulta indicación alguna a partir de los ensayos en “A.1”, entonces, repita la prueba desde “A”.
 - La confirmación de que la indicación desde “WR” es el refuerzo de la soldadura se realiza en primer lugar mediante la manipulación del transductor hasta obtener la altura máxima de la traza de pantalla, luego, humedezca el “WR” con un acoplador y frótelos con el dedo, mientras se introducen ondas de sonido desde “A”.
 - Si “WR” es el reflector, la traza en la pantalla se volverá inestable según el movimiento del dedo. *NOTA: Esta técnica funciona mejor en una placa más gruesa. Las ondas sonoras tienden a inundar las placas muy delgadas, lo que puede influir sobre el operador de UT para que acepte indicaciones que resultan de una discontinuidad.*
4. Si “WR” no es el reflector, el respaldo de acero se puede verificar como la fuente de la reflexión de la siguiente manera:
 - Coloque el transductor en “A.1” en (A) para obtener la máxima altura de la traza de pantalla;
 - Calcule la distancia superficial proyectada desde el punto de salida del transductor hasta el reflector;
 - Marque dicha dimensión en el lado opuesto de la soldadura desde el transductor, que ahora es “L”.
 - Mida la dimensión desde “L” hasta “WR”, si la unidad de UT está calibrada correctamente, esta dimensión debe ser del ancho del respaldo de acero. *NOTA: Es importante informar al operador UT con respecto al tamaño del respaldo de acero utilizado y la dimensión básica de la abertura de la raíz para eliminar algunas de las preguntas con respecto a la fuente de la reflexión.*
5. Como regla general, es aconsejable dividir la soldadura en dos partes, como se muestra en (B), por la marca de línea central (“CL”):
 - Los reflectores se deben evaluar desde el mismo lado de la soldadura en el que se encuentra el transductor para reducir al mínimo las indicaciones falsas.

(3) **Respaldo sellado de acero soldado.** El contrato puede requerir que se sellen las soldaduras en todos los respaldos de acero. El sellado de la soldadura puede resultar en la incapacidad para transmitir ultrasonido a través de toda la sección transversal de una soldadura en ranura. El NDT de Nivel III debe determinar el ancho más práctico del respaldo de acero y el ángulo comple-

mentario del transductor de onda de cizallamiento para la prueba, antes de la fabricación.

En la Figura C-6.6(A) la ubicación de los extremos del respaldo de acero es fundamental, ya que interfiere con la reflexión de la onda de sonido hacia la parte superior de la junta de soldadura. La localización del extremo del respaldo de acero en la región general de "B" a "B.1" resulta en que la onda de sonido entra en el respaldo de acero y, regresa como una indicación "R_B", o no regresa en absoluto si las condiciones son las adecuadas como para "A.1".

En la Figura C-6.6(B) existe la misma condición cuando la onda sonora entra en el respaldo de acero en "B" y continúa propagándose a través de la barra y dentro de la placa perpendicular. Si se observa una indicación en la pantalla, es muy probable que sea falsa.

Técnicas de resolución:

1. Cambie las dimensiones especificadas del respaldo de acero que se va a sellar por soldadura mediante el aumento del ancho para minimizar este problema.
2. O bien, disminuya el ángulo del transductor si el punto 1. anterior no es práctico.

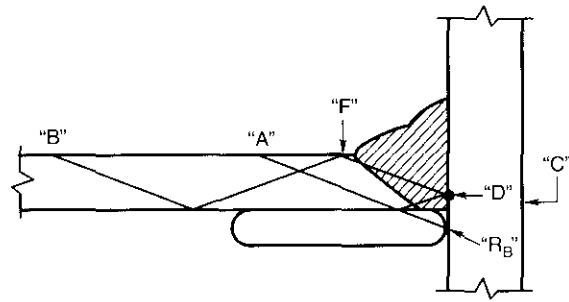
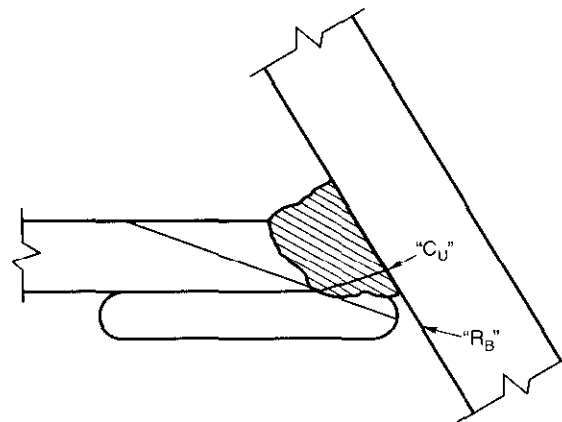
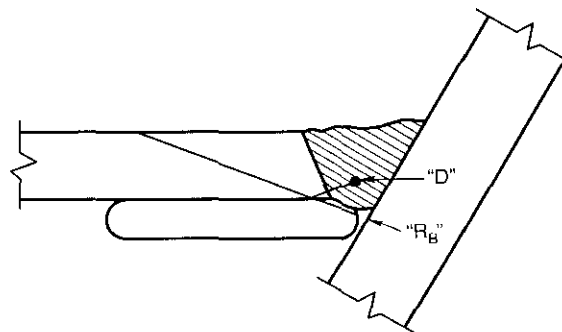


Figura C-6.1—Juntas en esquina o en T a 90 ° con respaldo de acero



(A) MENOR DE 90° ÁNGULO DIEDRO



(B) MAYOR DE 90° ÁNGULO DIEDRO

Figura C-6.2—Juntas en esquina o en T oblicuas

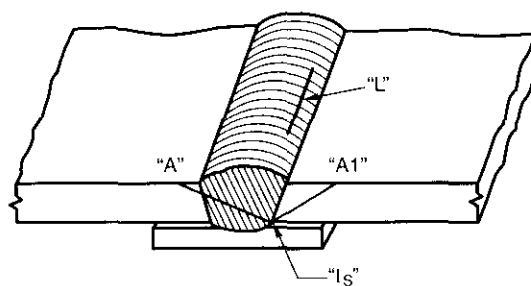
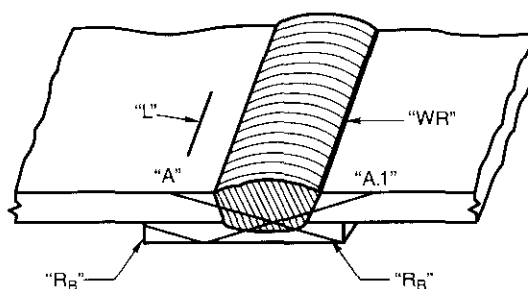
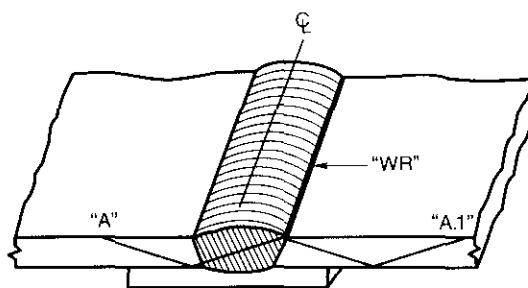


Figura C-6.3—Juntas a tope con separación entre el respaldo y la junta



(A) ABERTURAS DE RAÍZ AMPLIAS



(B) ABERTURAS DE RAÍZ MENOS AMPLIAS

Figura C-6.4—Efecto de la abertura de la raíz en juntas a tope con respaldo de acero

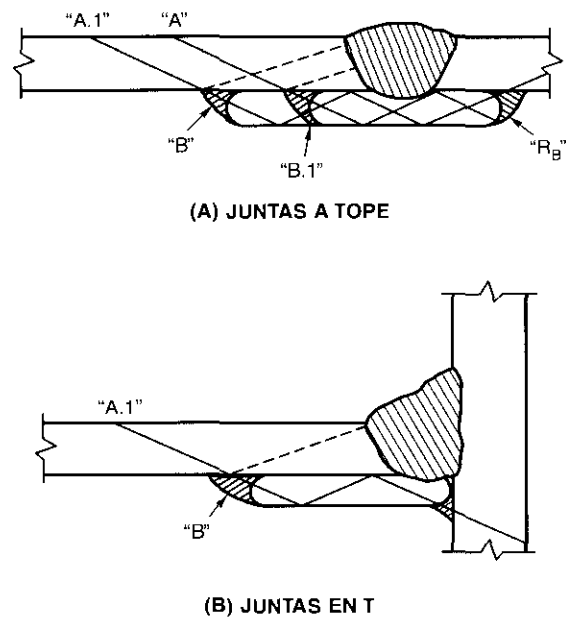


Figura C-6.5—Resoluciones para el escaneo con respaldo sellado de acero soldado

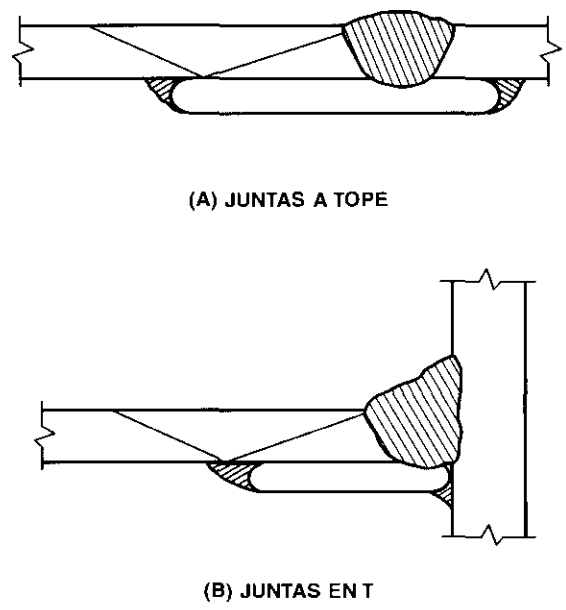
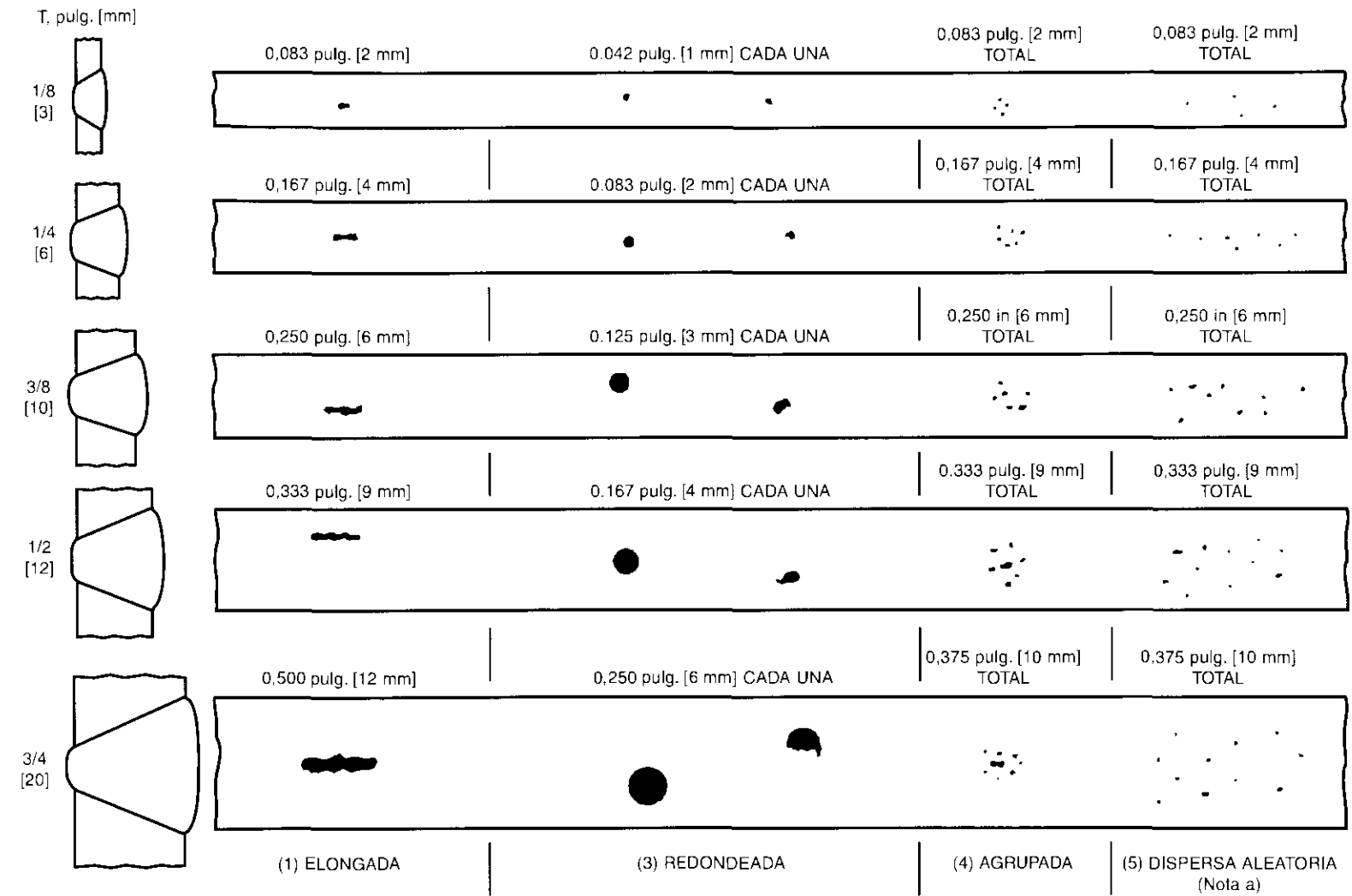
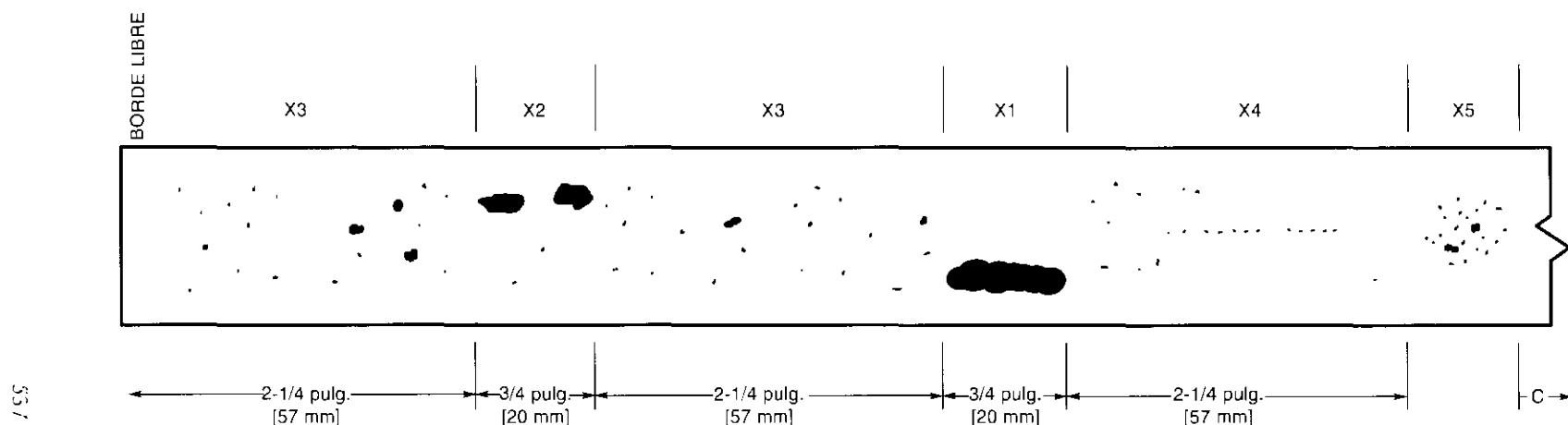


Figura C-6.6—Escaneo con respaldo sellado de acero soldado



^aIndependiente de (1) y (3). Puede ser también en combinación con (1) o (3) aunque no se muestre.

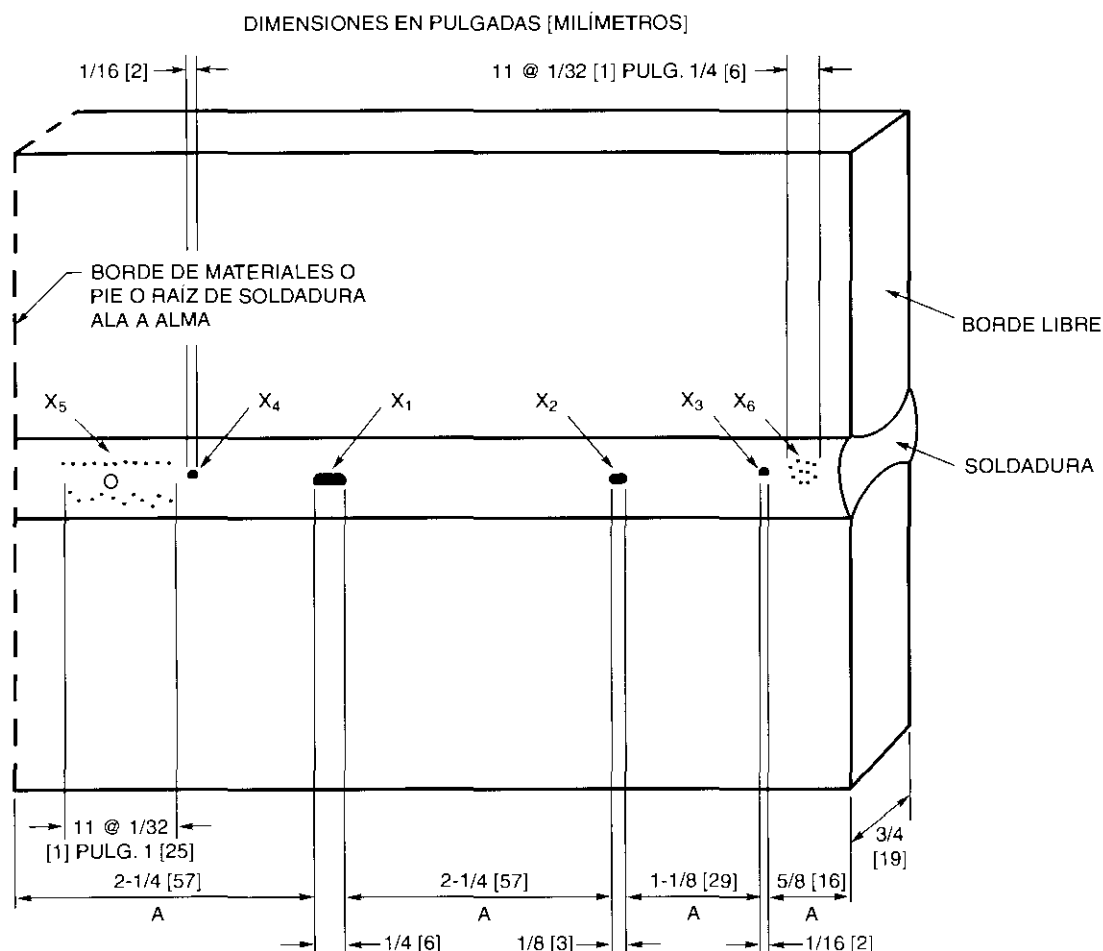
Figura C-6.7—Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidad para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente (véase 6.12.1)



Notas:

1. C—Distancia mínima permitida entre los bordes de las discontinuidades de 3/32 pulg. [2,5 mm] o mayores (según la Figura 6.1). Rige la mayor de las discontinuidades adyacentes.
2. X1—Discontinuidad alargada máxima admisible para un espesor de junta de 1-1/8 pulg. [30 mm] (véase Figura 6.1).
3. X2—Las discontinuidades múltiples dentro de una longitud permitida por la Figura 6.1 se pueden considerar como una sola discontinuidad.
4. X3—X4—Discontinuidad de tipo redondeada menor que 3/32 pulg. [2,5 mm].
5. X5—Discontinuidades de tipo redondeada en un clúster. Todo clúster que tenga un máximo de 3/4 pulg. [20 mm] para todos los poros del clúster se trata como si requiriese del mismo espacio libre que la discontinuidad de 3/4 pulg. [20 mm] de longitud de la Figura 6.1.
6. Interpretación: Las discontinuidades redondeadas y alargadas son aceptables tal como se muestra. Todas se encuentran dentro de los límites de tamaño y de la distancia mínima permitida entre discontinuidades o al extremo de una junta de soldadura.

Figura C-6.8—Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidad para conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones tubulares cargadas estática o cíclicamente de 1-1/8 pulgadas [30 mm] y mayores, típico de discontinuidades aleatorias aceptables (véase 6.12.1)



Notas:

1. A—Espacio libre mínimo admisible entre los bordes de discontinuidades de tipo porosidad o de tipo fusión de 1/16 pulg. [2 mm] o mayor. Rige la mayor de las discontinuidades adyacentes.
2. X₁—Discontinuidad de tipo porosidad o de tipo fusión máxima admisible de 3/4 pulg. [20 mm] de espesor de la junta (véase Figura 6.2).
3. X₂, X₃, X₄—Discontinuidad de tipo porosidad o de tipo fusión de 1/16 pulg. [2 mm] o mayor, pero menor que el máximo admisible para un espesor de junta de 3/4 pulg. [20 mm].
4. X₅, X₆—Discontinuidad de tipo porosidad o de tipo fusión menor que 1/16 pulg. [2 mm].
5. La discontinuidad de tipo porosidad o de tipo fusión X₄ no es aceptable, puesto que está dentro del espacio libre mínimo admisible entre los bordes de tales discontinuidades (véase 6.12.2.1 y la Figura 6.2). Se aceptan restos de soldadura.
6. Se asume que el tamaño indicado de la discontinuidad es su mayor dimensión.

Figura C-6.9—Ilustración de los criterios de aceptación de discontinuidades para conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en tracción (véase 6.12.2.1)

C-7. Soldadura de pernos

C-7.1 Alcance

La soldadura de pernos es única entre los procesos de soldadura aprobados en este código, puesto que no solo la longitud de arco y el tiempo de soldadura se controlan automáticamente, sino que además sirve como un importante ensayo de prueba de producción. Una vez que se ha configurado el equipo de manera adecuada, mediante la utilización de este proceso se puede realizar una gran cantidad de soldaduras sólidas y uniformes aplicando las técnicas y la mano de obra adecuadas. Se han aplicado millones de pernos con éxito. Por otras razones establecidas anteriormente, no se requieren calificaciones formales de procedimiento cuando se sueldan pernos en posición plana (vertical descendente) a los materiales que aparecen en la Tabla 3.1, Grupos I y II. Los procedimientos desarrollados bajo los requisitos de calificación de la aplicación en la sección 7.6 son una excepción de lo anterior. Puesto que esto constituye el cambio básico con respecto a otros procesos aprobados de soldadura en este código, la soldadura de pernos se ha pasado a la Sección 7.

Allí se establecen disposiciones para lo siguiente:

- (1) Ensayos para establecer las propiedades mecánicas y la calificación de bases de pernos por parte del fabricante del perno
- (2) Ensayos para establecer o verificar la configuración de soldadura (variables esenciales) y para calificar al operador y las aplicaciones
- (3) Ensayos para requisitos de inspección

C-7.2 Requisitos generales

C-7.2.5 Acabado de pernos. Las cabezas de los conectores de cizallamiento o de los pernos de anclaje están sujetas a fracturas o rupturas, que son nombres distintos para la misma situación. Las fracturas o rupturas designan una interrupción abrupta de la periferia de la cabeza del perno a causa de separación radial del metal. Tales interrupciones no afectan de manera adversa la resistencia estructural, la resistencia a la corrosión u otros requisitos funcionales de los pernos con cabeza.

Un ejemplo típico del cálculo de la longitud de la fractura o ruptura es el siguiente:

anclaje con cabeza de 0,5 pulgadas [13 mm]

H- Diámetro de la cabeza = 1,0 pulgadas [25 mm]

H- Diámetro del vástago = 0,5 pulgadas [13 mm]

CL- Longitud de la grieta

$$CL \leq (H - C)/4$$

$$CL \leq (1,0 - 0,5)/4$$

$$CL \leq 0,125 \text{ pulgadas [3,2 mm]}$$

C-7.3 Requisitos mecánicos

La subsección sobre requisitos mecánicos se ha expandido para mostrar los tres niveles de resistencia de los pernos. El nivel inferior de resistencia, Tipo A, se utiliza para pernos de propósito general y el nivel superior de resistencia, Tipo B, se utiliza como un componente esencial del diseño y construcción de haz compuesto. Los pernos de Tipo B son los más utilizados en la construcción compuesta para puentes de autopistas.

C-7.4 Mano de obra/Fabricación

Se requieren varios elementos de limpieza para producir pernos de calidad aceptable. Como novedad, se ha hecho énfasis en el mantenimiento de los pernos. Los pernos de Tipo B se utilizan como componente esencial en la construcción de haz compuesto para puentes de carreteras y edificios. Los pernos de Tipo C se utilizan comúnmente como conexiones incrustadas en construcción de concreto o acero.

C-7.4.6 Retiro del revestimiento de arco y C-

7.4.7 Criterios de aceptación. Estas subsecciones disponen claramente el retiro de los revestimientos de arco y la realización de una inspección visual por parte de la persona que realiza la aplicación. Una buena práctica consistiría en realizar esta verificación tan pronto como sea práctico después de haber soldado el perno para evitar una gran cantidad de pernos defectuosos en caso de mal funcionamiento del equipo.

El metal expulsado alrededor de la base del perno se designa como rebaba de conformidad con la definición de rebaba en el Anexo J del presente código. No constituye una soldadura en filete como las conformadas mediante soldadura por arco convencional. El metal expulsado en exceso de la soldadura requerida para la resistencia, no es perjudicial, por el contrario, es esencial para suministrar una

buena soldadura. La contención de este exceso de metal fundido alrededor de un perno soldado mediante la férula (revestimiento de arco) ayuda a asegurar una fusión pareja de la sección transversal completa de la base del perno. Es posible que la rebaba de soldadura del perno no presente fusión en su pierna vertical y que presente traslape en su pierna horizontal; además, puede contener pequeñas fisuras de contracción ocasionales u otras discontinuidades que se forman usualmente en la parte superior de la rebaba de soldadura esencialmente con orientación radial o longitudinal, o ambas, hacia el eje del perno. Tal falta de fusión sobre la pata vertical de la rebaba y las pequeñas fisuras de contracción son aceptables.

C-7.5 Técnica

C-7.5.1 Soldadura automática mecanizada. Esta técnica está en una subsección que cubre los requisitos para el equipo y las configuraciones iniciales.

C-7.5.5 Opción de soldadura en filete FCAW, GMAW, SMAW. El código también permite la soldadura en filete en los pernos, a opción del Contratista, mediante los procesos SMAW, GMAW y FCAW, aunque el uso de equipo sincronizado automáticamente es la preferencia general. Los soldadores deben estar calificados de conformidad con la Sección 4 para esta aplicación. Se incluyó una opción para situaciones en las que solo se deben soldar en el campo cantidades limitadas de pernos. Obviamente, la decisión del Contratista a este respecto se inclinaría por la economía. El diámetro del electrodo se especifica para ayudar a garantizar que se suministre la entrada mínima de calor en conjunto con los requisitos aplicables de precalentamiento de la Tabla 3.3.

Los pernos soldados mediante el uso de equipo de soldadura con sincronización automática o mediante soldadura en filete por SMAW, GMAW y FCAW se consideran como si se hubieran soldado mediante una WPS calificada.

C-7.6 Requisitos de calificación de aplicación de pernos

Los pernos aplicados a una superficie vertical podrían requerir revestimientos de arco modificados y, también se podrían requerir revestimientos de arco modificados cuando se realizan soldaduras en superficies que no sean planas. Puesto que este y otros casos especiales no están cubiertos por la calificación básica de pernos del fabricante, el Contratista debe responsabilizarse del desempeño de dichos ensayos. Los datos de ensayo sirven para el mismo propósito que la calificación de la WPS para otros procesos. Los Inspectores deberían aceptar la evidencia de los ensayos anteriores de aplicación especial en base a los ensayos satisfactorios de preproducción con una configuración específica de soldadura de pernos en uso.

C-7.6.1 Propósito. Las condiciones especiales en las que corresponden los requisitos de calificación de aplicación se han ampliado a partir de la consideración de revestimientos de arco modificados y la posición de soldadura para incluir las soldaduras mediante encofrado

y para pernos soldados a aceros diferentes de los del Grupo I o II de la Tabla 3.1

La aplicación de soldadura mediante encofrado se ha agregado debido a los problemas asociados únicamente en el sitio de producción que no se relacionan con la Calificación básica de pernos del fabricante. Estos incluyen, entre otros, la adecuación de la cubierta, las condiciones climáticas, el espesor de la brida y los posibles recubrimientos sobre los haces de acero, el espesor del recubrimiento de la cubierta y la cantidad de capas de la cubierta. Se recomienda que la calificación de aplicación se realice en el lugar de trabajo, mediante el uso del mismo equipo de soldadura, operadores, materiales, espesor de recubrimiento y las mismas condiciones de haz que las del sitio. Se recomienda someter a ensayo el mayor espesor de cubierta metálica, bien sea en una o dos capas, junto con el recubrimiento más espeso (galvanizado en caso de usarse) para calificar el trabajo para cada proyecto. Aunque la variable de soldadura desarrollada para este peor escenario no se aplicaría necesariamente a cada perno que se vaya a utilizar en el proyecto, el equipo a utilizar tendría que someterse a ensayo para el peor escenario. Se calificaría a los operadores, se establecerían los registros PQR/WQR para el sitio y luego el ensayo de preproducción de la sección 7.7.1 se utilizaría para cada configuración y período de producción.

Se recomienda que el Ingeniero acepte la evidencia documentada adecuadamente sobre los ensayos de aplicación de soldadura mediante encofrado en los casos en que el trabajo nuevo esté dentro de los límites anteriores.

El ensayo de aplicación para aceros diferentes del Grupo I o II se han agregado para servir como recordatorio de que el Ingeniero debe evaluar cada una de dichas aplicaciones.

La mayoría de aceros en el Grupo III de la Tabla 3.1 y los aceros en la Tabla 4.9 son aceros tratados por calor, y el calor que proviene de la soldadura de pernos puede generar la reducción de las propiedades estáticas o físicas dinámicas de la placa base. Por ejemplo, los aceros delgados revenidos y templados pueden presentar reducción en las propiedades de tracción, y los aceros revenidos y templados más espesos son más propensos a presentar reducción en la resistencia a la entalladura en el HAZ de soldadura de perno. En particular, el Ingeniero debería evaluar la aplicación donde los pernos se soldarán en los miembros sujetos a estrés cíclico por tracción o a estrés inverso. Los ensayos de aplicación solo servirán para probar que el perno sí es aceptable con el metal utilizado.

C-7.7 Control de producción

Se requieren ensayos de aplicador para los primeros dos pernos en la producción de cada día o cuando ocurra cualquier cambio en la configuración como cualquiera de los siguientes: pistola de pernos, temporizador, fuente de alimentación, diámetro del perno, elevación e inmersión de la pistola, longitud total del hilo de soldadura o cambios mayores al 5% en el amperaje de la corriente y en el tiempo. A los usuarios que no estén familiarizados con ninguno de estos términos se les recomienda consultar la última edición del AWS C5.4, *Recommended Practices for Stud Welding* (Prácticas recomendadas para sol-

dadura de pernos). En las corrientes más altas utilizadas en la soldadura de pernos, es muy importante contar con el tamaño adecuado de cable y buenas conexiones.

C-7.7.1.4 Ensayos de doblado. Doblar algunos pernos y materiales base a temperaturas por debajo de los 50 °F [10 °C], crea una resistencia inadecuada para pasar el ensayo del martillo.

C-7.8 Requisitos de inspección de fabricación y verificación

Además de los ensayos visuales y de doblado realizados por el aplicador, el Inspector debe verificar visualmente y realizarle ensayos de doblado a los pernos.

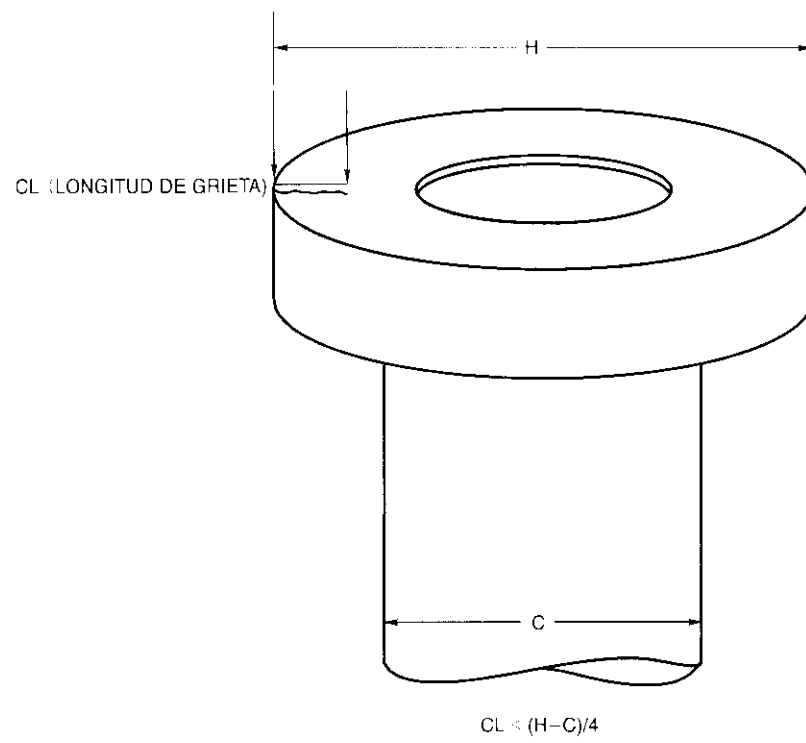


Figura C-7.1—Defectos admisibles en las cabezas de los pernos con cabeza

C-8. Refuerzo y reparación de estructuras existentes

C-8.1 Generalidades

Existen muchas condiciones técnicas y de mano de obra que son comunes al refuerzo, reparación y enderezamiento por calor de miembros de acero, y como resultado, se ha expandido la cláusula 8 para incluir el enderezamiento por calor, una forma de reparar los miembros de acero.

No se pretende que la cláusula 8 del presente documento replazce las disposiciones ASTM A6 para el acondicionamiento del acero nuevo, sino suministrar recomendaciones para reparar y reforzar los miembros en estructuras existentes.

C-8.2 Metal base

C-8.2.1 Investigación. El primer requisito esencial en el refuerzo, reparación y enderezamiento por calor de estructuras existentes es la identificación del material.

La soldabilidad del acero existente es de vital importancia. Junto con las propiedades mecánicas del material, suministrará información esencial para establecer WPS seguras y adecuadas. Solo después de ello estarán disponibles datos realistas para una estimación confiable de los costos. En caso de que una baja soldabilidad haga que los costos sean prohibitivos en términos económicos, el ingeniero debe considerar otros medios de unión.

Las propiedades mecánicas pueden estar sujetas a variabilidad, determinadas por los ensayos de muestras representativas tomadas de la estructura existente. Mediante correlación, los ensayos de dureza pueden suministrar una estimación de las propiedades de tracción del material.

En los casos donde se desconoce la soldabilidad, las referencias 1 y 2 ofrecen ejemplos de técnicas simples y baratas para realizar una determinación preliminar de si el metal base es adecuado o no para soldadura.

Los elementos de baja temperatura de fusión presentes en el metal base como azufre, fósforo, cobre, estaño, plomo y zinc pueden causar solidificación o agrietamiento en "caliente". El uso de WPS de aditivo bajo y de detalles de junta que no se basen en la penetración para obtener resistencia, puede ser útil para ayudar a minimizar las tendencias al agrietamiento en caliente. Más altos niveles de carbón, junto con más altos niveles de aleaciones, bien sea

que se agreguen de manera intencional o no, incrementan la capacidad de endurecimiento del acero e incrementan las tendencias relacionadas con el hidrógeno o las de agrietamiento en "frío". Una práctica de bajo contenido de hidrógeno, mayor temperatura entre pasadas y de precalentamiento, así como también las operaciones de poscalentamiento, reducen las tendencias al agrietamiento en frío. El material puede variar entre fácilmente soldable a soldabilidad inaceptable. Es esencial la investigación sobre la soldabilidad relativa (consulte las referencias 3, 5 y 6).

C-8.2.2 Idoneidad para la soldadura. La soldadura sobre acero, hierro forjado y hierro fundido no se aborda en el cuerpo general de este código. Sin embargo, algunas veces estos materiales se encuentran en estructuras más antiguas que se están renovando. Como se muestra en la tabla C-8-1, en cada caso son necesarias una WPS y la supervisión calificada de la soldadura debido a la dificultad inherente a la soldadura. En las referencias 3 y 4 se establecen los lineamientos para la soldadura de acero inoxidable. En la referencia 5 se establecen los lineamientos para la soldadura de hierro forjado. En las referencias 3, 4, 5 y 6 se establecen los lineamientos para la soldadura de hierro fundido.

C-8.3 Diseño para refuerzo y reparación

C-8.3.1 Proceso de diseño. Se recomienda encarecidamente inspeccionar las ubicaciones que se consideren para soldadura o calentamiento. La expansión térmica asociada con cualquiera de los procesos puede extender mucho más cualquier grieta existente en el miembro.

C-8.3.3 Historial de fatiga. Por lo general, en el caso de estructuras cargadas cíclicamente, no hay suficientes datos disponibles para estimar la vida de fatiga restante. Se debería realizar una estimación conservadora de la vida de fatiga restante con base en cualquier historial de carga disponible. Los métodos prácticos para extender la vida de fatiga esperada de un miembro incluyen: reducir el estrés o el rango de estrés, mediante el suministro de una geometría de conexión menos susceptible a la falla por fatiga, además mediante el uso de técnicas de mejora de la vida de fatiga.

C-8.3.5 Carga durante las operaciones. La reparación, refuerzo y enderezamiento por calor de estructuras existentes difieren de las construcciones nuevas en tanto que tales operaciones se pueden haber ejecutado con la estructura o el elemento estructural bajo cierto estrés de trabajo.

En la literatura existen lineamientos (referencias 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11 y 12) en relación con la soldadura de miembros estructurales bajo carga. Cada situación se debe evaluar sobre sus propios méritos, además se deben poner en práctica criterios de ingeniería razonables.

La investigación (referencias 7, 11 y 19) indica que el estrés residual debido a la práctica de laminación en la aceria y a la soldadura solo presentan un efecto sobre la capacidad del miembro para algunas funciones estructurales específicas. A causa del desfaseamiento de los niveles de fuerza residual de tracción y compresión, el estrés residual no resulta en una degradación cuantificable de la capacidad de flexión de un miembro. Existe una condición similar para los miembros de tracción, siempre y cuando el calentamiento o la soldadura solo afecten una porción del área transversal del miembro. Los miembros en compresión son más sensibles a la distribución del estrés residual debido a las posibilidades de pandeo general y local. Un calentamiento por llama balanceado o la soldadura sobre el eje neutral pueden ser esenciales para evitar este tipo de problema. Independientemente de las condiciones de estrés, el calentamiento o la soldadura no se deben realizar sobre toda la sección transversal al mismo tiempo.

C-8.3.7 Uso de sujetadores existentes. Las disposiciones de retroajuste para la combinación de soldaduras con remaches o pernos con exceso de esfuerzo son más restrictivas que las de la sección 2.7.3, que aborda los elementos de conexión que no presentan exceso de esfuerzo al momento del retroajuste (consulte la referencia 22).

C-8.4 Mejora de la vida útil en fatiga

C-8.4.1 Mejora de la vida útil en fatiga. Cuando se administran de manera adecuada, estos métodos de reacondicionamiento se pueden utilizar para mejorar la vida útil en fatiga de las estructuras existentes, en particular cuando el estrés aplicado es normal al eje de la soldadura. Las siguientes técnicas afectan la vida útil de fatiga solamente desde el punto de vista de fallas desde el pie de la soldadura. No se debe pasar por alto la posibilidad de inicio del agrietamiento por fatiga a partir de otras características de la soldadura, por ejemplo, el área raíz. Los usos típicos incluyen la reparación de las grietas por fatiga y la extensión de la vida útil en fatiga de las construcciones y equipos existentes.

Las juntas soldadas presentan concentraciones de esfuerzo particularmente severas. La investigación en el Instituto de Soldadura (TWI), Cambridge, Inglaterra, identificó una línea aguda de intrusiones microscópicas de escoria a lo largo de los pies de todas las soldaduras realizadas mediante todos los procesos de arco excepto GTAW. Sin embargo, se encontró que todos los procesos producen algún grado de socavación en el pie, a pesar de los perfiles de soldadura ideales (consulte la Figura

C-8.1). La implicación práctica consistía en que todas las soldaduras tienen una discontinuidad preexistente en forma de socavaciones microscópicas o intrusiones de escoria, o ambas cosas. Los métodos normales de inspección no pueden detectar estas discontinuidades, que en todo caso son inevitables cuando se utilizan las tecnologías de soldadura existentes (consulte las referencias 28, 32 [Capítulos 1 y 2], y 33).

En el material liso, la vida útil en fatiga se gasta en la iniciación y la propagación de grietas. Sin embargo, en las soldaduras, se asume que ya existen discontinuidades similares a grietas. Por lo tanto, la vida útil en fatiga de las soldaduras se gasta únicamente en la propagación de grietas. Esto, junto con los esfuerzos residuales de tracción en o cerca al punto de fluencia, son la razón esencial por la cual las soldaduras pueden soportar un menor número de ciclos hasta el fallo por fatiga que un material normal cargado de manera similar (consulte la Figura C-8.2).

La mejora de la vida útil en fatiga se puede obtener mediante el reacondicionamiento de los pies de soldadura. Las pequeñas discontinuidades preexistentes se eliminan o las aberturas afiladas se pulen (consulte la Figura C-8.5). El esmerilado del pie y la rectificación GTAW (TIG) extienden la vida útil en fatiga mediante la restauración de una fase de inicio de la grieta. El martillado, mediante la introducción de un esfuerzo de compresión, retarda la velocidad de propagación de las grietas. El perfil de soldadura resultante también complementa la resistencia general de la junta al agrietamiento de fatiga mediante la reducción de la concentración de esfuerzo geométrico. Cuando dichas discontinuidades de pie preexistentes son perpendiculares al esfuerzo aplicado, los métodos de mejora de la vida útil en fatiga son más efectivos (figura C-8.4) (consulte la referencia 32 [Capítulo 4]).

(1) La mejora del perfil para secciones tubulares redondas se debe realizar de conformidad con las secciones 9.2.7.6, 9.2.7.7 y se debe realizar de conformidad con las secciones correspondientes del Comentario, C-9.2.7.6 y C-9.2.7.7. Los perfiles aceptables de conformidad con la Figura 9.16 se pueden lograr mediante (1) agregar una capa de nivelación, (2) esmerilado de la superficie de soldadura y (3) martillado del pie de la soldadura con un instrumento romo. La Figura C-2.8 proporciona criterios precisos de perfil. Se requiere que las limitaciones de la categoría de fatiga sobre el tamaño de la soldadura o el espesor y el perfil de la soldadura cumplan con los criterios de la tabla 9.4, Nivel I.

(2) El esmerilado del pie debe realizarse a lo largo de la línea central del pie de la soldadura para las conexiones tubulares (T-, Y- o K-) y las juntas no tubulares. Las herramientas recomendadas incluyen una esmeriladora de alta velocidad para su uso con una fresa de carburo de tungsteno. El radio de la punta se debe escalar al grosor de la placa de acuerdo con la Tabla C-8.2. Estos radios son los mínimos recomendados, tamaños más grandes pueden resultar más beneficiosos.

El esmerilado se debe realizar a una profundidad mínima de 0,03 pulgadas 0,04 pulgadas [0,8 mm – 1,0 mm] por debajo de la superficie de la placa o aproximadamente 0,02 pulgadas 0,03 pulgadas [0,5 mm 0,8 mm] por debajo de la socavación más profunda a una profundidad máxima total de 1/16 pulgadas [2 mm] o 5% del grosor de

la placa, la que sea mayor. El eje de la fresa debe estar aproximadamente a 45° con respecto a la placa principal (consulte la Figura C-8.3). El ángulo del eje de la fresa debería ser de un máximo de 45° con respecto a la dirección de desplazamiento para asegurar que las marcas de esmerilado sean casi perpendiculares a la línea del pie de la soldadura (paralelas a la dirección de esfuerzo). Los extremos de las soldaduras bajo esfuerzo longitudinal requieren un cuidado especial para ser eficaces (consulte la Figura C-8.6). La pasada de acabado debe ser ligera para obtener un buen acabado de la superficie. Compruebe visualmente y con MT, PT por cualquier socavación o cualquier otra discontinuidad restante (consulte las referencias 28, 29, 32 [Capítulo 2], 34, y 37).

(3) El martillado se aplica a aceros con límites de elasticidad de hasta 115 ksi [800 MPa] y espesores no menores que 3/8 de pulgada [10 mm]. Las brocas de martillo de acero deben tener puntas aproximadamente semiesféricas con diámetros entre 1/4 y 1/2 de pulgada [6 mm y 12 mm]. La muesca debe estar centrada en el pie de la soldadura de manera que el metal a cada lado (el metal de soldadura y el metal base) se deforme, lo que resulta en una superficie lisa libre de golpes individuales evidentes. El martillo debe mantenerse a 45° respecto a la superficie de la placa y aproximadamente perpendicular a la dirección de desplazamiento. La hendidura en acero dulce (límite elástico hasta 36 ksi [250 MPa]) debe ser de aproximadamente 0.02 pulgadas [0.5 mm]; en acero de resistencia media (límite elástico entre 36 ksi y 65 ksi [250 MPa y 450 MPa]) 0.01 de pulgada [0.25 mm]; y en acero de alta resistencia (límite de elasticidad entre 65 ksi y 115 ksi [450 MPa y 800 MPa]) 0.004 pulgadas [0.1 mm] (consulte la Figura C-8.7). Estas profundidades son más o menos equivalentes a cuatro pases de martillado. La soldadura se debe comprobar visualmente y con MT, PT antes del martillado (consulte las referencias 28, 29, 32 [Capítulo 2], 34, y 36).

El beneficio del martillado se deriva de la introducción de esfuerzos residuales de compresión; por lo tanto, es importante asegurar que no se realice nada que cause alivio del esfuerzo (por ejemplo, PWHT) después del martillado. Además, el martillado se debe aplicar cuando la junta esté "en su lugar" y porte carga muerta.

(4) La rectificación GTAW (TIG) consiste en volver a fundir el metal de soldadura existente a una profundidad de aproximadamente 1/16 de pulgada [2 mm] a lo largo del pie de la soldadura sin la adición de metal de aporte. La superficie de soldadura debe estar libre de óxido, escoria, y escamas. La punta del electrodo se debe mantener afilada y limpia. La punta debe estar ubicada horizontalmente de 0.02 a 0.06 pulgadas [0.5 mm a 1.5 mm] desde el pie de la soldadura (consulte la Figura C-8.8). Cuando la dureza del HAZ pueda crear problemas, se puede utilizar una técnica modificada mediante el uso de una segunda pasada de templeado (consulte las referencias 28, 32 [Capítulos 2 y 4] y 35).

(5) El esmerilado del pie seguido del martillado inhibe la iniciación de grietas de fatiga y reduce la velocidad de propagación de las grietas. Por lo tanto, para las juntas críticas, este tratamiento combinado ofrece una resistencia superior a la falla por fatiga. La superficie de soldadura debe comprobar visualmente y mediante MT por presencia de discontinuidades en la superficie antes del martillado. Durante las operaciones de martillado, compruebe

visualmente después de cada pasada (consulte las referencias 30, 31 y 34).

C-8.4.2 Incremento del rango de esfuerzo. El rango de esfuerzo admisible para las conexiones con carga cíclica se puede aumentar por un factor de 1.3 a lo largo de la curva de diseño S-N, que es equivalente a un factor de 2.2 en el ciclo de vida, para una pendiente S/N de aproximadamente 1/3, cuando se utilizan el esmerilado del pie, el martillado o la rectificación GTAW (TIG). Sin embargo, el efecto del esmerilado del pie y del martillado es acumulativo. Un factor de 1.5 sobre el rango de esfuerzo puede permitirse en ciclos altos ($N = 10^7$), pero se debe disminuir a un factor de 1.0 (sin beneficio) en ciclos bajos ($N = 10^4$). Para juntas no tubulares, el factor de mejora no debe exceder la más alta categoría de diseño de fatiga según lo soldado.

Las secciones tubulares para las juntas T-, Y- y K- se abordan en las secciones 9.2.7.6 y 9.2.7.7 (consulte las referencias 28, 29, 30, 32, 34, 35 y 36).

NOTA: La investigación actual en la Universidad de Lehigh sobre vigas con placas de cubierta soldadas sugiere que esta junta no responde a las técnicas de mejora (especialmente al martillado) tal como lo habían indicado los ensayos anteriores.

C-8.5 Mano de obra y técnica

C-8.5.2 Discontinuidades de los miembros. Soldar o aplicar calor al acero en presencia de grietas existentes puede dar lugar a la propagación de las grietas debido a los niveles de esfuerzo que puedan existir en la punta de la grieta. Como resultado de ello, se recomienda encarecidamente eliminar cualquier discontinuidad similar a una grieta antes de la aplicación de calor o de la soldadura. Esto se puede lograr taladrando un agujero en la terminación de la grieta o mediante esmerilado. Las referencias 23 y 26 proporcionan una guía para la reparación de muchas condiciones que se observan comúnmente. También se requiere que los procedimientos para reparar soldaduras existentes cumplan con las disposiciones de la Sección 5.

C-8.5.4 Metal base de espesor insuficiente. La corrosión o el desgaste con pérdida de sección resultante pueden reducir el espesor de las partes por debajo de lo requerido para proporcionar un tamaño adecuado de la soldadura. La construcción del borde de la sección delgada se puede realizar mediante soldadura, siempre y cuando el espesor de la sección general sea el adecuado para soportar la carga.

La corrosión y el desgaste pueden reducir el espesor de las partes por debajo de lo requerido para soportar la carga. Del mismo modo, el aumento de las cargas puede requerir espesor adicional del miembro. Por lo general, incrementar el grosor de un miembro mediante el revestimiento con metal de soldadura no sería efectivo excepto para regiones pequeñas localizadas. Se prefiere el refuerzo del miembro mediante el uso de placas adicionales o dispositivos similares.

C-8.5.5 Enderezamiento por calor. El enderezamiento por calor de los miembros de acero requiere la secuenciación de varios patrones de calentamiento. La literatura (referencias 1, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17 y 18) que existe proporciona orientación en cuanto a la mecánica del enderezamiento por calor. El proceso real sigue dependiendo de la experiencia del operador.

Se imponen límites (incluidos factores de seguridad significativos) sobre la temperatura a la que el acero se puede calentar para evitar posibles cambios metalúrgicos en el acero cuando se enfríe posteriormente a temperatura ambiente. La química y el templeado previo del acero determinan la temperatura crítica.

El enfriamiento rápido del acero desde temperaturas elevadas hasta aproximadamente 600 °F [315 °C] no es recomendable porque pueden producirse transformaciones metalúrgicas indeseables (consulte la sección 5.8 para una discusión más detallada de este tema).

La referencia 20 (AASHTO Div. II, SECCIÓN 11.4.12.2.3) también considera 600 °F [315 °C] como la temperatura crítica. Además, la referencia 21 muestra que a esta temperatura, los módulos de la elasticidad y del punto de fluencia de acero no se reducen significativamente con respecto a los del acero a temperatura ambiente.

Se recomiendan las tasas de enfriamiento que se sugieren en otras partes de la especificación general para el grado y espesor adecuados del acero. El agua nebulizada, los trapos húmedos, o el aire a presión se consideran como

enfriamiento acelerado y sólo pueden utilizarse cuando la temperatura del acero sea inferior a 600 °F [315 °C].

C-8.5.6 Secuencia de soldadura. Los procedimientos de soldadura deben ajustarse de manera que la entrada total de calor por unidad de longitud de la soldadura para un espesor dado y la geometría del material mantengan las isotermas de temperatura relativamente estrechas y de menor importancia en relación con la sección transversal del elemento que soporte el esfuerzo.

C-8.6 Calidad

El ingeniero determina el nivel de inspección y los ensayos no destructivos (NDT) según sea apropiado para las condiciones de trabajo. Se recomienda hacer que los requisitos del documento contractual sean compatibles con la cláusulas 6 y 9 de este código.

Se debería considerar la inspección de los remaches y pernos afectados por el calor inducido por la soldadura o el enderezamiento.

Referencias para la Sección C-8

1. Blodgett, O. W. *Design of Welded Structures*, 12th Printing. Cleveland, OH: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1982.
2. Ricker, D. T. "Field welding to existing steel structures." *Engineering Journal* 25(1): Chicago, IL: American Institute of Steel Construction 1988.
3. Sociedad Americana de Soldadura. *Welding Handbook, Volume 4*. Miami, FL: Sociedad Americana de Soldadura, 1982.
4. Lincoln Arc Welding. *The Procedure Handbook of Arc Welding*, 12th Ed. Cleveland, OH: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, June 1973.
5. Jefferson, T. B. and Woods, G. *Metals and How to Weld Them*, 2nd Ed. Cleveland, OH: W. E. Publications, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1972.
6. American Welding Society, *Guide for Welding Iron Castings*, AWS D11.2. Miami, FL: Sociedad Americana de Soldadura, 1989.
7. Nagaraja Rao, N. R. and Tall, L. "Columns reinforced under load." *Welding Journal*, Vol. 42, Research Supplement 177-s, April 1963.
8. Shanafelt, G. O. and Horn, W. B. "Guidelines for evaluation and repair of damaged steel bridge members." *Report No. 271*. Washington, DC: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, June 1984.
9. Tide, R. H. R. "Basic considerations when reinforcing existing steel structures." *Conference Proceedings, National Engineering Conference and Conference of Operating Personnel, New Orleans, LA*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction, April 1987.

10. Tide, R. H. R. "Effects of fabrication on local stress conditions." *Conference Proceedings, ASCE Seventh Structures and Pacific Rim Engineering Conference*, San Francisco, CA. New York, NY: American Society of Civil Engineers, May 1989.
11. Marzouk, H. and Mohan, S. "Strengthening of wide-flange columns under load." *Canadian Journal of Civil Engineering* 17(5), October 1990. Ottawa, Ontario, Canada: Canadian Society of Civil Engineers.
12. Tide, R. H. R. "Reinforcing steel members and the Effects of Welding." *Engineering Journal* 27(4): 1990.
13. Stitt, J. R. "Distortion control during welding of large structures." *Paper 844B, Air Transport and Space Meeting*. New York, NY: Society of Automotive Engineers, Inc. and American Society of Mechanical Engineers, April 1964.
14. Holt, Richard E. "Primary concepts of flame bending." *Welding Journal*, June 1971.
15. United States Steel Corporation. *Fabrication Aids for Continuously Heat-Curved Girders*, ADUSS 88-5538-01. Pittsburgh, PA: United States Steel Corporation, April 1972.
16. Stewart, J. P. *Flame Straightening Technology*. LaSalle, QUE., 1981.
17. Roeder, C. W. "Experimental study of heat induced deformation." *Journal of Structural Engineering* 112(ST10) 1986. New York, NY: American Society of Civil Engineers.
18. Avent, R. R. "Heat straightening of steel; from Art to Science." *Conference Proceedings, National Steel Construction Conference, Miami Beach, FL*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction, June 1988.
19. American Society of Civil Engineers. *Plastic Design in Steel, a Guide and Commentary*. New York, NY: ASCE, 1971.
20. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Standard Specifications for Highway Bridges*, 15th Edition. Washington, DC: AASHTO, 1992.
21. United States Steel Corporation. *Steel Design Manual*, ADUSS 27-3400-04. Pittsburgh, PA: United States Steel Corporation, January 1981.
22. Jarosch, K. H. and Bowman, M.D. "Tension butt joints with bolts and welds in combination." *Engineering Journal* 23(1) 1986.
23. Fisher, J. W. *Fatigue and Fracture in Steel Bridges*. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc., 1984.
24. Fisher, J. W. *Bridge Fatigue Guide—Design and Details*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction, 1977.
25. *Welding in the World*. "Recommendations for repairs and or strengthening of steel structures," 26(11/12), Great Britain.
26. Haagensen, P. J. "Improving the fatigue performance of welded joints," *Proceedings, International Conference on Offshore Welded Structures*. London, England, November 1982.
27. Maddox, S. J. *Aspects of the Improvement in Fatigue Strength of Fillet Welds by Peening*. Cambridge, England: The Welding Institute, 1985.
28. Maddox, S. J., *Fatigue Strength of Welded Structures*, Second Edition. Abington Publishing, 1992.
29. Haagensen, P. J. IIW DOC. XIII-WG2-22-93, *Repair Methods and Life Extension*, 1993.
30. Haagensen, P. J. *The Effect of Grinding and Peening on the Fatigue Strength of Welded T-Joints*. IIW Doc. XIII-1510-93. 1993.
31. Haagensen, P. J., *Life Extension and Repair by Grinding and Peening*, IIW Doc. XIII-1511-93, 1993.
32. The Welding Institute. *Improving the Fatigue Performance of Welded Joints*. Cambridge, England: The Welding Institute, 1983.
- Maddox, S. J., Chapter 1 "An introduction to the fatigue of welded joints"
- Booth, G. S., Chapter 2 "A review of fatigue strength improvement techniques"
- Woodley, C. C., Chapter 4 "Practical applications of weld toe grinding"
- Haagensen, P. J., Chapter 5 "Effect of TIG dressing on fatigue performance and hardness of steel weldments"
33. Maddox, S. J. "International efforts on fatigue of welded construction." *Welding & Metal Fabrication*, December 1992.
34. Commission IIW Working Group 2—Improvement Techniques. *Proposed IIW Specification for Weld*

- Toe Improvement by Hammer Peening or Burr Grinding*, 1993.
35. Takenouchi et. al. *Fatigue Performances of Repairing Welds with TIG-Dressing for Fatigue Damaged Highway Bridges*, IIW Doc. XIII-1509-93. Japan, 1993.
36. Welsch, W. "Peening improves fatigue life." *Welding Design & Fabrication*, September 1990.
37. Connect, No. 12, The Welding Institute, Cambridge, England, (from *AWS Welding Journal*, February 12, 1991).
38. CETIM/Centre Technique Des Industries Mecaniques. *Improving the Fatigue Strength of Welded Joints by TIG or Plasma Dressing*. IIW Doc. XIII-WG2-10-91, 1991.

Tabla C-8.1
Guía para la idoneidad de la soldadura (véase Sección C-8.2.2)

Categoría de estructura	Metal base			
	Aceros ASTM, ABS y API según 3.3 y Tabla 3.1	Aceros descontinuados, desconocidos, aceros fundidos y aceros inoxidables	Hierro forjado	Hierro fundido
Estático o cíclico No tubular Sección 2, Parte B	Compruebe el estado precalificado según la Sección 3. Las WPS precalificadas se pueden utilizar según la Sección 3.	ASTM A7, A373, A441—Utilice la Tabla 3.1 (Grupo II) y la Sección 3. Otros, consulte la Nota a.	Se aplican las Notas a y b.	Se aplican las Notas a y b.
No tubular cíclico Sección 2, Parte C	Compruebe el estado precalificado según la Sección 3. Las WPS precalificadas se pueden utilizar según la Sección 3.	ASTM A7, A373, A441—Utilice la Tabla 3.1 (Grupo II) y la Sección 3. Otros, consulte la Nota a.	Se aplican las Notas a y b.	No se recomienda.
Tubular Sección 9, Parte A	Las WPS precalificadas se pueden utilizar según la Sección 9.			
Tubular estático	Compruebe el estado precalificado según la Sección 9.	Se aplica la Nota a.	Se aplican las Notas a y b.	Se aplican las Notas a y b. No se recomienda.
Tubular cíclico	Compruebe el estado precalificado según la Sección 9.	Se aplica la Nota a.	Se aplican las Notas a y b.	No se recomienda.

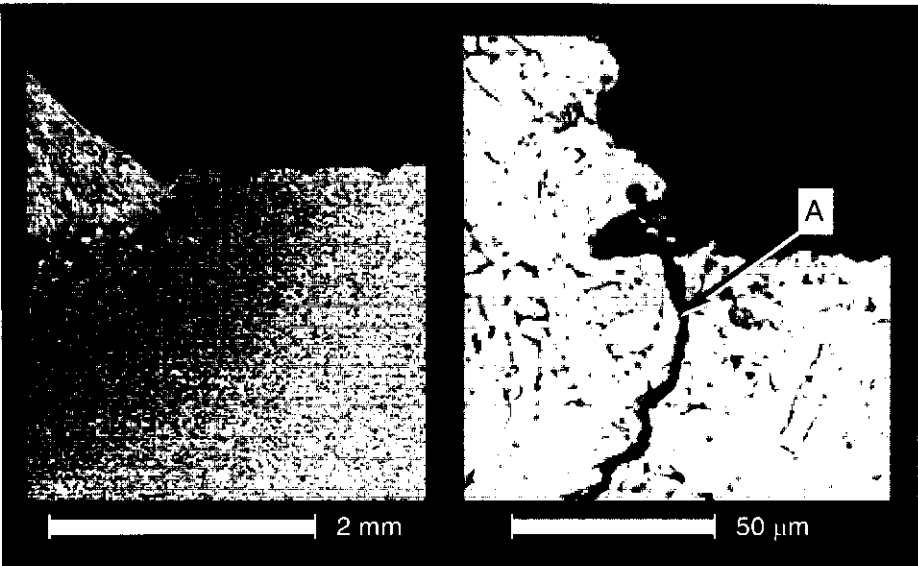
^a Idoneidad establecida para la soldadura: La existencia de soldadura anterior satisfactoria puede justificar el uso de los metales de aporte de la Tabla 3.2 (Grupo II). Si no se ha soldado anteriormente, obtenga muestras y prepare la calificación de WPS. Realice ensayos de soldadura in situ sobre un área segura de la estructura si no hay muestras disponibles.

^b Las personas calificadas para establecer la idoneidad de la soldadura deben suministrar una WPS por escrito y deben supervisar las operaciones de soldadura.

Nota: Se requiere una WPS por escrito y debe tener la aprobación del Ingeniero.

Tabla C-8.2
Relación entre el espesor de la placa y el radio de la fresa
[véase Sección C-8.4.1(2)]

Espesor de la placa (pulg.)	Espesor de la placa (mm)	Radio de la fresa (mm)
< 0.79	< 20	5
0.79–1.14	20–29	6
1.18–1.54	30–39	8
1.57–1.93	40–49	10
1.97–2.52	50–64	12
2.56–3.11	65–79	16
3.15–3.90	80–99	18
3.94–4.69	100–119	20
4.72–5.87	120–149	25
5.91–7.09	150–180	30



Cortesía de The Welding Institute UK, 1980.

Nota: Las intrusiones microscópicas en el pie de la soldadura actúan como discontinuidades preexistentes (véase la sección C-8.4.1).

Figura C-8.1—Intrusiones microscópicas

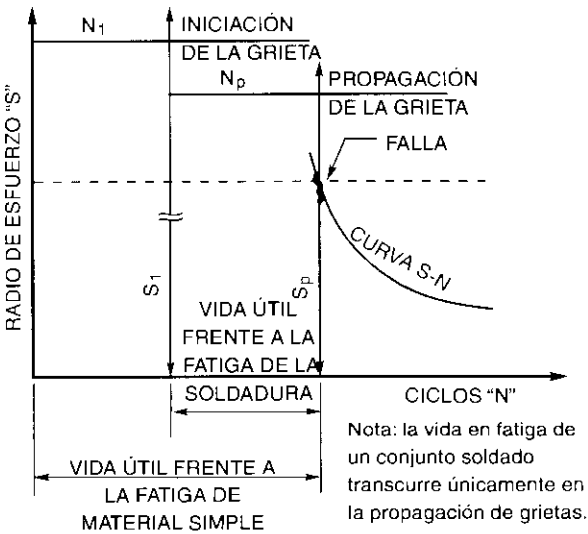


Figure C-8.2—Vida útil en fatiga (véase Sección C-8.4.1)

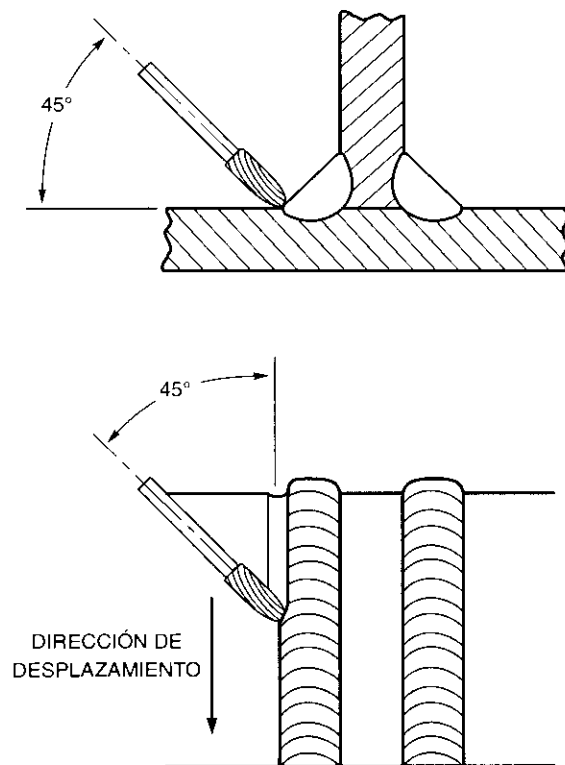


Figura C-8.3—Rectificación del pic con esmerilador de fresa (véase Sección C-8.4.1)

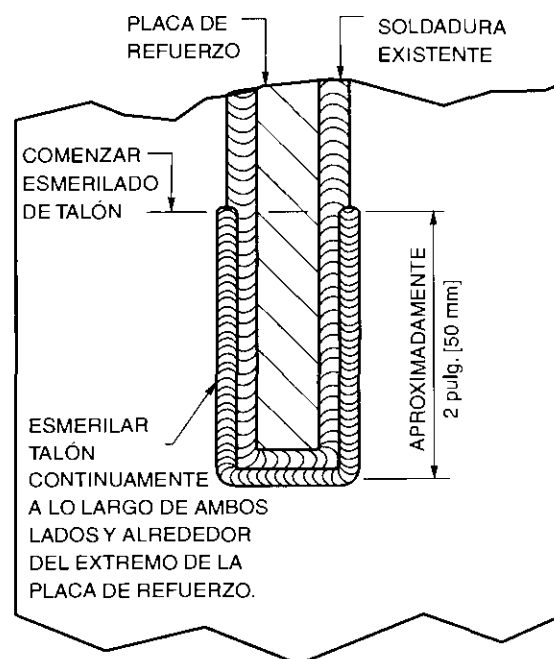


Figura C-8.4—Rectificación de pie normal al esfuerzo (véase Sección C-8.4.1)

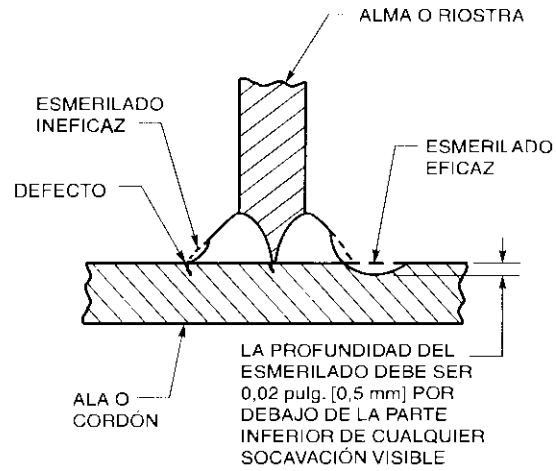


Figura C-8.5—Esmerilado efectivo del pie (véase Sección C-8.4.1)

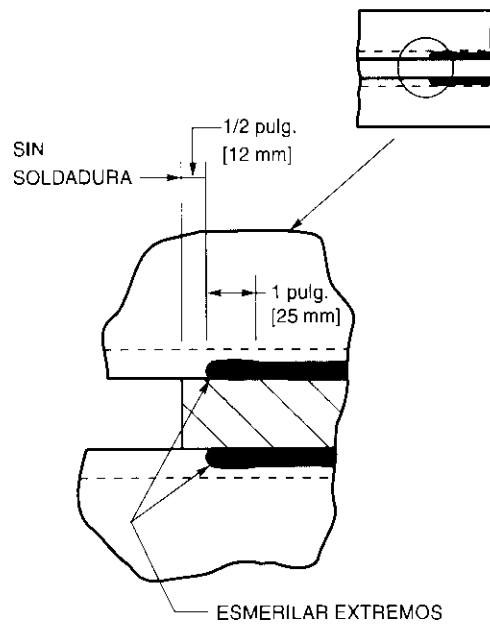


Figura C-8.6—Esmerilado final [véase Sección C-8.4.1(2)]

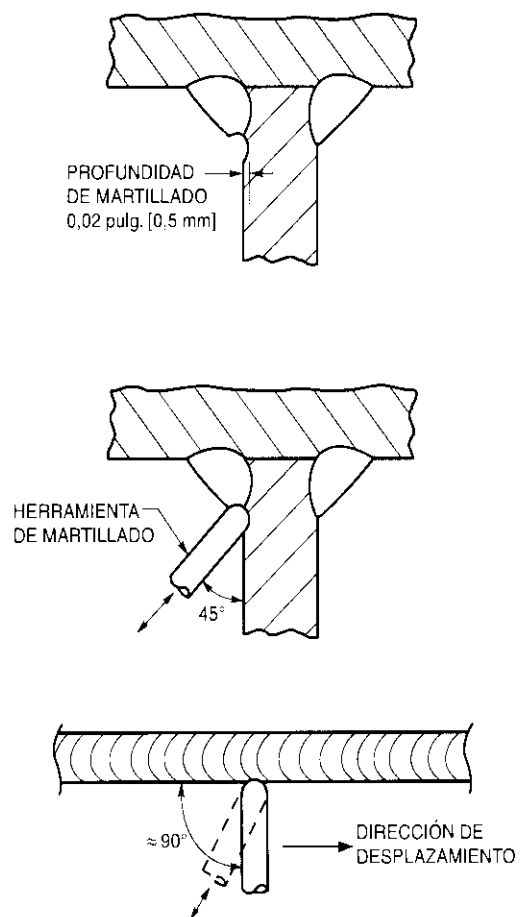


Figura C-8.7—Martillado
[véase Sección C-8.4.1(3)]

(Cortesía de S. Maddox, IIW, Com. XIII)

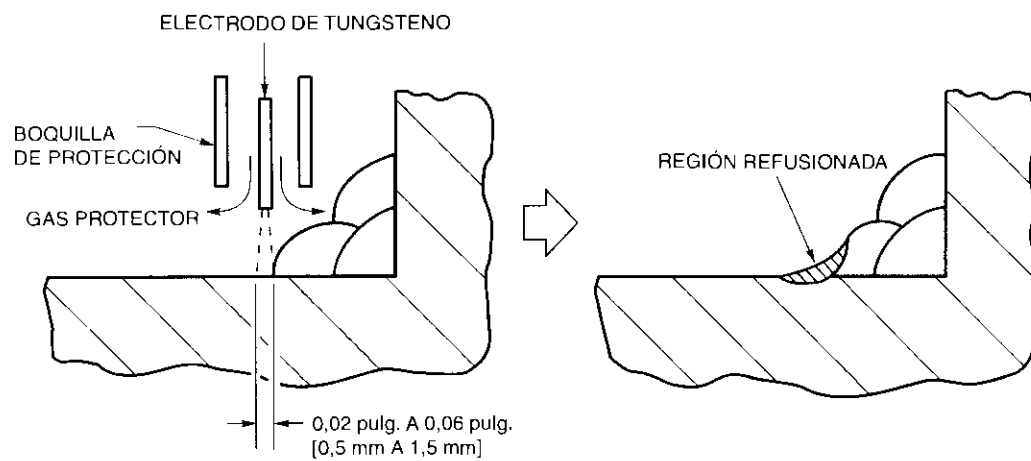


Figura C-8.8—Refusión del pie [véase Sección C-8.4.1(4)]

(Cortesía de P. Haagensen, IIW, Com. XIII)

C-9. Estructuras tubulares

Parte A *Diseño de conexiones tubulares*

C-9.1 Generalidades

Las disposiciones tubulares de este código evolucionaron originalmente a partir de un antecedente de las prácticas y experiencias con plataformas marinas fijas de construcción tubular soldada. Al igual que los puentes, tales plataformas están sujetas a una cantidad moderada de carga cíclica. Al igual que las estructuras de construcción convencionales, son redundantes hasta cierto grado en el que evitan que los fallos aislados de juntas lleguen a ser catastróficos. Se pretende que los requisitos de la Sección 9, Parte A, se apliquen generalmente a una amplia variedad de estructuras tubulares.

C-9.2 Esfuerzos admisibles

Esta parte aborda los esfuerzos admisibles para secciones tubulares. Incluye los requisitos para secciones en escuadra y rectangulares, así como también para tubos circulares.

En los tipos de conexiones tubulares de uso común, la soldadura en sí misma no puede ser el factor limitante de la capacidad de la junta. Las limitaciones, como una falla local (cizallamiento por punzonado), un colapso general del miembro principal y un desgarro laminar, se discuten puesto que no están cubiertas adecuadamente en otros códigos.

C-9.2.2 Esfuerzos del metal base. La limitación de las proporciones diámetro/espesor y anchura/espesor depende de la aplicación. Con referencia a la Tabla C-9.1, el lado izquierdo se relaciona con problemas del diseño de conexión cubiertos en el código AWS D1.1. Las tres primeras columnas definen los miembros robustos a los que se aplican las normas simplificadas de diseño; más allá de estos límites se realizan los cálculos más detallados que figuran en el código.

Los límites para el diseño de los miembros contra el pandeo local en diversos grados de plasticidad se muestran en el lado derecho. Estos son una mezcla de requisitos API, AISC y AISI. Naturalmente, los requisitos de la especificación de diseño que rigen tendrían prioridad aquí.

C-9.2.4 Esfuerzos de soldadura. Los esfuerzos admisibles de la unidad en las soldaduras se presentan en la Tabla 9.2. Esta tabla es una versión consolidada y condensada que enumera el esfuerzo admisible de la unidad de cada tipo de soldadura para la aplicación tubular y el tipo de esfuerzo que la soldadura experimentará. También se especifica el nivel de resistencia requerido del metal de soldadura. Esta tabla se presenta en el mismo formato que la Tabla 2.3.

C-9.2.7.2 Categorías de esfuerzo de fatiga. La base para las categorías de esfuerzo de fatiga se puede encontrar en la Referencia 1. Estas se derivaron de los datos de secciones circulares y proporcionan únicamente una guía aproximada para secciones rectangulares.

Las categorías de esfuerzo y las curvas de fatiga se han revisado con el fin de que sean consistentes con las disposiciones actuales de 2.16.2 para estructuras cargadas cíclicamente y la última revisión de API RP 2A (Referencia 9).

La parte inclinada de la mayoría de las primeras curvas se ha mantenido. De acuerdo con API, las curvas X y K se han dividido en dos curvas cada una. La curva superior representa las probetas de calidad de laboratorio a pequeña escala en la base de datos histórica (pre-1972), mientras que la curva inferior representa los ensayos a gran escala recientes que tienen soldaduras sin control de perfil. Para la interpretación de esto último, las ediciones anteriores de los códigos estadounidenses hacían hincapié en el perfil de soldadura mientras que las normas británicas propuestas (Referencia 12) hacían hincapié en los efectos del espesor. La hipótesis actual consiste en que el perfil de soldadura y el tamaño de los efectos son importantes para la comprensión del comportamiento en la fatiga, y que se relacionan entre sí. Esto es también un área donde el diseño y la soldadura no se pueden separar, y la sección 9.2.7.7 hace referencia a un conjunto coherente de prácticas "estándar" de control de perfil de soldadura y las selecciones de categoría de fatiga, como una función del espesor. Los perfiles mejorados y el esmerilado se discuten en la sección 9.2.7.6 junto con el martillado como un método alternativo de mejora de la fatiga.

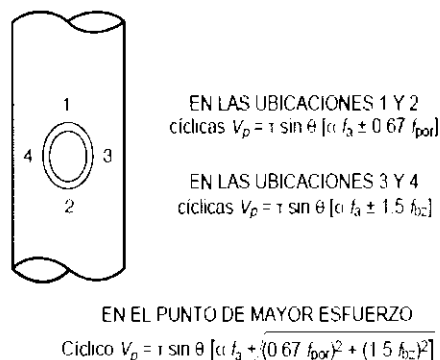
Los límites de resistencia en la mayoría de las curvas se han retrasado más allá de los tradicionales dos millones de ciclos. La base de datos histórica no proporcionó mucha orientación en esta área, mientras que los datos más recientes de las probetas más grandes soldadas

muestran claramente que la parte inclinada debe continuarse. Los puntos de corte son consistentes con los adoptados para estructuras cargadas cíclicamente y el servicio atmosférico. Para la carga al azar en un entorno marino, API adoptó un punto de corte de 200 millones de ciclos. Sin embargo, esto no corresponde para las aplicaciones AWS.

Con los puntos de corte revisados, se puede utilizar un único conjunto de curvas cuando se consideran las disposiciones de la sección 9.2.7.5.

Para la Categoría K (cizallamiento por punzonado para conexiones K-), la curva empírica de diseño se deriva de ensayos que implican cargas axiales en miembros ramales. La fórmula de cizallamiento por punzonado basada en consideraciones estáticas brutas (la acción de V_p en 9.6.1.1) y la geometría (9.5.3) no siempre produce resultados coherentes con lo que se sabe acerca de la influencia de varios modos de carga sobre el esfuerzo localizado en puntos calientes, sobre todo en los que implican doblado. Puesto que algunos de los parámetros pertinentes (por ejemplo, la distancia entre las barras transversales) no se incluyen, las siguientes aproximaciones simplificadas parecen ser más apropiadas para las conexiones típicas con $0.3 \leq \beta \leq 0.7$.

En estas fórmulas, los esfuerzos nominales del miembro ramal f_a , f_{por} , f_{bz} corresponden a los modos de carga mostrados en la Figura C-9.1. El factor α en f_a se ha introducido para combinar las antiguas curvas K y T en una sola curva. Otros términos se ilustran en la Figura C-9.5.



C-9.2.7.3 Limitación del esfuerzo admisible básico.

Los datos de fatiga muestran característicamente una gran cantidad de dispersión. Se han dibujado las curvas de diseño de manera que se sitúen en el lado seguro del 95% de los puntos de datos. Los criterios de diseño de AWS son apropiados para las estructuras a prueba de fallos en las que una falla por fatiga localizada de una única conexión no conduce inmediatamente al colapso. Para los miembros críticos cuya falla sería catastrófica, la proporción de daños acumulados por fatiga, D , tal como se define en 9.2.7.4, se limita a un valor fraccionario (es decir, 1/3) para proporcionar un factor de seguridad añadido. Esta afirmación supone que no hay sesgo conservador o factor de seguridad oculto en el espectro de cargas aplicadas utilizadas para el análisis de la fatiga (muchos códigos incluyen tal sesgo). Las Referencias 8 y 9 discuten la

aplicación de estos criterios a las estructuras marinas, incluidas las modificaciones que puedan ser apropiadas para la fatiga de alto ciclado bajo carga aleatoria y ambientes corrosivos.

C-9.2.7.6 Mejora del comportamiento de fatiga. El comportamiento de fatiga de las juntas tal como se soldaron se puede mejorar mediante la reducción del efecto de entalladura en el pie de la soldadura, o mediante la reducción de los esfuerzos residuales de tracción, que no se incluyen en el rango medido de deformaciones de punto caliente que utilizan los diseñadores. Los diversos métodos para mejorar el comportamiento de fatiga de las juntas soldadas, según se discute en la Referencia 11, son los siguientes:

- (1) mejorar el perfil tal como queda soldado (incluido el uso de electrodos especiales diseñados para generar una transición suave en el pie de la soldadura),
- (2) esmerilado de todo el perfil,
- (3) esmerilado del pie de soldadura,
- (4) refusión del pie de soldadura (revestimiento GTAW o revestimiento de arco de plasma),
- (5) martillado y
- (6) granallado.

Una práctica tradicional en la industria marina (pero que no se utiliza universalmente) para la mejora del perfil de soldadura se muestra en la Figura C-9.2. El perfil deseado es cóncavo, con un radio mínimo de la mitad del espesor del miembro ramal, y se funde suavemente con el metal de base contiguo. Lograr el perfil deseado tal como queda soldado por lo general requiere la selección de materiales de soldadura que tengan buenas características de humectación y de perfil, junto con los servicios de un especialista en nivelación por capas que haya dominado la técnica de pasadas de lavado de cordón estrecho para las distintas posiciones y geometrías que se puedan encontrar. A menudo se experimentan dificultades para lograr esto con los procesos de altas tasas de deposición en las posiciones sobrecabeza y verticales. La inspección del perfil de soldadura terminado es principalmente visual, y se aplica el ensayo de disco para resolver los casos dudosos. Las entallas relacionadas con el perfil de soldadura deseado se consideran inaceptables si se puede insertar un alambre de 0.04 pulg. [1 mm] entre el disco del radio especificado y la soldadura, ya sea en el pie de la soldadura o entre pasadas.

Ediciones anteriores de AWS D1.1 contenían un requisito menos estricto de perfil de soldadura. Algunos perfiles de soldadura increíblemente deficientes podían pasar este ensayo, con el efecto de entalla volviéndose más severo a medida que se incrementaba el espesor de los miembros. Investigaciones recientes en Europa han demostrado que la norma D1.1 anterior es inadecuada para distinguir entre conexiones tubulares soldadas que satisfagan los resultados de la clasificación de fatiga AWS X1, y aquellas que no los satisfacen (referencias 11 y 12).

El análisis del esfuerzo a la entalla y las consideraciones de mecánica de fractura, aunque confirman el carácter insuficiente de los antiguos requisitos de perfil para secciones pesadas, también indica que los requisitos más es-

trictos de la Figura C-9.2 son más eficaces en el mantenimiento del desempeño de fatiga Clase X1 en una amplia gama de espesores (Referencia 13). La Figura C-9.2 también sugiere el uso de esmerilado ligero para corregir los defectos del pie, como profundidad o socavación excesiva de la entalla. Una vez que se inicie el esmerilado, tenga en cuenta que la profundidad permitida de la entalla se reduce a 0,01 pulg. [0,25 mm]; simplemente aplanar las partes superiores de las pasadas de soldadura individuales, mientras se dejan cañones agudos en medio, hace poco para mejorar el desempeño de fatiga, a pesar de que cumpliría al pie de la letra con lo establecido en el ensayo de disco.

Dado que los pies de soldaduras contienen con frecuencia grietas microscópicas y otros defectos similares al agrietamiento, es necesario realizar un MT para asegurar que estos defectos se hayan eliminado. El uso sensato del esmerilado para resolver la indicación MT, a menudo se realiza de forma rutinaria como parte de la inspección y también mejora el perfil de soldadura.

Dependiendo de las circunstancias, puede ser más efectivo esmerilar todo el perfil de soldadura hasta que quede liso. Esto evitaría el uso de técnicas especiales de soldadura, la comprobación del perfil, el esmerilado correctivo y MT, como se describe anteriormente, para controlar el perfil tal como queda soldado. Para conexiones tubulares, con múltiples casquetes de pasadas cóncavas, las grietas de fatiga pueden comenzar en la entalla entre las pasadas. En esta situación, el esmerilado del pie de soldadura por sí solo no es tan eficaz como con los perfiles planos con soldadura en filete que se utilizaron en gran parte de la investigación.

Las técnicas de refusión del pie de soldadura pueden mejorar la geometría de la entalla en el pie de la soldadura, y se ha demostrado en el laboratorio que mejoran el rendimiento de fatiga de las conexiones soldadas. Sin embargo, a menos que se controle cuidadosamente, el rápido ciclo de calentamiento y enfriamiento tiende a producir HAZ inaceptablemente duras, con la posible susceptibilidad a la corrosión bajo agrietamientos en ambientes agresivos (por ejemplo, agua de mar).

El martillado con una herramienta de punta redonda también mejora la geometría del pie de la soldadura; esto induce, además, un esfuerzo residual de compresión en las capas superficiales donde de otro modo se iniciarían grietas de fatiga. La deformación excesiva del metal base puede hacerla susceptible a la fragilización por deformación desde las soldaduras siguientes cercanas. Además, las capas superficiales pueden estar tan manchadas como para ocultar o borrar las grietas preexistentes; de ahí la importancia del requisito de MT. El granallado es menos radical en sus efectos de deformación, pero también es menos eficaz en la mejora de la geometría.

Debe hacerse hincapié en que, para muchas aplicaciones de estructuras tubulares, las Clasificaciones X2, K2, y ET de rendimiento de fatiga serán suficientes, y no se requieren las medidas adoptadas anteriormente para mejorar el rendimiento de fatiga. Por otra parte, las prácticas "estándar" de perfil de soldadura que se describen en 9.11.2 pueden alcanzar las Clasificaciones de rendimiento de fatiga X1, K1, y DT para todas, excepto las secciones más pesadas.

C-9.2.7.7 Efectos del tamaño y del perfil. El efecto adverso del tamaño durante la fatiga de las conexiones soldadas está bien documentado (recientes Referencias 11, 12, y 13, así como también muchas otras anteriores). Para las juntas soldadas con una entalla afilada en el pie de la soldadura, la ampliación del tamaño de la soldadura y el tamaño de la entalla resultan en una disminución del desempeño en la fatiga. Cuando la aplicación excede la escala de la base de datos, el efecto del tamaño debe tenerse en cuenta para el diseño. La Referencia 12 sugiere la disminución de la resistencia a la fatiga en proporción a

$$\left[\frac{(\text{tamaño})}{(\text{límite de tamaño})} \right]^{0.25}$$

Otras autoridades (Referencia 14) indican un efecto más tenue del tamaño, que se aproxima a un exponente de -0,10.

El efecto de entalladura geométrica, en gran medida responsable del efecto del tamaño en las soldaduras, no está presente en los perfiles completamente esmerilados y es relativamente menor para aquellos perfiles que se funden suavemente con el metal base adyacente (categorías de Fatiga B y C1). Los límites de tamaño establecidos (más allá de los cuales se está por fuera de la base de datos histórica) para la mayoría de las otras categorías son similares a los que se citan en la Referencia 12, excepto que las dimensiones en pulgadas se han redondeado. Los límites más grandes de tamaño para las Categorías X2, K2, y DT reflejan el hecho de que estas curvas S-N ya se han dibujado para que descendan por debajo de los últimos datos de ensayo a gran escala.

La Referencia 13 discute el papel del efecto del tamaño en relación con el perfil de soldadura, a varios niveles de desempeño en la fatiga. Las prácticas "estándar" de perfil de soldadura para las conexiones T-, Y- y K contempladas en la sección 9.2.7.7 varían con el espesor de manera que se pueden definir dos niveles de desempeño en la fatiga que son independientes del tamaño. No obstante, cuando un perfil inferior se extiende más allá de su rango normal, el efecto del tamaño (reducción del rendimiento) entraría en juego. Los perfiles de soldadura "mejorados" que cumplen con los requisitos de la sección 9.2.7.6(1) mantienen el efecto de entalla constante sobre un rango amplio de espesores, mitigando así el efecto del tamaño. El perfil de superficie lisa de las soldaduras completamente esmeriladas tampoco muestra efecto alguno del tamaño. Puesto que el martillado solo mejora un volumen limitado relativo de la junta soldada, se esperaría que el efecto del tamaño apareciera muy pronto si el martillado es la única medida tomada. Sin embargo, el martillado no debe causar una penalización del efecto del tamaño cuando se realiza adicionalmente al control del perfil.

El efecto del tamaño también puede mostrarse en el comportamiento de la resistencia estática definitiva, puesto que las reglas de diseño se basan, en parte, en los ensayos de fractura por tracción. Para conexiones tubulares en T-, Y- y K-- que involucren aceros de alta resistencia de tenacidad a la entalla baja o desconocida, se recomienda seleccionar el perfil de Nivel I en lugar de las entallas más grandes permitidas por el Nivel II.

C-9.6 Limitaciones de la resistencia de las conexiones soldadas

En las conexiones tubulares, se pueden producir distintos modos de fallo únicos. Además de los controles habituales sobre el esfuerzo de soldadura previstos en la mayoría de los códigos de diseño, el diseñador debe comprobar lo siguiente:

CircularRectangular

- (1) Falla local*9.6.1.19.6.2.1
- (2) Colapso general9.6.1.29.6.2.2
- (3) Falla progresiva (descompresión)9.6.1.39.6.2.3
- (4) Problemas materiales9.89.8.1.3

*Las conexiones con traslape se cubren en las secciones 9.6.1.6 y 9.6.2.4, respectivamente.

C-9.6.1.1 Falla local. Los requisitos de diseño se expresan en términos del esfuerzo por cizallamiento por punzonado (véase Figura C-9.3 para el concepto simplificado de cizallamiento por punzonado). La situación real de esfuerzo localizado es más compleja de lo que sugiere este concepto, e incluye doblado de la protección así como también esfuerzo de la membrana. Cualquiera que sea el modo real de la falla del miembro principal, el V_p admisible es una representación conservadora del esfuerzo por cizallamiento promedio durante la falla en los ensayos estáticos de conexiones tubulares soldadas simples, incluido un factor de seguridad de 1.8. Para los antecedentes, el usuario debe consultar las referencias 1-6.

El tratamiento de secciones rectangulares se ha hecho lo más coherente posible con el de las secciones circulares. La derivación del V_p básico admisible para secciones rectangulares incluye un factor de seguridad de 1.8, en base al límite de los análisis mediante el uso de la resistencia a la tracción, que se supone que es 1.5 veces la fluencia mínima especificada. Es por esto que α (alfa) en la Tabla 9.6 limita a F_u en la fórmula de diseño para el cizallamiento por punzonado a 2/3 de la resistencia a la tracción.

Cuando es apropiado, también se asume una redistribución favorable de la carga. Se debe esperar a que se produzca fluencia localizada dentro de los niveles admisibles de carga. Se puede esperar una fluencia bastante general con deflexión superior a 0,02D a cargas superiores a 120%-160% de la carga estática admisible.

Alternativas al enfoque de cizallamiento por punzonado para el dimensionamiento de las conexiones tubulares se pueden encontrar en la bibliografía (por ejemplo, la Referencia 3). Sin embargo, tales normas empíricas, particularmente las ecuaciones de diseño que no están completas en términos dimensionales, se deben limitar en cuanto a la aplicación a las configuraciones y tamaños (y unidades) de tubos desde los cuales se derivan.

En la edición de 1984, se realizaron cambios sustanciales en los requisitos de cizallamiento por punzonado para secciones circulares, con el fin de actualizarlos. Se incluye:

(1) La eliminación de K_a y K_b de la fórmula para V_p actuante. Aunque es lógico desde el punto de vista de la geometría y la estática, esto produce tendencias inadecuadas

en comparación con los datos de ensayo sobre la resistencia de las conexiones tubulares.

(2) Nuevas expresiones para el V_p básico admisible y un nuevo modificador Q_q , que generan resultados numéricamente similares a los de la Referencia 2.

(3) La introducción del parámetro ovalizante de cordón, α , que coincide con los resultados disponibles de las juntas de plano único y ofrece una extensión prometedora para las juntas multiplanares (Referencia 3).

(4) Una nueva expresión para Q_t , en base a los ensayos recientes de Yura (Referencia 4).

(5) La interacción no lineal entre la carga axial y el doblado en el miembro ramal, en base al comportamiento totalmente plástico de las secciones tubulares (Referencia 5).

La Figura C-9.4 muestra la fiabilidad de los nuevos criterios de cizallamiento por punzonado basados en alfa computarizada, como un histograma de la proporción del ensayo de resistencia máxima (ensayo P) con respecto a la admisible. Se utilizó la base de datos de la Referencia 6. Se eliminaron los ensayos inapropiados y se estimó un F_u conforme a la regla de los 2/3, como se describe en el documento IIW XV-405-77.

El clúster de resultados de ensayo se agrupa solo en el lado seguro del factor nominal de seguridad de resistencia definitiva de 1.8. Mediante un formato de índice de seguridad logarítmico-normal, la resistencia máxima mediana para las juntas que presenten fallas por colapso plástico es de 3.45 desviaciones estándar por encima de la carga de diseño, comparable con los índices de seguridad de 3 a 4 para las conexiones en otros tipos de construcción. Al discriminar entre diferentes tipos de juntas, los nuevos criterios alcanzan una economía global similar y mayor seguridad que con los criterios menos precisos a los que sustituyen.

El factor de seguridad aparentemente más grande y el índice de seguridad que se muestra para ensayos de tracción están sesgados por el gran número de pequeños tubos en la base de datos. Si solo se consideran tubos con $t_c = 0.25$ pulg. [7 mm], el factor de seguridad medio desciende hasta 3.7; para $t_c = 0.5$ pulg. [13 mm], el factor de seguridad es solo 2.2. Teniendo en cuenta la singularidad (entalla aguda) en el pie de las soldaduras típicas, y el efecto desfavorable del tamaño sobre las fallas controladas por fractura, no se ha permitido ningún bono por carga de tracción.

En la edición de 1992, el código también ha incluido criterios de diseño para conexiones tubulares en el formato de resistencia máxima, 9.6.1.1(2) para secciones circulares. Esto se derivó de, y pretende ser equivalente a, los criterios de cizallamiento por punzonado anteriores. Se asumió el supuesto de pared delgada (es decir, sin corrección t_b/d_b) y la conversión para el doblado utiliza un módulo de sección elástica.

Cuando se utiliza en el contexto de AISC-LRFD, con un factor de resistencia de 0.8, esto equivale nominalmente al factor de seguridad de diseño (ASD) de esfuerzo admisible de 1.8 para estructuras que tienen 40% de carga muerta y 60% de cargas de servicio. El cambio del factor

de resistencia sobre el cizallamiento del material se hizo para mantener esta equivalencia.

LRFD cae en el lado seguro del ASD para estructuras que tienen una menor proporción de carga muerta. Los criterios AISC para los miembros de tracción y compresión parecen realizar el intercambio de equivalencia en alrededor de 25% de peso muerto. Por lo tanto, los criterios LRFD dados en este documento son nominalmente más conservadores para una parte mayor de la población de estructuras. Sin embargo, la corrección t_b/d_b al cizallamiento por punzonado no se realiza mediante $V_p = \tau \sin \theta f_n (1 - t_b/d_b)$.

El formato de cizallamiento por punzonado ASD también implica un enfoque muy conservador.

La Figura C-9.4 indica un índice de seguridad de 3,45, apropiado para la selección del manguito de junta como un miembro (el índice de seguridad es el margen de seguridad de los criterios de diseño, incluido el sesgo oculto, expresado en desviaciones estándar de incertidumbre total). Para una comparación adicional, en la Referencia 2 el Comité ASCE de estructuras tubulares deriva un factor de resistencia de 0,81 para los criterios de diseño de conexión tubular basados en Yura, determinando un índice de seguridad de 3,0.

Dado que los criterios de falla local en 9.6 se utilizan para seleccionar el miembro o cordón principal, la elección del índice de seguridad es comparable a la utilizada para el diseño de otros miembros, en lugar de los valores más altos a menudo citados para material de conexión, como remaches, pernos o soldaduras en filete, que plantean problemas adicionales de fiabilidad, por ejemplo, la ductilidad y la mano de obra local.

Para las estructuras marinas, tradicionalmente dominadas por la carga ambiental que se produce cuando están sin personal, el proyecto API RP2A-LRFD de 1986 propuso factores de resistencia más liberales de 0,90 a 0,95, que corresponden a un índice de seguridad objetivo reducido de 2,5 (en realidad, tan bajos como 2,1 para elementos de tracción). API también ajustó sus criterios de diseño para esfuerzo admisible para reflejar las proporciones típicas beneficiosas t_b/d_b .

En Canadá (Referencia 21), el uso de estos factores de resistencia con factores de carga ligeramente diferentes da como resultado una diferencia de 4,2% en el factor de seguridad global. Esto está dentro de la precisión de calibración.

C-9.6.1.2 Colapso general. Además de la falla localizada del miembro principal, que se produce en las inmediaciones del ramal soldado, se puede producir un modo más generalizado de falla por colapso general. En los miembros cilíndricos, esto se produce por una falla plástica ovalizante general en el protector cilíndrico del miembro principal. En secciones rectangulares, esto puede implicar abolladura o pandeo del alma de las paredes laterales del miembro principal (véase Referencia 15).

C-9.6.1.3 Distribución dispereja de carga (dimensionamiento de la soldadura). La distribución elástica inicial de la transferencia de carga a través de la soldadura en una conexión tubular es altamente no uniforme,

con la carga linear pico (kips/pulg o MPa/mm) que a menudo es un factor dos o tres veces más alto que el indicado en base a secciones, geometría, y estática nominales, según 9.5.3. Se requiere cierta fluencia local para que las conexiones tubulares redistribuyan esto y alcancen su capacidad de diseño. Si la soldadura es un eslabón débil en el sistema, se puede "descomprimir" antes de que esta redistribución pueda ocurrir.

Los criterios que figuran en el código tienen por objeto impedir esta descompresión, aprovechando los factores de seguridad más altos en los esfuerzos admisibles de soldadura que en otros lugares. Por ejemplo, la resistencia máxima de carga de línea de una soldadura en filete de 0,7t realizada con electrodos E70XX es 0,7t ($2,67 \times 0,3 \times 70$) = 39t, adecuado para que coincida con la carga de fluencia del material ramal de acero suave.

Otro ejemplo, si la carga de línea pico es en realidad el doble de la nominal, el diseño para 1,35 veces la carga de línea nominal resultará en un factor de seguridad de la junta de 1,8, cuando la resistencia de la soldadura es 2,67 veces su esfuerzo admisible. Las normas IIW, y los cálculos de resistencia basados en LRFD, sugieren que se requiere mayor concordancia de los tamaños de la soldadura, por ejemplo, 1,0t o 1,2t (1,07t en el borrador del Eurocódigo). Al poder resolver el problema fácilmente, no se han realizado muchos ensayos para validar la lógica anterior de AWS para soldaduras más pequeñas.

C-9.6.2 Conexiones rectangulares en T-, Y- y K- En D1.1-90 y ediciones anteriores del código, el tratamiento de secciones rectangulares se había hecho lo más coherente posible con el de las secciones circulares. La derivación del cizallamiento por punzonado V_p básico admisible para secciones rectangulares incluye un factor de seguridad de 1,8, en base a un simple análisis de límite de la línea de fluencia, pero mediante el uso de la resistencia a la tracción, que se supone que es 1,5 veces la fluencia mínima especificada. Es por esto que F_y en la fórmula diseño para cizallamiento por punzonado se limitó a 2/3 veces la resistencia a la tracción. Cuando es apropiado, también se asume una redistribución favorable de la carga. Se debe esperar a que se produzca fluencia localizada dentro de los niveles admisibles de carga. Se puede esperar una fluencia bastante general, con una distorsión de conexión superior a 0,02 D, en cargas superiores a 120%–160% de la carga estática admisible.

Se puede adoptar un enfoque racional a la resistencia máxima de conexiones rectangulares escalonadas, mediante el uso del teorema de límite superior del análisis del límite (véase Figura C-9.6) y patrones de líneas de fluencia (similares a los mostrados en la Figura C-9.7). Varios patrones de fluencia para las fallas plásticas en las caras del miembro principal se deben asumir con el fin de encontrar la capacidad mínima calculada, que puede ser igual o superior que el valor verdadero. Las esquinas de ventilador (como se muestra para la conexión en T) a menudo producen capacidades más bajas que las esquinas planas como se muestra para los demás casos. Los factores de diseño sugeridos, dados en la Tabla C-9.2, son consistentes con la forma de tomar ventaja del endurecimiento por deformación, la redistribución de la carga, etc., durante el uso de ensayos de fallas como base para los criterios de diseño empíricos. En general, se encontrará que la capacidad es una función de los paráme-

tres adimensionales de topología β , η , y ξ (definidos en la figura), así como también el espesor del cordón elevado al cuadrado (correspondiente a τ y γ en el formato de cizallamiento por punzonado).

Para valores β muy grandes (más de 0,85) y conexiones K- con espacios cercanos a cero, el análisis de la línea de fluencia indica una capacidad de conexión demasiado alta y poco realista. En tales casos, otras disposiciones limitantes basadas en la falla por cizallamiento material de las regiones más duras, y la reducción de la capacidad para las regiones más flexibles (es decir, anchura efectiva) pueden controlar el diseño.

A pesar de que los criterios anteriores de AWS cubrían estas consideraciones (Referencia 18), para el doblado así como también para la carga axial (Referencia 19), se han desarrollado expresiones con más autoridad que representan una base de datos mucho más grande que el CIDECT (Commité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire) ha desarrollado a lo largo de los años (Referencia 20) y por los miembros del Subcomité XV-E de IIW (Referencia 24). Estos criterios se han adaptado para el diseño del estado límite de estructuras de acero en Canadá (Packer et al, Referencia 21). El código canadiense es similar al formato AISC-LRFD. En la edición de 1992, estos criterios actualizados se incorporaron en el código AWS, mediante el uso del formato de resistencia máxima de espesor al cuadrado y los factores de resistencia de Packer, donde correspondía.

C-9.6.2.1 Falla Local. Los factores de carga varían de ecuación en ecuación para reflejar las diferentes cantidades de sesgo y dispersión evidente cuando estas ecuaciones se comparan con los datos de ensayo (Referencia 21). Por ejemplo, la ecuación para la falla plástica en las caras del miembro principal de T, Y y conexiones transversales se basa en el análisis de la línea de fluencia, haciendo caso omiso de la resistencia de reserva que proviene del endurecimiento por deformación; este sesgo proporciona el factor de seguridad con una Φ unitaria. La segunda ecuación, para el espacio de las conexiones K- y N- se derivó empíricamente, presentaba un sesgo menos oculto en el lado seguro y generaba un factor de menor resistencia.

En la transición entre las conexiones de espacio y las conexiones de traslape, existe una región para la que no se dan criterios. (véase Figura C-9.5). La práctica detallada de estructuras marinas suele proporcionar un espacio mínimo "g" de 2 pulg. [50 mm], o un traslape mínimo "q" de 3 pulg. [75 mm], para evitar la interferencia de la soldadura. Para las conexiones rectangulares de diámetro más pequeño, las limitaciones se expresan en relación con las proporciones de los miembros. Estas limitaciones también sirven para evitar el caso de pies en contacto para conexiones rectangulares escalonadas, en el que se crea una ruta de carga desproporcionadamente rígida que no puede manejar toda la carga que atrae, lo que puede dar lugar a una falla progresiva.

C-9.6.2.2 Colapso general. Para evitar una adaptación algo torpe del pandeo de columna admisible al problema de abolladura del alma de la sección rectangular (por ejemplo, Referencia 15), los criterios AISC-LRFD para fluencia, abolladura, y pandeo transversal del alma se han adaptado a los casos de carga de tracción, de una

cara y de dos caras, respectivamente. Los factores de resistencia dados son los de AISC. Packer (Referencia 22) indica una correlación razonablemente buena con los resultados disponibles de ensayos de conexión rectangular, en su mayoría de la variedad de dos caras.

C-9.6.2.3 Distribución dispereja de carga (ancho efectivo). Para secciones rectangulares, este problema se trata ahora en términos de conceptos de ancho efectivo, en los que se tiene en cuenta la entrega de carga a porciones más flexibles del cordón. Los criterios para las comprobaciones del miembro ramal se indican en la sección 9.6.2.3(1), con base empírica en el trabajo IIW/CIDECT. Los criterios para el cálculo de la carga en las soldaduras (9.5.5) se basan en el ensayo de Packer (Referencia 23) para las conexiones de espacio K- y N-; y sobre la extrapolación y la simplificación de los conceptos de ancho efectivo IIW para conexiones T- Y- y transversales.

C-9.6.2.4 Conexiones traslapadas. Al proporcionar la transferencia directa de la carga de un miembro ramal a otro en conexiones K- y N-, las juntas traslapadas reducen las demandas de punzonado en el miembro principal, lo que permite el uso de miembros de cordón más delgados en los armazones. En particular representa una ventaja en secciones rectangulares, en la que las preparaciones de los miembros terminales no son tan complejas como los de los tubos circulares.

Las conexiones totalmente traslapadas, en las que la riostra solapante se suelda por completo hacia la riostra de paso, sin contacto alguno con el cordón, tienen la ventaja de facilitar preparaciones terminales aún más simples. Sin embargo, el problema de perforación que se presentaba en el cordón para las conexiones de espacio, se transfiere ahora a través de la riostra, que también presenta cargas altas de cizallamiento y doblado de la viga durante la transferencia de tales cargas hacia el cordón.

La mayoría de los ensayos de las conexiones traslapadas se han realizado sobre casos de cargas perfectamente equilibradas, en los que la carga transversal por compresión de un ramal es compensada por la carga de tracción de la otra. En tales conexiones traslapadas, sometidas a cargas estáticas, equilibradas y predominantemente axiales, los ensayos han demostrado que no es necesario completar la soldadura "oculta" en el pie del miembro. Sin embargo, en las situaciones de diseño del mundo real, la carga de cizallamiento del cordón o cargas de viga horizontal localizadas se transmiten a los puntos de panel de una cercha en cargas desbalanceadas. En estas situaciones de desbalance, el miembro de mayor carga debe ser la riostra de paso, con toda su circunferencia soldada al cordón, y se requieren verificaciones adicionales de carga neta sobre la huella combinada de todos las riostras.

C-9.6.2.5 Doblado. Puesto que los criterios internacionales para la capacidad de doblado de las conexiones tubulares no están tan bien desarrollados como los de las cargas axiales, los efectos de los momentos principales de flexión se aproximan como una carga axial adicional. En el diseño, la expresión JD representa la mitad del brazo del momento entre los bloques de esfuerzo que crean el momento, de forma análoga a la mitad de diseño de concreto, debido a que solo la mitad de la capacidad axial se encuentra en cada lado del eje neutral. Varios es-

tados límite definitivos se utilizan para derivar las expresiones para JD en la Tabla C-9.3. Para la plastificación de la parte frontal del cordón, se supone un cizallamiento por punzonado o una capacidad de carga lineal uniforme. Para el límite de resistencia al cizallamiento del material, se utiliza el ancho efectivo. El colapso general refleja un mecanismo de falla de la pared lateral. Por último, se da una expresión simplificada para JD, que de forma conservadora se puede utilizar para cualquiera de los modos de fallo que rigen.

Se debe tener precaución cuando las desviaciones debidas a rotaciones de la junta podrían ser importantes, por ejemplo, el desplazamiento lateral de los pórticos en aplicaciones arquitectónicas. Las ediciones anteriores del código proporcionaban una disminución de 1/3 en la capacidad de conexión permitida para esta situación.

C-9.6.2.6 Otras configuraciones La equivalencia de los miembros ramales rectangulares y circulares en los cordones rectangulares se basa en sus respectivos perímetros ($0,785 \pi$). Esto en efecto aplica el concepto de cizallamiento por punzonado al problema, a pesar de que estos criterios internacionales siempre se dan en formato de resistencia máxima. Los resultados están en el lado seguro de los resultados de los ensayos disponibles.

C-9.8 Limitaciones de los materiales

Se puede adoptar un enfoque racional para la resistencia máxima de conexiones rectangulares escalonadas, mediante el uso del teorema de límite superior del análisis del límite (véase Figura C-9.6) y patrones de líneas de fluencia (similares a los mostrados en la Figura C-9.7. Varios patrones lineales de fluencia se deben asumir con el fin de encontrar la capacidad mínima calculada, que puede ser igual o mayor que el valor verdadero. Las esquinas de ventilador (como se muestra para la junta en T) a menudo producen capacidades más bajas que las esquinas planas como se muestra para los demás casos. Los factores de diseño sugeridos se indican en la Tabla C-9.2; estos están destinados a ser consistentes con los usados en el cuerpo del código. Para conexiones en T- y Y-, se encuentra que el modificador de la geometría es una función de η así como también de β en contraste con la expresión más simple dada en 9.5.1. Para conexiones en K-, el parámetro de espacio ξ también se debe tomar en cuenta. Los parámetros geométricos adimensionales, η , β , y ξ se definen en la Figura 9.2.

Para espacios que se aproximen a 0 y para una unidad de aproximación β muy grande, el análisis de la línea de fluencia indica una capacidad extremadamente alta y poco realista de la junta. Las disposiciones limitantes de 9.6.1.1 y 9.6.1.3 también se deben revisar.

C-9.8.1.3 Conexiones rectangulares en T-, Y-, o K-. Las conexiones tubulares están sujetas a concentraciones de esfuerzo que pueden dar lugar a fluencia local y deformaciones plásticas. Las entallas afiladas y discontinuidades en el pie de las soldaduras y las grietas por fatiga que se inician bajo cargas cíclicas, plantean exigencias adicionales en la ductilidad y la tenacidad a la entalla del acero, especialmente bajo cargas cíclicas. Estas demandas son especialmente severas en el miembro principal de conexión

tubulares en T-, Y- y K-. Las tuberías rectangulares formadas en frío (por ejemplo, ASTM A500 y tuberías fabricadas de placas dobladas) son susceptibles a la degradación de la tenacidad debido al envejecimiento por deformación en las esquinas, cuando estas regiones severamente deformadas se someten al calor, incluso a calor moderado de las soldadura cercanas. La idoneidad de estos tubos para el servicio previsto se debe evaluar mediante ensayos que representen a su estado final (es decir, deformado y envejecido, si el tubo no se normalizó después de la formación) (véase C-9.8.2.2 para un análisis de los requisitos de ensayos CVN).

C-9.8.2 Tenacidad a la entalla de metales base tubulares Algunos aceros se enumeran por el grupo de resistencia (Grupos I, II, III, IV y V) y la clase de tenacidad (Clases A, B y C) en las Tablas C-9.4, C-9.5 y C-9.6. Estos listados son de carácter orientativo para diseñadores, y siguen la práctica tradicional de estructuras marítimas, tal como se describe en la Referencia 9 y en los siguientes:

Grupos de resistencia. Los aceros se pueden agrupar de acuerdo con las características de nivel de resistencia y de la soldadura de la siguiente manera (véase también 3.3 y 3.5):

(1) El Grupo I designa aceros suaves estructurales al carbono con carga de fluencia mínima especificada de 40 ksi [280 MPa] o menos. El equivalente de carbono (que se define en el Anexo H, H6.1.1) es generalmente 0,40% o menos, y estos aceros se pueden soldar mediante cualquiera de los procesos de soldadura que se describen en el código.

(2) El Grupo II designa aceros de baja aleación de resistencia intermedia con cargas de fluencia mínima especificada de más de 40 ksi hasta 52 ksi [280 MPa hasta 360 MPa]. El equivalente de carbono varía en hasta un 0,45% y superior, y estos aceros requieren el uso de procesos de soldadura de bajo hidrógeno.

(3) El Grupo III designa aceros de alta resistencia y baja aleación con cargas de fluencia mínima especificada que exceden los 52 ksi a 75 ksi [360 MPa hasta 515 MPa]. Tales aceros se pueden utilizar, siempre y cuando se investigue lo siguiente de cada aplicación:

(a) Soldabilidad y WPS especiales que se puedan requerir. Generalmente, se presumirían las WPS de bajo hidrógeno.

(b) Los problemas de fatiga que pueden resultar del uso de esfuerzos de trabajo mayores, y

(c) La tenacidad a la entalla en relación con otros elementos de control de fractura, como fabricación, procedimientos de inspección, esfuerzo de servicio, y temperatura ambiente.

(4) Los Grupos IV y V incluyen aceros de construcción de más alta resistencia en el rango de más de 75 ksi hasta de 100 ksi de fluencia [515 MPa hasta 690 MPa]. Se debe ejercer extremo cuidado en relación con el control de hidrógeno para evitar el agrietamiento y la entrada de calor para evitar la pérdida de resistencia debido al templeado en exceso.

Clase de tenacidad. Las clasificaciones de tenacidad A, B, y C se pueden utilizar para cubrir varios grados de criticidad que se muestran en la matriz de la Tabla C-9.7, y como se describe a continuación:

La estructura primaria (o crítica a la fractura) comprende los elementos cuya falla sería catastrófica.

La estructura secundaria cubre los elementos cuya falla no conduciría a un colapso catastrófico, en las condiciones para las que la estructura podría ocuparse o tener la capacidad de generar daños mayores fuera del sitio (por ejemplo, contaminación), o ambas.

En las estructuras tubulares espacio-marco, no es probable que la fractura de una sola riostra o de su conexión de extremo conlleve a un colapso bajo cargas normales o incluso moderadamente severas. Sin embargo, la resistencia se reduce un poco y el riesgo de colapso bajo sobrecarga extrema aumenta correspondientemente.

(1) Los aceros de Clase C son aquellos que tienen un historial de éxito en la aplicación en las estructuras soldadas a temperaturas de servicio por encima de la congelación, pero para las cuales no se especifican ensayos de impacto. Tales aceros son aplicables a los miembros estructurales que implican espesor limitado, conformado moderado, restricción baja, concentración moderada de esfuerzo, carga casi-estática (tiempo de elevación de 1 segundo o más) y redundancia estructural de tal manera que una fractura aislada no sería catastrófica. Ejemplos de este tipo de aplicaciones son pilotaje, riostras en marcos espaciales, vigas de pisos y columnas.

(2) Los aceros de Clase B son adecuados para su uso cuando el espesor, el trabajo en frío, la restricción, la concentración de esfuerzos, y la carga de impacto o la falta de redundancia, o ambos, indican la necesidad de mejorar la tenacidad a la entalla. Cuando se especifican los ensayos de impacto, los aceros de Clase B deberán exhibir una energía CVN de 15 pies-lb [20 J] para el Grupo I, 25 pies-lb [34 J] para el Grupo II, y 35 pies-lb [48 J] para el Grupo III, a la temperatura de servicio más baja prevista. Los aceros que figuran en el presente documento como Clase B generalmente pueden cumplir con estos requisitos CVN a temperaturas que varían desde 50 °F a 32 °F [10 °C a 0 °C].

Ejemplos de tales aplicaciones son las conexiones en la estructura secundaria, y la riostra en una estructura primaria. Cuando se especifican los ensayos de impacto para el acero de Clase B, normalmente se utilizan los ensayos de calor-lote de conformidad con la norma ASTM A673, Frecuencia H. Sin embargo, no hay garantía positiva de que la tenacidad de Clase B estará presente en las piezas de acero que no se sometieron a ensayo.

(3) Los aceros de Clase A son adecuados para su uso a temperaturas bajo cero y para aplicaciones críticas que implican combinaciones adversas de los factores citados anteriormente. Las aplicaciones críticas pueden justificar los ensayos CVN a 36 °F–54 °F [20 °C–30 °C] por debajo de la temperatura de servicio previsible más baja. Este margen adicional de tenacidad a la entalla previene la propagación de fracturas por fragilidad desde discontinuidades grandes, y prevé detención de la formación de grietas en espesores de varias pulgadas. Los aceros enumerados en el presente documento como de Clase A pueden satisfacer en general

los requisitos CVN establecidos anteriormente a temperaturas que van desde –4 °F a –40 °F [–20 °C a –40 °C]. Los ensayos de impacto de la frecuencia para los aceros de Clase A deben cumplir con la especificación bajo la cual se ordena el acero; en ausencia de otros requisitos, se pueden usar los ensayos de calor-lote.

C-9.8.2.1 Requisitos del ensayo CVN. Estos requisitos mínimos de tenacidad a la entalla para los miembros de esfuerzo de secciones pesadas siguen las disposiciones propuestas recientemente por AISC. Se basan en gran medida en el fenómeno de cambio de temperatura descrito por Barsom (Referencia 16). El efecto de cambio de temperatura consiste en que los materiales cargados estáticamente presentan niveles similares de ductilidad que las probetas de ensayo CVN probadas a una temperatura más alta. Para aceros de mayor resistencia, los Grupos III, IV y V, el cambio de temperatura es menos eficaz. Además, las consideraciones de liberación de energía por la mecánica de la fractura sugieren valores más altos de la energía requerida. Los ensayos de calor-lote en aceros en estado bruto de laminación implican una exposición a una variación considerable del calor, mientras que los ensayos CVN muestran más dispersión que las propiedades de resistencia. Sin embargo, es mejor eso a que no se realicen ensayos en absoluto.

C-9.8.2.2 Requisitos LAST. Los miembros principales en conexiones tubulares están sujetos a concentraciones de esfuerzos locales que pueden dar lugar a fluencia y deformaciones plásticas locales en la carga de diseño. Durante la vida de servicio, la carga cíclica puede iniciar grietas de fatiga, generando demandas adicionales sobre la ductilidad del acero. Estas demandas son particularmente graves en juntas-manguitos de pared gruesa diseñadas para cizallamiento por punzonado.

C-9.8.2.3 Tenacidad a la entalla alternativa. Las condiciones que se indican en los puntos (1)–(4) a continuación deben considerarse al especificar los requisitos de tenacidad a la entalla.

(1) **Conexiones subacuáticas.** Para porciones subacuáticas de las plataformas marinas de tipo plantilla, API recomienda que el acero para los manguitos de juntas (los manguitos de junta de pierna de camisa de chapa, los cordones en las juntas principales X y K, y a través de los miembros de conexiones diseñadas como traslape) cumpla con uno de los criterios siguientes tenacidad a la entalla a la temperatura dada en la Tabla C-9.8.

(a) Desempeño sin ruptura del ensayo NLR de gota-peso. (preferido)

(b) Energía CVN: 15 ft-lb [20 J] para aceros del Grupo I, 25 ft-lb [34 J] para aceros del Grupo II, y 35 ft-lb [48 J] para aceros del Grupo III (ensayo transversal).

Los criterios NRL preferidos de detención grietas se derivan del uso Diagrama de análisis de fractura (Referencia 17), y de los fallos de las conexiones pesadas que cumplen con los criterios de inicio CVN cambiados por la temperatura. Para temperaturas de servicio de 40 °F [4 °C] o superiores, estos requisitos se pueden cumplir normalmente mediante el uso de cualquiera de los aceros de la clase A.

(2) **Servicio atmosférico.** Para las conexiones expuestas a temperaturas más bajas y a posible impacto, o para conexiones críticas en cualquier ubicación en la que se desea prevenir las fracturas por fragilidad, se deben considerar los aceros más duros de Clase A, por ejemplo, API Espec. 2H, Gr. 42 o Gr. 50. Para una fluencia de 50 ksi [345 MPa] y aceros de mayor resistencia, se debe prestar especial atención a los procedimientos de soldadura, con el fin de evitar la degradación de las HAZ. Incluso para el servicio menos exigente de las estructuras ordinarias, NO se recomiendan los siguientes grupos y clases de metales base para su uso como miembros principales de conexiones tubulares: IIC, IIIB, IIIC, IV y V.

(3) **Conexiones críticas.** Para conexiones críticas que implican restricción alta (incluidas las secciones de geometría adversa, alta carga de fluencia, secciones gruesas, o cualquier combinación de estas condiciones), y las cargas de tracción a través del espesor en servicio, se debe considerar el uso de acero con propiedades mejoradas a través del espesor (dirección Z), por ejemplo, Espec. API. 2H, Suplementos S4 y S5, o ASTM A770.

(4) **Extremos de riostra.** Aunque los extremos de riostra en conexiones tubulares también están sujetos a la concentración de esfuerzos, las condiciones de servicio no son tan graves como las del miembro principal (o manguito de junta). Para las riostras críticas, para las que las fracturas por fragilidad serían catastróficas, se debe considerar el uso de stubextremos en las riostras de la misma clase que el manguito de junta, o una clase inferior. Esta disposición se debe aplicar al cuerpo de las riostras (entre conexiones).

C-9.11 Requisitos de soldaduras en ranura con CJP

C-9.11.1 Juntas a tope. Cuando los detalles en ranuras en conexiones en T-, Y- y K- se desvían de los detalles precalificados de la sección 3.13.4, o cuando existen algunas dudas en cuanto a la idoneidad de estos detalles de junta para una nueva WPS, entonces, se debe solicitar una muestra o junta de muestra, con el fin de validar la WPS.

Parte C **Calificación de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS)**

C-9.12 Requisitos comunes para calificación de la WPS y del desempeño del personal de soldadura

C-9.12.1 Posiciones de soldadura de ensayo. Esta subsección define las posiciones de soldadura para las solda-

duras de ensayo y de las soldaduras de producción de calificación. La posición es una variable imprescindible para todas las WPS, excepto para los procesos EGW y ESW que solo se realizan en una posición. Se debe calificar cada WPS para cada posición que se va a utilizar en la fabricación. Las relaciones entre la posición y la configuración de la soldadura de ensayo de calificación, el tipo de soldadura y las posiciones calificadas se muestran en la Tabla 9.9. Es muy importante realizar pruebas y evaluaciones a las soldaduras que podrían encontrarse en la construcción antes de su uso real en el trabajo. Esto asegurará que todas las posiciones necesarias se sometan a ensayo como parte del proceso de calificación.

C-9.14 Tipos de ensayos de calificación, métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de la WPS

C-Tabla 9.10 Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificado. La calificación de la WPS para tubería incluye condiciones para tuberías de trabajo de gran diámetro. Esto está pensado para la calificación de la WPS de tuberías de gran diámetro mediante procesos automáticos de soldadura, como SAW, y se puede aplicar a cualquier proceso de soldadura que se pueda utilizar en tubos de gran diámetro, pero no en tuberías de 8 pulg. [200 mm] Sch. 120.

C-9.15 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares

La soldadura en miembros tubulares difiere de la utilizada en placas convencionales y construcción de ala ancha en varios aspectos importantes. A menudo, la posición cambia continuamente cuando se desplaza alrededor de la junta; en conexiones en T-, Y- y K-, la geometría de la junta también cambia. Con frecuencia, no hay acceso a la parte de la raíz de la soldadura; y las circunstancias pueden impedir el uso de respaldos (por ejemplo, el uso de tubos como conductos, o la complicada geometría de las conexiones en T-, Y-, y K-). Sin embargo, para muchas estructuras, las condiciones de servicio requieren que estas soldaduras cumplan con las cualidades de resistencia y rendimiento de fatiga convencionalmente asociadas con las soldaduras en ranura con CJP. Para satisfacer estas necesidades, se ha desarrollado un conjunto especializado de prácticas con respecto a las calificaciones de la WPS y del soldador, así como también los detalles de juntas precalificadas, para estructuras tubulares. Estas disposiciones complementan las que figuran en otras partes del código.

Se definen varias aplicaciones especializadas tubulares en las que se permite que las soldaduras en ranura con CJP se puedan soldar solamente desde el exterior, sin respaldo:

(1) **Juntas a tope de tuberías.** En las juntas a tope, las soldaduras en ranura con CJP hechas desde un lado están prohibidas bajo las disposiciones convencionales para estructuras cargadas cíclicamente y estructuras cargadas estáticamente, sin embargo, se utilizan ampliamente en aplicaciones de tuberías de presión. Ahora se permiten para estructuras tubulares, pero solo cuando se siguen todas las disposiciones especiales de la sección 9.15.2.

(2) **Conexiones en T-, Y- y K-.** Cuando los detalles de las ranuras en conexiones en T-, Y- y K- difieren de los datos precalificados de la sección 9.11.2, o hay algunas dudas en cuanto a la idoneidad de los detalles de juntas para WPS, entonces, se requiere una junta de maqueta o junta de muestra de conformidad con la sección 9.15.4.1, con el fin de validar las WPS.

Se pueden requerir ensayos adicionales de calificación de la WPS a causa de alguna variable esencial diferente del diseño de la junta. Estas circunstancias incluyen, entre otras, las siguientes:

- (a) El uso de un proceso fuera del rango precalificado (por ejemplo, GMAW-S).
- (b) El uso de metal base o materiales de soldadura fuera del rango precalificado (por ejemplo, el uso de aceros exclusivos o una pasada de raíz de hidrógeno no bajo en el material grueso).
- (c) El uso de condiciones de soldadura fuera del rango precalificado (por ejemplo, amperaje, voltaje, precalentamiento, velocidad y dirección de desplazamiento).
- (d) La necesidad de satisfacer los requisitos especiales de ensayo del Propietario (por ejemplo, ensayos de impacto).

La calificación para las soldaduras con CJP mediante el uso de secciones tubulares rectangulares que se detallan con conexiones en T-, Y- y K- de soldadura única requiere de ensayos adicionales como se indica en la Tabla 9.9 y se muestran en la Figura 9.27. En este ensayo, el soldador demuestra la habilidad y la técnica para depositar correctamente metal de soldadura alrededor de las esquinas de un miembro de tubo rectangular. Este ensayo de macroataque no se requiere para soldaduras en filete o soldaduras en ranura con PJP (véase Comentario C-9.19 para más detalles).

Para estos ensayos, las configuraciones de junta de las Figuras 9.25 y 9.27 se utilizan con el fin de simular la condición de la raíz y el acceso limitado de las conexiones en T-, Y- y K-. Luego de ello, se preparan las probetas convencionales para ensayos mecánicos, de conformidad con la Tabla 9.10.

También se abarcan las conexiones en T-, Y- y K- con PJP. Las pueden ejecutar soldadores que tengan las calificaciones comunes de tubería 2G más 5G. Esto podría ser ventajoso en zonas en las que los soldadores calificados con 6GR no estén fácilmente disponibles. Aunque se aplican los valores de fatiga más bajos admisibles, la resistencia estática de tales juntas es casi la misma que para

CJP, en particular cuando el acero suave se utiliza con metal de aporte E70.

C-9.15.4 Conexiones en T-, Y- o K- sin respaldo soldado desde un solo lado. Bajo condiciones descritas cuidadosamente (véase Figuras 9.12 y 9.14-9.16), el código permite que las soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y-, y K- se hagan desde un lado sin respaldo. La falta de acceso y la geometría compleja excluyen técnicas más convencionales. Se requiere que el soldador demuestre un alto nivel de habilidad (como se demuestra en el ensayo 6GR). Cuando se utilicen materiales concordantes (véase Tabla 3.1), se puede presumir que tales juntas igualan la resistencia de las secciones unidas según las limitaciones de las secciones 9.5 y 9.2.7.

Durante la realización de una soldadura en una conexión en T-, Y-, o K-, la geometría y la posición varían continuamente a medida que se avanza alrededor de la junta. Los detalles que se muestran en las Figuras 9.12 y 9.14-9.16 se desarrollaron a partir de la experiencia con las SMAW de todas las posiciones y las GMAW-S de congelación rápida. Estos detalles también son aplicables a los procesos FCAW con características similares de congelación rápida. Se consideró que las ranuras más anchas (y aberturas de la raíz más anchas) que se muestran para GMAW son necesarias para acomodar la punta envuelta de la pistola de soldadura. Aunque el proceso posterior no está precalificado para GMAW-S, los detalles de junta aún se pueden aplicar a tales WPS GMAW.

En muchas aplicaciones, en particular con pequeños tubos, el PJP de la sección 9.10.1 será completamente adecuado. A pesar de que requieren controles adicionales de resistencia por parte del diseñador, los requisitos menos estrictos para el acoplamiento y la habilidad del soldador resultan en ahorros significativos en el trabajo. Para tubos muy grandes en los que el acceso al interior es posible, son aplicables las soldaduras convencionales en ranura con CJP realizadas a ambos lados.

Para aplicaciones donde se requiere un mayor rendimiento de fatiga asociado con soldaduras en ranura con CJP para conexiones en T-, Y- y K-, el código hace referencia a un conjunto coherente de perfiles de soldadura "estándar", como se ha descrito anteriormente en C-9.2.7.7. Una vez que se conozca, esto debería convertirse en una progresión natural con espesor para que los soldadores la sigan. Se considera que han evolucionado de la siguiente experiencia.

Para las conexiones tubulares muy delgadas, los perfiles planos (Figura 9.14) representan aquellos comúnmente obtenidos sobre las pequeñas conexiones tubulares utilizadas para aplicaciones en tierra. También son similares a los perfiles obtenidos en algunos de los modelos a escala utilizados para desarrollar la base de datos histórica de fatiga. En este punto, toda la cobertura de soldadura se realiza en una sola pasada, con cordón oscilado u ondulado según se requiera. Mediante el uso de electrodos E6010, el especialista en cobertura más artístico podría hacer de este un perfil cóncavo, uniéndolo suavemente con el metal base adyacente. Con la llegada de aceros de mayor resistencia y secciones más pesadas, que requieren electrodos de bajo hidrógeno, y con la introducción de altas tasas de deposición y procesos semiautomáticos

de soldadura, esto parece haberse convertido en un arte perdido.

Para espesores más gruesos, se añade un filete definido en el pie de la soldadura según sea necesario para limitar el efecto de entalla del pie de la soldadura al de una soldadura en filete de 45° (véase Figura 9.15). Estas soldaduras en filete se escalan al espesor del miembro ramal a fin de aproximarse a una forma cóncava de la soldadura. Sin embargo, también estamos limitados por la necesidad de mantener los tamaños mínimos de la soldadura en filete para evitar la creación de durezas peligrosamente altas en la HAZ del pie de la soldadura (esta es también la ubicación del “punto caliente”, que puede experimentar fluencia localizada en los niveles de carga de diseño). Este perfil “estándar” alternativo es más fácil de comunicar a los soldadores, y más fácil para ellos realizarlo por la posición que por el perfil de soldadura cóncava idealizada que se muestra en las ediciones anteriores del código. El perfil de soldadura resultante es muy similar al observado en las plataformas tempranas en alta mar del Golfo de México, cuyo rendimiento de fatiga durante varias décadas de servicio ha sido coherente con las categorías X1, K1, y D1.

Para espesores de miembros ramales de más de 0,625 pulg. [16 mm] (típicamente asociados con espesores de cordón por encima de 1,25 pulg. [32 mm]), los diseñadores van más allá de la base de datos histórica de fatiga y la experiencia de las primeras plataformas del Golfo de México.

El efecto del tamaño comienza a manifestarse, y el rendimiento de fatiga comenzaría a declinar hacia el nivel inferior definido por las Categorías de fatiga X2 y K2, a menos que el perfil se mejore aún más. Los miembros ramales de 1,5 pulg. [38 mm] y espesores de cordón de 3 pulg. [75 mm] representan los límites de los ensayos europeos recientes a gran escala, y se esperarían más efectos adversos de tamaño (desempeño por debajo de X2 y K2) si se debiesen aumentar aún más los perfiles de soldadura fuertemente entallados. La Figura 9.16 describe un perfil de soldadura cóncava que se une suavemente con el metal base adyacente, lo que mitiga el efecto de entalladura y proporciona un nivel mejorado de rendimiento de fatiga para las secciones más pesadas.

Las probetas normalizadas de ensayo de juntas a tope de tuberías, especificadas en la Parte B de la Sección 4 para la calificación de la WPS, son satisfactorias para el establecimiento de la adecuación metalúrgica de las WPS y los materiales. No pueden cubrir toda la gama de variación continua de la geometría y la posición encontrada en conexiones estructurales en T-, Y- y K-.

Los detalles de juntas precalificadas indicados en la sección 9.11.2 se basan en la experiencia con maquetas a escala completa de este tipo de conexiones que a menudo revelan problemas prácticos que no aparecen en la probeta de ensayo estándar. El Código exige que la calificación de los procesos no precalificados y las WPS con variables esenciales fuera de los rangos precalificados cumplan con las disposiciones de la sección 9.15.4.1. En esta subsección se prevén ensayos de junta de muestra y maquetas tubulares. Las WPS para secciones rectangulares pueden basarse en cualquiera de los ensayos de placa o de tubería para posición y compatibilidad.

Cuando se consideren los ensayos de maqueta para secciones de rectangulares para conexiones en T-, Y- y K-, se deben utilizar tubos rectangulares.

Se requieren ensayos adicionales para las conexiones con ángulos de ranura de menos de 30°, tal y como se indica en la sección 9.15.4.2.

C-9.15.4.4 Soldaduras con requerimiento de tenacidad CVN. La tenacidad del metal de soldadura y de las HAZ deben basarse en las mismas consideraciones de ingeniería que se utilizan para establecer los requisitos de tenacidad del metal base. Sin embargo, evitar fracturas solo mediante el aumento de la tenacidad podría no ser efectivo en términos de costos. Se deben tener en cuenta el agrietamiento por fatiga, el agrietamiento en frío inducido por el hidrógeno y el agrietamiento en caliente por solidificación. Otras partes del código abordan estos otros problemas, mediante los requisitos de diseño, calificación, técnica e inspección. La tenacidad a la entalla solo nos ayuda a convivir con soluciones imperfectas.

Metal de soldadura. Los metales base con tenacidad a la entalla se deben unir con metales de aporte que posean propiedades compatibles. Las temperaturas de ensayo y los valores de energía mínimos en la Tabla C-9.9 se recomiendan para que coincidan con el desempeño de los diversos grados de acero que se enumeran en las Tablas C-9.4, C-9.5, y C-9.6. Cuando se requiere calificación de la WPS mediante ensayo (es decir, cuando la WPS no está precalificada, cuando el desempeño de impacto similar no se ha demostrado anteriormente, o cuando los consumibles de soldadura se deben utilizar fuera del rango de las variables esenciales cubiertas por ensayos anteriores), la calificación debería incluir ensayos CVN del metal de soldadura según fue depositado. Las probetas se deben retirar de la soldadura de prueba, y se deben someter a ensayo CVN, de conformidad con la Sección 4, Parte D, Requisitos para los ensayos CVN. Los valores de energía de una probeta única (una de tres) pueden ser de 5 pies-lb [7 J] menos sin que sea necesario volver a repetir el ensayo.

Dado que los requisitos de la WPS de AWS se ocupan principalmente de la resistencia a la tracción y la solidez (con énfasis menor en la tenacidad a la fractura), es apropiado considerar las variables esenciales adicionales que tienen una influencia sobre la tenacidad a la fractura, por ejemplo, combinaciones de marcas específicas hilo / fundente, y la restricción de los consumibles SAW a los límites ensayados para la clasificación de AWS. Tenga en cuenta que, para los aceros de Clase A, los niveles de energía superiores a los de las clasificaciones de AWS requieren que todas las WPS se califiquen mediante ensayo, en lugar de tener un estado precalificado.

El ensayo CVN es un método para la evaluación cualitativa de la tenacidad del material. Aunque carece de la base mecánica de fractura de los ensayos de desplazamiento de la abertura de la punta por agrietamiento (CTOD), el método ha sido y continúa siendo una medida razonable de seguridad contra fracturas, cuando se emplea con un programa definitivo de NDT para eliminar los defectos de la zona de soldadura. Las recomendaciones contenidas en este documento se basan en las prácticas que por lo general han aportado experiencia sa-

tisfactoria sobre fracturas en estructuras localizadas en ambientes con temperaturas moderadas (por ejemplo, exposición al agua de mar de 40 °F [4 °C] y exposición al aire 14 °F [-10 °C]). Para los entornos que son más o menos hostiles, se deben reconsiderar las temperaturas de ensayo de impacto, en base a exposiciones locales de temperatura.

Para conexiones soldadas críticas, es apropiado el ensayo CTOD más técnico. Los ensayos CTOD se realizan a temperaturas y tasas de deformación realistas, que representan las de la aplicación de ingeniería, utilizando probetas que tienen espesor prototipo completo. Esto arroja información cuantitativa útil para la ingeniería del análisis mecánico de la fractura y la evaluación de defectos, en los que el CTOD requerido está relacionado con los niveles previstos de esfuerzo (incluido el esfuerzo residual) y con los tamaños de discontinuidad.

Los requisitos de CTOD representativos varían desde 0,004 pulgadas a 40 °F [0,10 mm a 4 °C] a 0,015 pulgadas a 14 °F [0,38 mm a -10 °C]. El logro de niveles más altos de tenacidad puede requerir tomar algunas decisiones difíciles contra otros atributos deseables del proceso de soldadura, por ejemplo, la penetración profunda y la libertad relativa de la escoria atrapada de pasadas hacia arriba, frente a una entrada de calor más baja y capas de soldadura altamente refinadas de las pasadas hacia abajo.

HAZ. Además de la tenacidad del metal de soldadura, debe considerarse la posibilidad de controlar las propiedades de las HAZ. Aunque el ciclo de calor de las soldaduras a veces mejora los metales base de baja tenacidad en estado bruto de laminación, a menudo esta región presentará propiedades de tenacidad degradadas. Con frecuencia la HAZ es el sitio de agrietamiento debajo del cordón inducido por hidrógeno. Una cantidad de fallos prematuros en las juntas tubulares soldadas implicaban fracturas que se iniciaban en la HAZ, o se propagaban a través de ella, a menudo antes de una carga de fatiga significativa.

La Sección 4, Parte D ofrece requisitos de muestreo, para el metal de soldadura y la HAZ, debiendo especificar en los documentos contractuales la energía y temperatura del ensayo CVN. Por la experiencia, se ha encontrado que los valores promedio de HAZ de la Tabla C-9.10 son razonablemente alcanzables, cuando se permiten valores de energía de una sola probeta (una de tres) 5 pies-lb [7 J] menos sin necesidad de volver a repetir el ensayo.

A medida que incrementa la criticidad del desempeño del componente, las temperaturas de ensayo más bajas (lo que implica una WPS más restrictiva) proporcionarían HAZ que coincidirían más estrechamente con el desempeño del metal de soldadura y del material matriz adyacentes, en lugar de ser un posible enlace débil en el sistema. El Propietario también podría desear que se tenga en cuenta un muestreo más amplio de la HAZ que el único conjunto de ensayos CVN requeridos por la Sección 4, Parte D, por ejemplo, el muestreo a 0,4 mm, 2 mm y 5 mm desde la línea de fusión. (Estas dimensiones pueden cambiar con la entrada de calor.) Un muestreo más amplio aumenta la probabilidad de encontrar zonas frágiles locales con bajos valores de tenacidad.

Puesto que la tenacidad HAZ depende tanto del acero como de los parámetros de soldadura, una alternativa preferible para abordar este problema consiste en la precalificación de soldabilidad del acero. La Referencia 25 de la Sección C-2 detalla un procedimiento de precalificación, mediante el uso de CTOD, así como también de ensayos CVN. Actualmente, este ensayo de precalificación se está aplicando como requisito adicional para los aceros de alto rendimiento, como API Espec. 2W y 2Y, y algunos productores lo aceptan como requisito.

Precaución: La Sección 4 de este código permite probar un acero de 50 ksi [345 MPa] para calificar todos los demás grados de 50 ksi [345 MPa] e inferiores. En consecuencia, la selección de API-2H-50-Z (muy bajo contenido de azufre, CVN de repisa superior de 200 pies-lb [270 J]) para placas de ensayo de calificación prácticamente asegurará la satisfacción del requisito de ensayo CVN para HAZ de 25 pies-lb [34 J], incluso cuando se suelde con una alta entrada de calor y altas temperaturas entre pasadas. No hay manera razonable de extrapolar este ensayo para A572 ordinario de Grado 50 con la expectativa de reproducir las energías de impacto HAZ o la degradación 8:1 del ensayo en API-2H-50-Z. Por lo tanto, se debe considerar realizar ensayos CVN por separado de diferentes grados de acero, rangos de espesor y las rutas de procesamiento, si la tenacidad HAZ se está abordando mediante ensayos de la WPS.

Zonas frágiles locales (LBZ). Dentro de las HAZ de soldadura pueden existir zonas frágiles locales. Bajo ciertas condiciones, estas LBZ pueden ser perjudiciales. El Ingeniero debe considerar el riesgo de LBZ y determinar si las contramedidas se deben emplear para limitar el alcance de las LBZ y su influencia sobre el rendimiento estructural. A continuación enumeramos algunas contramedidas y circunstancias atenuantes para la práctica en costa afuera o alta mar:

(1) El uso de aceros con capacidades moderadas de captura de grietas, como se demostró mediante la no ruptura en el ensayo NRL de gota-peso (discontinuidad pequeña)

(2) Sobreajuste y endurecimiento por deformación en aceros al carbono-manganeso normalizados convencionales de 42 ksi a 50 ksi [290 MPa a 345 MPa] en los que el metal de soldadura y la HAZ tienen mayor carga de fluencia que el metal base adyacente, forzando a que las deformaciones plásticas se desplacen a otra parte

(3) La tendencia de las grietas por fatiga en las juntas tubulares soldadas a crecer fuera de la HAZ, antes de que alcancen el tamaño apreciable (asumiendo que se evita la tangencia desfavorable de la costura de unión soldada del manguito de la junta con la huella de la riostra)

(4) Los límites precalificados del espesor de la capa de soldadura en los procedimientos de soldadura, que junto con la observación de los límites sobre la entrada de calor, promueven el refinamiento del grano en la HAZ y reducen la magnitud LBZ.

(5) Los cambios en la composición, por ejemplo, los límites reducidos de vanadio y nitrógeno, y los límites aumentados de titanio

Parte D

Calificación del desempeño

C-9.17 Posiciones de soldadura de producción, espesores y diámetros calificados

C-Tabla 9.13. La soldadura sobre los perfiles de producto de material de tubos (o tuberías) no necesariamente significa que se esté realizando una soldadura de tubo. Obviamente, existe una diferencia entre soldar alrededor de un tubo y soldar a lo largo de un tubo paralelo a su eje (línea central). Una soldadura de contorno en una junta a tope es completamente diferente de una soldadura en ranura longitudinal que une una placa laminada para fabricar una tubería; una junta de rótula con una soldadura en filete es completamente diferente de una soldadura en filete a lo largo de la longitud de la tubería para adjuntar un tapón de placa. Obviamente, las habilidades para realizar una progresión en línea recta paralela al eje del tubo no son diferentes a las habilidades para soldar formas laminares forjadas mediante el uso de una progresión en línea recta; por lo tanto, la limitación de forma de producto de tubo no se aplica en estos casos de línea recta, véase Figura C-9.8.

La calificación de soldadores que utilizan tubos o tuberías de tamaño de trabajo se permite puesto que los tamaños de tubería especificados en la Tabla 9.14 para la calificación de soldadores no siempre están a disposición del Contratista.

C-9.19 Soldaduras en ranura con CJP para conexiones tubulares

Debido a las habilidades especiales que se requieren para ejecutar con éxito una soldadura en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- y K-, siempre se requiere el nivel de calificación de soldadores 6GR para el proceso que se está utilizando. Asimismo, cuando se van a utilizar ángulos de ranura de menos de 30°, también se requiere el ensayo de junta de muestra en ángulo agudo de la sección 9.15.4.2 para cada soldador. Cuando las secciones rectangulares se utilizan en la calificación de desempeño, los ensayos de doblado tomados de las caras no evalúan la capacidad del soldador para llevar el metal de soldadura de manera pareja alrededor de las esquinas relativamente abruptas. Estos ensayos de doblado no cumplen con las necesidades de soldaduras en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- y K- puesto que las esquinas de estas conexiones pueden estar sometidas a grandes esfuerzos. Debido a la necesidad de que los soldadores demuestren su habilidad para soldar las esquinas de tubos rectangulares cuando se requiere CJP, se desarrolló el ensayo de macroataque de la esquina de la Figura 9.27.

El ensayo de macroataque de la esquina que se muestra en la Figura 9.27 es un ensayo adicional de desempeño

requerido para soldadores que se espera que hagan soldaduras en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- K-.

Para este caso, solo sería necesario que los soldadores 6GR calificados sometidos a ensayos en tubos o tuberías redondas según la Figura 9.25 pasaran el ensayo adicional de macroataque de la esquina según la figura 9.27, siempre y cuando se cumplan todos los requisitos de la Tablas 9.13 y 9.15.4.2

Si el Contratista desea calificar a un soldador sin el estatus 6GR existente para soldaduras en ranura con CJP en conexiones en T-, Y- y K- utilizando tubos rectangulares, el soldador debe soldar el conjunto del ensayo 6GR de la Figura 9.25 y la Figura 9.26 utilizando un tubo redondo o rectangular de conformidad con las limitaciones de la Tabla 9.14. Además, el soldador debe aprobar el ensayo de macroataque de esquina usando la Figura 9.27 o, si se utilizaron secciones rectangulares, la Figura 9.25 o la Figura 9.26, realizando un ensayo de macroataque en las secciones de esquina de la soldadura de ensayo.

La calificación en ensayos de tubería 2G más 5G o 6G también califican para juntas a tope en secciones rectangulares (con aplicabilidad en base al espesor, sin tener en cuenta el diámetro), pero no viceversa. Por estas juntas a tope, el ensayo de macroataque de esquina de la Figura 9.27 no es necesario puesto que todas las juntas de producción requieren NDT según la sección 9.26.2.

La Tabla 9.14 no distingue entre las secciones de tubo (tubo circular) y las secciones rectangulares. Por esta razón, la siguiente interpretación es apropiada:

(1) La calificación en el ensayo de tubos 6GR también califica para conexiones en T-, Y- y K- y soldaduras en ranura en secciones rectangulares.

(2) La calificación en los ensayos de tubos 5G y 2G también califica para secciones rectangulares (con aplicabilidad en base al espesor, sin tener en cuenta el diámetro), pero no al revés.

(3) La clasificación para las soldaduras en ranura en secciones rectangulares también califica para la placa (y viceversa, si se encuentra dentro de la limitación de las Tablas 9.13 y 4.19 del código).

(4) Cuando se utilizan secciones rectangulares en la calificación, los ensayos de doblado realizados desde las caras no evalúan la capacidad del soldador para realizar soldaduras óptimas alrededor de las esquinas. Estos ensayos de doblado no cumplen con las necesidades de conexiones en T-, Y- y K-, debido a que las esquinas de estas conexiones están sometidas a esfuerzos altos. Cuando un ensayo 6GR utiliza secciones rectangulares, se recomienda RT para evaluar las esquinas.

También se abarcan las conexiones en T-, Y- y K- con PJP. Las pueden ejecutar soldadores que tengan las calificaciones comunes de tubería 2G más 5G.

Parte E **Fabricación**

C-9.23 Respaldo

C-9.23.1 Respaldo de longitud completa. La experiencia ha demostrado que una junta a tope en escuadra ajustada firmemente en el respaldo de acero que no esté soldada constituye una condición a la entalla severa, similar al agrietamiento, que puede producir grietas transversales en la soldadura cuando la zona no fundida es perpendicular al campo de esfuerzo. Tales grietas, en muchos casos, se propagarán en el metal base.

Las discontinuidades en el respaldo no se pueden evitar en algunos detalles, donde la geometría de la pieza requiere una discontinuidad y la falta de acceso no permite soldar el respaldo. El respaldo soldado paralelo al eje del miembro se deformará con el miembro. La discontinuidad sin soldar proporcionará una concentración de esfuerzo y fallará cuando sea perpendicular al campo de esfuerzo. La concentración de esfuerzo puede iniciar el agrietamiento. Las tensiones residuales, la retención alta y las cargas cíclicas aumentan el riesgo de tal agrietamiento. Los esfuerzos por compresión disminuyen el riesgo de formación de grietas a menos que haya esfuerzo inverso en el ciclo de esfuerzo aplicado. El código permite respaldo discontinuo en aplicaciones específicas seleccionadas o donde el Ingeniero lo apruebe.

C-9.24 Tolerancia de dimensiones de juntas

C-9.24.2.2 Corrección. Las aberturas de la raíz más amplias que las permitidas por la Figura 5.3 y la Tabla 9.15 se pueden corregir mediante la creación de uno o ambos lados de las caras de la ranura mediante soldadura. Durante la corrección de las aberturas de la raíz, se le recomienda al usuario obtener las aprobaciones necesarias del Ingeniero donde sea necesario. La soldadura final se debe realizar solo después de haber corregido la junta para ajustarla a la tolerancia especificada de abertura de la raíz, manteniendo así la contracción a un mínimo.

Parte F **Inspección**

C-9.26 NDT

C-9.26.1 Los requisitos de calidad de soldadura de estructuras tubulares son esencialmente los mismos que para las estructuras cargadas estáticamente. Generalmente, la RT no se puede aplicar con éxito a la inspección de conexiones tubulares en T-, Y- y K-.

C-9.26.2 Requisitos para conexiones tubulares. Los requisitos estáticos de RT de la sección 6.12.1 son aplicables a las soldaduras en ranura longitudinal en las juntas a tope con el refuerzo en su lugar. Para la carga cíclica, esto es consistente con el rango de esfuerzo admisible reducido de los detalles de la Categoría C. Si se retira el refuerzo de la soldadura para mejorar el rendimiento de fatiga, también sería consistente la mejora de los criterios RT cíclica de la sección 6.12.2.

Cuando se utiliza la UT como una alternativa a RT para soldaduras en ranura longitudinal en las juntas a tope, se utilizan normalmente criterios no tubulares, siguiendo la lógica del párrafo anterior. Los requisitos de UT tubular de la sección 9.27.1.1 Clase R son similares a la Sección VIII del *Código de Calderas y Recipientes a Presión* de ASME y también se puede considerar para las soldaduras en ranura longitudinal. Las disposiciones laxas para la condición de la raíz de las soldaduras en ranura longitudinal no son apropiadas para las soldaduras en ranura circunferencial cargadas cíclicamente en tracción.

Debido a la compleja geometría, RT no es aplicable a las soldaduras en conexiones tubulares a conexiones tubulares en T-, Y- y K-. Los criterios internos de aceptación UT interna de la sección 9.27.1.2 Clase X son apropiados, ya que el desempeño de fatiga es similar al de los perfiles soldados básicos con el refuerzo en su lugar. Cuando las mejoras de perfil superficial en la sección 9.2.7.6 son especificadas por el Ingeniero para mejorar el desempeño de fatiga de Nivel I en la Tabla 9.4, también sería apropiada una actualización de los criterios internos de inspección a la Clase R.

véase referencia P. W. Marshall, "Experience-Based, Fitness-for-Purpose Ultrasonic Reject Criteria for Tubular Structures," Fitness for Purpose in Welded Construction, Proc. AWS/WRC/WI Conference, Atlanta, Mayo de 1982 (también Proc. 2nd Int'l. Conference on Welding of Tubular Structures, IIW, Boston, 1984).

C-9.27 Prueba ultrasónica (UT)

C-9.27.1 Criterios de aceptación de UT para conexiones tubulares. Los procedimientos y criterios de aceptación de UT establecidos en la Sección 6, es decir, 6.13.1 y 6.13.2, no son aplicables a conexiones tubulares en T-, Y- y K-. Los criterios de aceptación para estas últimas se establecen en la sección 9.27.1. Los documentos del contrato deberán indicar el alcance de los ensayos, qué criterios de aceptación se aplican (Clase R o Clase X), y cuando sean aplicables. Debido a la compleja geometría de las conexiones tubulares en T-, Y- y K-, no se aplican los procedimientos de UT estandarizados paso a paso, como los que figuran en la Sección 6. Cualquier variedad de equipos y técnicas puede ser satisfactoria a condición de que se reconozcan los siguientes principios generales.

La técnica de inspección debe tener en cuenta la geometría de la junta en su totalidad. Esto se puede simplificar mediante la idealización de las porciones localizadas de soldaduras como si unieran dos placas planas, en cuyo caso las variables principales son los ángulos diedros locales, el espesor del material, y la preparación del bisel; los efectos de la curvatura pueden entonces volverse a in-

troducir como correcciones menores. Son útiles las tarjetas de trazado que superponen el haz de sonido en una vista en sección transversal de la soldadura. Las inspecciones deben hacer referencia al eje de soldadura local en lugar de al eje de la ríostra. Debe hacerse todo lo posible para orientar los haces de sonido perpendicularmente a la línea de fusión de la soldadura. En algunos casos, esto significará una inspección múltiple con una variedad de ángulos de transductor.

El uso de calibraciones de amplitud para estimar el tamaño de la discontinuidad debe considerar la atenuación de la trayectoria del sonido, el mecanismo de transferencia (para corregir las diferencias en la rugosidad de la superficie y la curvatura) y la orientación de la discontinuidad (por ejemplo, una discontinuidad de la superficie puede producir un eco más grande que una discontinuidad interior del mismo tamaño). La corrección de transferencia se describe en la sección 3.6.5 de la Referencia 10.

La calibración de la amplitud se vuelve cada vez más difícil para los diámetros pequeños (por debajo de 12 pulg. [300 mm]) o con paredes delgadas (por debajo de 1/2 pulg. [12 mm]), o ambos. En el área de la raíz de conexiones tubulares en T-, Y- y K-, a menudo se encuentran presentes reflectores de esquina prominentes que no se pueden evaluar únicamente en base a la amplitud; en este caso, las técnicas de contorno del haz son útiles para determinar el tamaño de las discontinuidades más grandes de auténtica preocupación. Las técnicas de contorno del haz se describen en la sección 3.8.3.2 de la Referencia 10 de C-2.

Los criterios de aceptación de UT deben aplicarse según lo disponga el Ingeniero, teniendo en cuenta los siguientes factores:

(1) Para conexiones tubulares en T-, Y- y K- que tengan soldaduras en ranura con CJP realizadas solo desde el exterior (véase Figuras 9.12 y 9.14–9.16), las discontinuidades de la raíz son menos perjudiciales y más difíciles de reparar que las presentes en otro lugar de la soldadura.

(2) Debe tenerse en cuenta que se pueden presentar falsas alarmas (discontinuidades UT que no se verifican posteriormente durante la reparación) y puede ocurrir que se pasen por alto algunas discontinuidades. Las primeras son parte del costo de la inspección, mientras que las segundas hacen hincapié en la necesidad de redundancia estructural y de acero resistente a la entalla.

C-9.28 Procedimientos de RT

C-9.28.2 Selección y colocación de IQI. Dado que la sensibilidad radiológica y la aceptabilidad de las radiografías se basan en la imagen de los IQI requeridos, se presta especial atención en la descripción de la fabricación y en el uso de los IQI requeridos. Los IQI se colocan en los extremos de las juntas de soldadura donde se anticipa que la distorsión geométrica contribuye a la falta de sensibilidad en la radiografía como se muestra en las Figuras 6.6–6.9.

C-9.30 UT de conexiones tubulares en T-, Y- y K-

Los requisitos UT de esta sección representan el estado de la técnica disponible para el examen de las estructuras tubulares, especialmente conexiones T-, Y- y K-. La determinación de la altura de los reflectores alargados con una dimensión (H) menor que la altura del haz (véase Figura 9.30) es considerablemente menos precisa que la determinación de la longitud cuando los reflectores se extienden más allá de los límites del haz, y requiere más atención en lo que respecta a calificación y aprobación del procedimiento, y en la capacitación y certificación de los operadores de UT.

Esta sección establece los requisitos de los procedimientos, el personal y sus calificaciones. Se basa en gran medida en las prácticas que se han desarrollado para plataformas marinas fijas de construcción tubular soldada. Estos se describen en detalle en la Referencia 10.

Referencias para la Sección C-9

1. Marshall, P. W. y Toprac, A. A. "Basis for tubular joint design". *Welding Journal*. Welding Research Supplement, mayo de 1974. (También disponible como: American Society for Civil Engineers, preimpresión, 2008.)
2. Graff, W. J., et al. "Review of design considerations for tubular joints". *Progress Report of the Committee on Tubular Structures*, ASCE preimpresión 810043. Nueva York: mayo de 1981.
3. Marshall, P. W. y Luyties, W. H. "Allowable stresses for fatigue design". *Proceedings of The 3rd International Conference on The Behavior of Offshore Structures*. Boston: agosto de 1982.
4. Yura, Joseph A. et al. "Chord stress effects on the ultimate strength of tubular joints". PEMSEL Report 82.1. University of Texas: American Petroleum Institute, diciembre de 1982.
5. Stamenkovic, A. et al. "Load interaction in T-joints of steel circular, hollow sections", (con discusión de P. W. Marshall). *Journal of Structural Engineering*, ASCE 9 (109): septiembre de 1983. (véase también *Proceedings of International Conference on Joints in Stressed Steel Work*. Teeside Polytechnical Institute, mayo de 1981.)
6. Rodabaugh, E. C. "Review of data relevant to the design of tubular joints for use in fixed offshore platforms". *WRC Bulletin* 256, enero de 1980.
7. Cran, J. A., et al. *Hollow Structural Sections-Design Manual for Connections*. Canadá: The Steel Company of Canada (STELCO), 1971.
8. Marshall, P. W. "Basic considerations for tubular joint design in offshore construction". *WRC Bulletin* 193, abril de 1974.
9. American Petroleum Institute. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms*. API RP 2A, 17th Ed. Dallas: American Petroleum Institute, 1987.
10. American Petroleum Institute. *Recommended Practice for Ultrasonic Examination of Offshore Structural Fabrication and Guidelines for Qualification of Ultrasonic Techniques*. API RP 2X, 1st Ed. Dallas: American Petroleum Institute, 1980.
11. Haagensen, P. J. "Improving the fatigue performance of welded joints". *Proceedings of International Conference on Offshore Welded Structures*, 36. Londres, noviembre de 1982.
12. Snedden, N. W. *Background to Proposed New Fatigue Design Rules for Welded Joints in Offshore Structures*. Reino Unido: United Kingdom Department of Energy, AERE Harwell, mayo de 1981.
13. Marshall, P. W. "Size effect in tubular welded joints". ASCE Structures Congress 1983, Session ST6. Houston, octubre de 1983.
14. Society of Automotive Engineers. *Society of Automotive Engineers Fatigue Design Handbook*, AE-4. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1968.
15. Davies, G., et al. "The behavior of full width RHJS cross joints". *Welding of Tubular Structures*. *Proceedings of the 2nd International Conference*, IIW. Boston: Pergamon Press, julio de 1984.
16. Rolfe, S. T. y Barsom, J. M. *Fracture and Fatigue Control in Structures*. Prentice Hall, 1977.
17. Carter, R. M., Marshall, P. W., et al. "Material problems in offshore structures," *Proc. Offshore Tech. Conf.*, OTC 1043, mayo de 1969.
18. Marshall, P. W. "Designing tubular connections with AWS D1.1". *Welding Journal*, marzo de 1989.
19. Sherman, D. R. y Herlache, S. M. "Beam connections to rectangular tubular columns," AISC National Steel Construction Conference. Miami, FL, junio de 1988.

20. Giddings, T. W. y Wardenier, J. *The Strength and Behavior of Statically Loaded Welded Connections in Structural Hollow Sections*, Sección 6, monografía de CIDECT. British Steel Corp. Tubes Div., 1986.
21. Packer, J. A., Birkemoe, P. C. y Tucker, W. J. "Canadian implementation of CIDECT monograph 6," CIDECT Rept. 5AJ-84/9E, IIW Doc. SC-XV-84-072. Univ. of Toronto, julio de 1984.
22. Packer, J. A. "Review of American RHS web crippling provisions". *ASCE Journal of Structural Engineering*, diciembre de 1987.
23. Packer, J. A. y Frater, G. S. "Weldment design for hollow section joints", CIDECT Rept. 5AN-87/1-E, IIW Doc. XV-664-87. Univ. of Toronto, abril de 1987.
24. International Institute of Welding. IIW S/C XV-E, *Design Recommendations for Hollow Section Joints—Predominantly Static Loading*, 2nd Edition, IIW Doc. XV-701-89. Helsinki, Finlandia: International Institute of Welding Annual Assembly, septiembre de 1989.
25. American Petroleum Institute. *Recommended Practice for Pre-Production Qualification of Steel Plates for Offshore Structures*, API RP2Z, 1ª edición. Dallas: American Petroleum Institute, 1987.

Tabla C-9.1
Estudio de los límites de diámetro/espesor y ancho plano/espesor para tubos (véase C-9.2.2)

Para F_y en ksi									
Para diseño de conexión AWS				Para diseño de miembros					
Falla local $V_p \text{ final} = 0.57 F_{y0}$	Colapso general en fluencia de flanco de cordón	Cono- Cilindro 1:4 abocinado	Aplicabilidad de las normas en 9.6	Diseño completo de plástico	Momentos plásticos, rotación limitada	Momento de fluencia o límite del comportamiento elástico	Fluenci a axial total	Límite de fórmulas de pandeo local	
Tubos circulares 16 para conexión K 12 para T e Y 9 para X	-	30	$\frac{3300}{F_y}$	$\frac{1300}{F_y}$	$\frac{1500}{F_y}$	$\frac{6000}{F_y}$	60	300	API RP2A
				-	$\frac{2070}{F_y}$	$\frac{8970}{F_y}$	$\frac{3300}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{13\ 000}{F_y}$	AISC
Secciones rectangulares 8 para K y N 7 para T y K	22	20	$\frac{210}{\sqrt{F_y}} \leq 35$ Para conexio- nes de espacios	$\frac{190}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{210}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{238}{\sqrt{F_y} - 10}$ a $M = S(F_y - 10)$	$\frac{238}{\sqrt{F_y}}$	Sin límite	AISI Clase A
			$\frac{190}{\sqrt{F_y}}$ Para traslape	$\frac{150}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{238}{\sqrt{F_y}}$		AISI Clase B		
Para F_y en MPa									
Para diseño de conexión AWS				Para diseño de miembros					
Falla local $V_p \text{ final} = 0.57 F_{y0}$	Colapso general en fluencia de flanco de cordón	Cono- Cilindro 1:4 abocinado	Aplicabilidad de las normas en 9.6	Diseño completo de plástico	Momentos plásticos, rotación limitada	Momento de fluencia o límite del comportamiento elástico	Fluenci a axial total	Límite de fórmulas de pandeo local	
Tubos circulares 112 para conexión K 84 para T e Y 63 para X	—	210	$\frac{23\ 100}{F_y}$	$\frac{9100}{F_y}$	$\frac{10\ 500}{F_y}$	$\frac{42\ 000}{F_y}$	60	300	API RP2A
				—	$\frac{14\ 490}{F_y}$	$\frac{62\ 790}{F_y}$	$\frac{8731}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{91\ 000}{F_y}$	AISC
Secciones rectangulares 56 para K y N 49 para T y K	15.4	140	$\frac{556}{\sqrt{F_y}} \leq 35$ Para conexio- nes de espacios	$\frac{503}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{556}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{630}{\sqrt{F_y} - 70}$ a $M = S(F_y - 70)$	$\frac{630}{\sqrt{F_y}}$	Sin límite	AISI Clase A
			$\frac{503}{\sqrt{F_y}}$ Para traslape	$\frac{397}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{630}{\sqrt{F_y}}$		AISI Clase B		

Notas

1. AISI Clase A – formado en caliente.

2. AISI Clase B – formado en frío y soldado.

3. El ancho plano se puede tomar como $D - 3t$ para el diseño de miembros de sección rectangular.

Tabla C-9.2
Factores de diseño sugeridos (véase C-9.6.2)

	Valor de K asumido	SF para cargas estáticas	SF cuando se aplica incremento de 1/3
Cuando se puede utilizar la resistencia máxima a la rotura de la conexión, que incluye efectos de endurecimiento por deformación, etc.:			
Estructuras a prueba de fallos y diseños consistentes con 9.5.1	1,5 ^a	1,8	1,4
Miembros críticos cuya falla sería catastrófica	1,5 ^a	2,7	2,0
Aplicaciones arquitectónicas, donde la deformación localizada sería objetable	1,0	1,7	1,3

^a Aplicable cuando el miembro principal, F_y , no haya superado los 2/3 de la resistencia mínima a la tracción especificada.

Tabla C-9.3
Valores de JD (véase C-9.6.2.5)

Modo de falla que rige	Doblado en el plano	Doblado fuera del plano
Falla plástica de la pared del cordón	$\frac{\eta D (\beta + \eta/2)}{2(\beta + \eta)}$	$\frac{\beta D (\eta + \beta/2)}{2(\eta + \beta)}$
Resistencia al cizallamiento del material del cordón	$\frac{\eta D (\beta_{cop} + \eta/2)}{2(\beta_{cop} + \eta)}$	$\frac{\beta D [\eta + \beta_{cop} (1 - \beta_{cop}/2\beta)]}{2(\eta + \beta_{cop})}$
Colapso general	$\frac{\eta D + 5t_c}{4}$	$\frac{D}{2}$
Ancho efectivo del miembro ramal	$\frac{\eta D (\beta_{coi} + \eta/2)}{2(\eta + \beta_{coi})}$	$\frac{\beta D [\eta + \beta_{coi} (1 - \beta_{coi}/2\beta)]}{2(\eta + \beta_{coi})}$
Aproximación conservadora para cualquier modo	$\frac{\eta D}{4}$	$\frac{\beta D}{4}$

Tabla C-9.4
Placas de acero estructural (véase C-9.8.2)

Grupo de resistencia	Clase de tenacidad	Especificación y grado		Carga de fluencia		Resistencia a la tracción	
				ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	ASTM A36	(a 2 pulgadas [50 mm] de espesor)	36	250	58-80	400-550
		ASTM A131	Grado A (a 1/2 pulgada [12 mm] de espesor)	34	235	58-71	440-490
I	B	ASTM A131	Grados B, D	34	235	58-71	400-490
		ASTM A573	Grado 65	35	240	65-77	450-550
		ASTM A709	Grado 36T2	36	250	58-80	400-550
I	A	ASTM A131	Grados CS, E	34	235	58-71	400-490
II	C	ASTM A242	(a 1/2 pulgada [12 mm] de espesor)	50	345	70	480
		ASTM A572	Grado 42 (a 2 pulgadas [50 mm] de espesor)	42	290	60	415
		ASTM A572	Grado 50 (a 1/2 pulgada [12 mm] de espesor) ^a	50	345	65	450
		ASTM A588	(4 pulgadas [100 mm] y por debajo)	50	345	70 min.	485 min.
II	B	ASTM A709	Grados 50T2, 50T3	50	345	65	450
		ASTM A131	Grado A1H32	45.5	315	68-85	470-585
		ASTM A131	Grado AH36	51	350	71-90	490-620
		ASTM A808	(la resistencia varía con el espesor)	42-50	290-345	60-65	415-450
		ASTM A516	Grado 65	35	240	65-85	450-585
		API Espec. 2H	Grado 42				
II	A		Grado 50 (a 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)				
			(por encima de 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	42	290	62-80	430-550
				50	345	70-90	483-620
		API Espec. 2W	Grado 42 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	47	325	70-90	483-620
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	42-67	290-462	62	427
				42-62	290-427	62	427
			Grado 50 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-75	345-517	65	448
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-70	345-483	65	448
				50-80	345-522	70	483
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-75	345-517	70	483
			Grado 50T (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	42-67	290-462	62	427
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	42-62	290-462	62	427
		API Espec. 2Y	Grado 42 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-75	345-517	65	448
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-70	345-483	65	448
			Grado 50 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-80	345-572	70	483
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	50-75	345-517	70	483
			Grado 50T (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	45.5	315	68-85	470-585
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	51	350	71-90	490-620
		ASTM A131	Grados DH32, EH32	50	345	70-90	485-620
			Grados DH36, EH36	42	290	63-83	435-570
		ASTM A537	Clase I (a 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	50	345	70-90	485-620
		ASTM A633	Grado A	50	345	70-90	485-620
			Grados C, D				
		ASTM A678	Grado A				
III	C	ASTM A633	Grado F	60	415	80-100	550-690
III	A	ASTM A537	Clase II (a 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)				
		ASTM A678	Grado B	60	415	80-100	550-690
		API Espec. 2W	Grado 60 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	60	415	80-100	550-690
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	60-90	414-621	75	517
				60-85	414-586	75	517
		API Espec. 2Y	Grado 60 (a 1 pulgada [25 mm] de espesor)	60-90	414-621	75	517
			(más de 1 pulgada [25 mm] de espesor)	60-85	414-586	75	517
		ASTM A710	Grado A, Clase 3	75	515	85	585
			(revenido y con tratamiento térmico de precipitación)	65	450	75	515
			hasta 2 pulgadas [50 mm]	60	415	70	485
IV	C	ASTM A514	(por encima de 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	90	620	110-130	760-890
		ASTM A517	(por encima de 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	90	620	110-130	760-896
V	C	ASTM A514	(a 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	100	690	110-130	760-895
		ASTM A517	(a 2-1/2 pulgadas [65 mm] de espesor)	100	690	110-130	760-895

^a A 2 pulgadas [50 mm] de espesor para práctica de acero calmado, de grano fino tipo 1 o 2.

Nota: véase lista de especificaciones citadas para conocer los títulos completos de las ya mencionadas.

Tabla C-9.5
Conductos de acero estructural y perfiles tubulares (véase C-9.8.2)

Grupo	Clase	Especificación y grado	Carga de fluencia		Resistencia a la tracción	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	API Espec. 5L Grado B ^a	35	240	60	415
		ASTM A53 Grado B	35	240	60	415
		ASTM A139 Grado B	35	240	60	415
		ASTM A500 Grado A (redondo)	33	230	45	310
		(conformado)	39	270	45	310
		ASTM A500 Grado B (redondo)	42	290	58	400
		(conformado)	46	320	58	400
I	B	ASTM A501 Grado A (redondo y conformado)	36	250	58	400
		API Espec. 5L Grado X42 (2% máx. de expansión en frío)	42	290	60	415
I	B	ASTM A106 Grado B (normalizado)	35	240	60	415
		ASTM A524 Grado I (hasta 3/8 pulgadas [10 mm] w.t.)	35	240	60	415
		Grado II (más de 3/8 pulgadas [10 mm] w.t.)	30	205	55–80	380–550
I	A	ASTM A333 Grado 6	35	240	60	415
		ASTM A334 Grado 6	35	240	60	415
II	C	API Espec. 5L Grado X42 (2% máx. de expansión en frío)	52	360	66	455
		ASTM A618	50	345	70	485
		ASTM A501 Grado B	50	345	70	485
II	B	API Espec. 5L Grado X52 con SR5, SR6 o SR8	52	360	66	455
III	C	ASTM A595 Grado A (formas cónicas)	55	380	65	450
		ASTM A595 Grados B y C (formas cónicas)	60	410	70	480

^a Soldaduras sin costuras o con costuras longitudinales.

Notas:

1. véase lista de especificaciones citadas para conocer los títulos completos de las ya mencionadas.
2. La tubería estructural también se puede fabricar de acuerdo con API Espec. 2B, ASTM A139+, ASTM A252+ o ASTM A671 usando los grados de placa estructural listados en la Tabla C-9.4, excepto que se pueden omitir los ensayos hidrostáticos.
3. Con soldaduras longitudinales y soldaduras circunferenciales a tope.

Tabla C-9.6
Perfiles de acero estructural (véase C-9.8.2)

Grupo	Clase	Especificación y grado	Carga de fluencia		Resistencia a la tracción	
			ksi	MPa	ksi	MPa
I	C	ASTM A36 (a 2 pulgadas [50 mm] de espesor)	36	250	58–80	400–550
		ASTM A131 Grado A (a 1/2 pulgadas [12 mm] de espesor)	34	235	58–80	400–550
I	B	ASTM A709 Grado 36T2	36	250	58–80	400–550
II	C	ASTM A572 Grado 42 (a 2 pulgadas [50 mm] de espesor)	42	290	60	415
		ASTM A572 Grado 50 (a 1/2 pulgadas [12 mm] de espesor)	50	345	65	480
		ASTM A588 (a 2 pulgadas [50 mm] de espesor)	50	345	70	485
II	B	ASTM A709 Grados 50T2, 50T3	50	345	65	450
		ASTM A131 Grado AH32	46	320	68–85	470–585
		ASTM A131 Grado AH36	51	360	71–90	490–620

Notas:

1. A 2 pulgadas [50 mm] de espesor para práctica de acero calinado, de grano fino tipo 1 o 2.
2. Esta tabla es parte del comentario sobre consideraciones de tenacidad para estructuras tubulares (o compuestos de formas tubulares y otras formas), por ejemplo, las utilizadas para las plataformas marinas. No se pretende indicar que las formas no listadas son inapropiadas para otras aplicaciones.

Tabla C-9.7
Matriz de clasificación para aplicaciones (véase C-9.8.2)

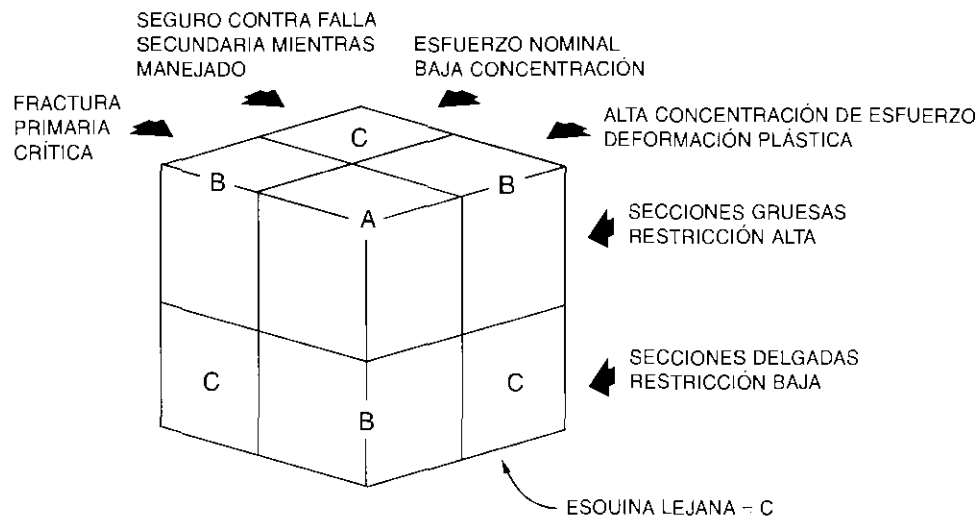


Tabla C-9.8
Condiciones de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN) (véase C-9.8.2.2)

Diámetro/Espesor	Temperatura de ensayo	Condición de ensayo
Más de 30	36 °F [20 °C] por debajo de LAST ^a	Placa plana
20-30	54 °F [30 °C] por debajo de LAST	Placa plana
Menos de 20	18 °F [10 °C] por debajo de LAST	Según se fabricó

^a LAST – más baja temperatura esperada de servicio.

Tabla C-9.9				
Valores de ensayo CVN (véase C-9.15.4.4)				
Grupo de acero	Clase de acero	Temperatura de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)	Metal de soldadura promedio	
			pies-libra fuerza	(Julios)
I	C	0 °F [-18 °C]	20	[27]
I	B	0 °F [-18 °C]	20	[27]
I	A	-20 °F [-29 °C]	20	[27]
II	C	0 °F [-18 °C]	20	[27]
II	B	-20 °F [-29 °C]	20	[27]
II	A	40 °F [-40 °C]	25	[34]
III	C	-20 °F [-29 °C]	20	[27]
III	B	-40 °F [-40 °C]	20	[27]
III	A	-40 °F [-40 °C]	30	[40]
IV y V	Investigación especial			

Nota: Los requisitos del código representan el mínimo denominador común más bajo de la tabla anterior.

Tabla C-9.10				
Valores de ensayo CVN HAZ (véase 9.15.4.4)				
Grupo de acero	Clase de acero	Temperatura de ensayo con el péndulo de Charpy (CVN)	HAZ	
			pies-libra fuerza	(Julios)
I	C	50 °F [10 °C]	Solo para información	
I	B	40 °F [4 °C]	15	[20]
I	A	14 °F [-10 °C]	15	[20]
II	C	50 °F [10 °C]	Solo para información	
II	B	40 °F [4 °C]	15	[20]
II	A	14 °F [-10 °C]	25	[34]
III	A	14 °F [-10 °C]	30	[40]

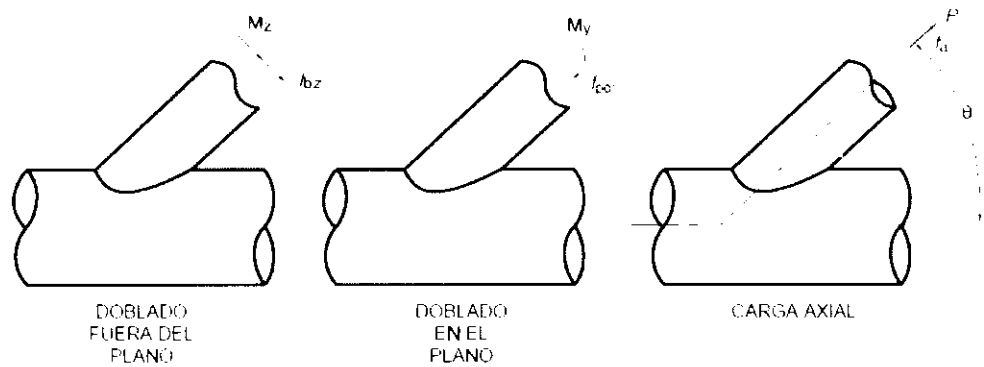
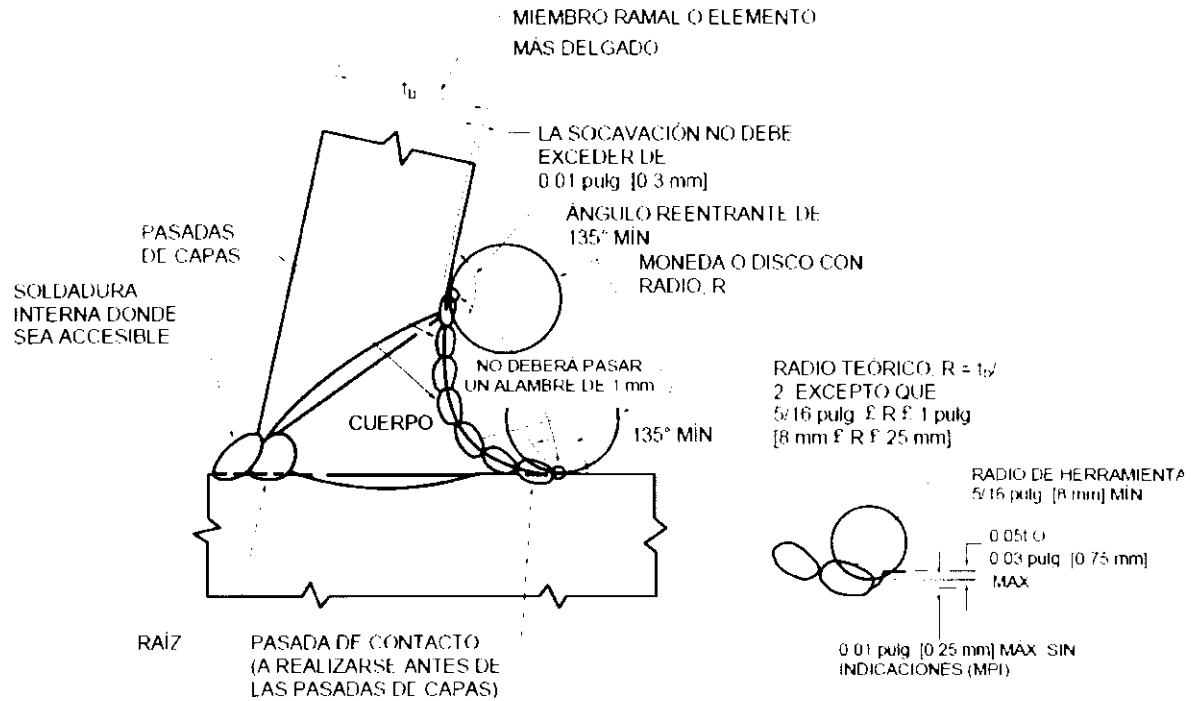


Figura C-9.1—Ilustraciones de los esfuerzos del miembro ramal correspondiente al modo de carga (véase C-9.2.7.2)



Nota: requisitos mínimos para soldaduras externas en conexiones tubulares designadas para cumplir con 9.2.7.6(1)

Nota: la indicación de MPI, la convexidad excesiva o la socavación en el pie de las pasadas del pie de la soldadura o entre pasadas adyacentes se pueden corregir mediante esmerilado ligero

Figura C-9.2—Requisitos mejorados de perfil de soldadura (véase C-9.2.7.6)

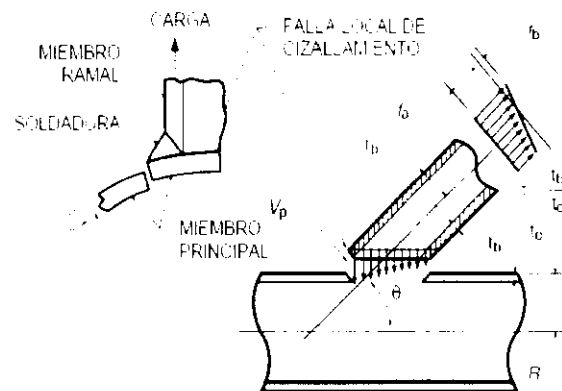
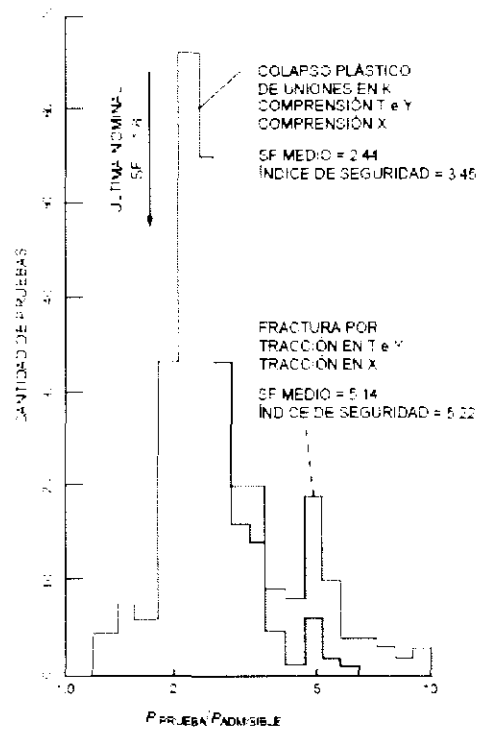


Figura C-9.3—Concepto simplificado de cizallamiento por punzonado (véase C-9.6.1.1)



Notas:

1. SF = Factor de seguridad.
2. Base de datos: 306 juntas (sin traslape) (véase Referencia 6).

Figure C-9.4—Criterio de confiabilidad del cizallamiento por punzonado usando alfa calculada (véase C-9.6.1.1)

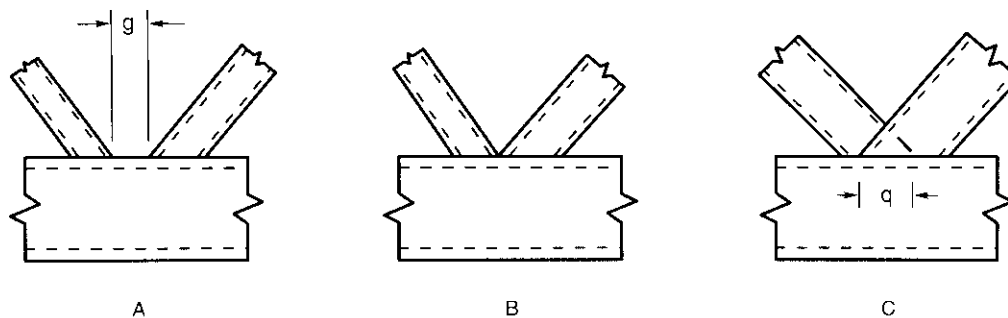
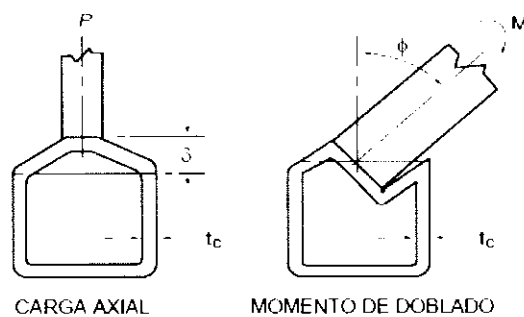


Figura C-9.5—Transición entre las conexiones de abertura o traslape (véase C-9.6.2.1)



$$\left. \begin{array}{l} P\delta \\ \text{o} \\ M\phi \end{array} \right\} = \frac{K}{SF} \frac{t_c^2 F_y}{4} \sum \text{Todas las líneas} a_i(L_i) \text{ de fluencia}$$

Clave:

K = Factor de resistencia de reserva para el endurecimiento por deformación, esfuerzo en tres ejes, gran comportamiento de deflexión, etc.

SF = Factor de seguridad

F_y = Tensión de fluencia especificada del miembro principal

a_i = La rotación regular de la línea de fluencia i según lo determinado por la geometría del mecanismo

L_i = Longitud del segmento de línea de fluencia

t_c = El espesor de la pared del cordón

Figura C-9.6—Teorema del límite superior (véase C-9.2.7.2, C-9.6.2, y C-9.8)

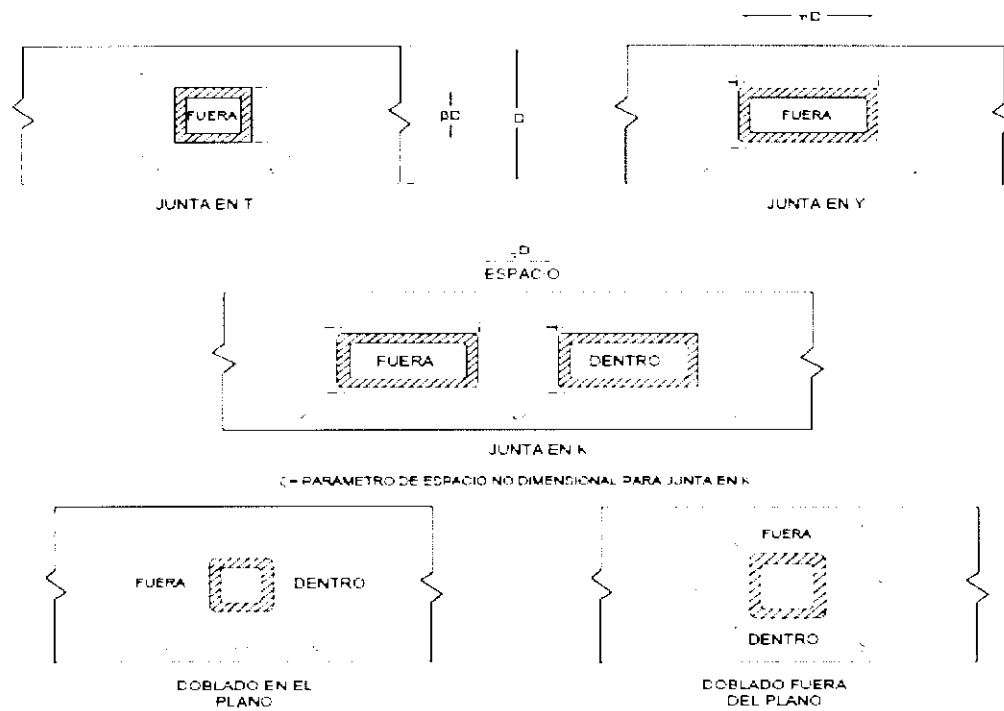


Figura C-9.7—Patrones de línea de fluencia (véase C-9.6.2 y C-9.8)

C-Anexo H

Pautas sobre métodos alternativos para la determinación del precalentamiento

Precalentamiento — Revisión de antecedentes y discusión

Observaciones generales. La probabilidad de que ocurra agrietamiento por hidrógeno depende de una cantidad de factores. Algunos de ellos se pueden clasificar como globales (por ejemplo, composición química y espesor) y por lo tanto se pueden definir, mientras que otros, como los factores locales (por ejemplo, los detalles de la geometría de la raíz de la soldadura o la segregación local de ciertos elementos químicos), no se pueden definir.

En algunos casos, tales factores pueden ser dominantes, lo que hace que sea prácticamente imposible predecir de manera racional las condiciones precisas de precalentamiento necesarias para evitar el agrietamiento por hidrógeno. Dichas situaciones deberían reconocerse a partir de la experiencia y se deberían adoptar procedimientos conservadores. Sin embargo, en la mayoría de los casos, con el conocimiento actual del fenómeno de agrietamiento por hidrógeno es posible predecir detalles de precalentamiento y de otros procedimientos de soldadura para evitar el agrietamiento por hidrógeno, lo cual sería efectivo en la mayoría de casos sin llegar a tener que adoptar medidas demasiado conservadoras.

Los niveles de precalentamiento pronosticados a partir de tal sistema deben ser compatibles con la experiencia. Los requisitos deben permitirle a los fabricantes optimizar las condiciones de precalentamiento para el conjunto particular de circunstancias que están enfrentando. Por lo tanto, en lugar de abogar por un cierto precalentamiento para una especificación determinada de acero, la guía alternativa permite que el precalentamiento se base en la química de la placa que se está soldando, tal y como se determina a partir de análisis o de informes de aceria. Entonces, mediante el conocimiento del conjunto particular de circunstancias que se tengan, los fabricantes podrían utilizar menores temperaturas de precalentamiento y adoptar un procedimiento más económico de soldadura. Por otra parte, los requisitos deben proporcionar una mejor orientación para las juntas más cruciales; por

ejemplo, en las situaciones de restricción alta que permitirán a los fabricantes tomar las medidas de precaución correspondientes.

Bases para la predicción del precalentamiento. La investigación ha mostrado que existen los siguientes cuatro prerequisites para que ocurra el agrietamiento por hidrógeno:

- (1) microestructura susceptible (la dureza puede dar una indicación aproximada de la susceptibilidad)
- (2) nivel adecuado de hidrógeno difusible
- (3) nivel adecuado de restricción
- (4) temperatura adecuada

Uno o más de estos prerequisites puede prevalecer, pero es necesaria la presencia de todos para que se produzca la formación de grietas por hidrógeno. Los medios prácticos para prevenir este agrietamiento, como el precalentamiento, están diseñados para controlar uno o más de estos factores.

En el pasado, se han tomado dos enfoques diferentes para predecir el precalentamiento. Sobre la base de una gran cantidad de ensayos controlados de severidad térmica (CTS) para soldaduras en filete, se ha propuesto un método basado en la dureza HAZ crítica (Referencias 1 y 2). Mediante el control de la velocidad de enfriamiento de la soldadura de manera tal que la dureza HAZ no exceda el nivel crítico, se puede eliminar el riesgo de agrietamiento por hidrógeno.

La dureza crítica aceptable puede ser una función del contenido de hidrógeno. Este enfoque no reconoce el efecto del precalentamiento sobre la eliminación del hidrógeno de la soldadura durante el enfriamiento; aunque en la guía se recomienda predecir una entrada mínima de energía para la soldadura sin precalentamiento, eso tiende a ser demasiado conservador al momento de predecir los niveles de precalentamiento.

El segundo método para predecir el precalentamiento se basa en el control de hidrógeno. Reconocer el efecto del índice de enfriamiento a baja temperatura, es decir, un índice de enfriamiento entre 572 °F y 212 °F [300 °C y 100 °C], se han determinado las relaciones empíricas entre el índice de enfriamiento crítico, la composición química y el contenido de hidrógeno mediante el uso de ensayos de soldadura en ranura de restricción alta (Referencia 3).

Otros investigadores han propuesto modelos más generalizados (Referencias 4, 5 y 6) mediante el uso de modelos simples de difusión de hidrógeno. Usualmente se incluye el contenido de hidrógeno como un término logarítmico. La ventaja de este enfoque consiste en que la composición del acero y el contenido de hidrógeno de la soldadura se pueden agrupar en un solo parámetro, que se puede considerar como representativo de la susceptibilidad a la fragilidad por hidrógeno. Entonces existe una relación entre el tiempo crítico de enfriamiento y este parámetro, para un nivel de restricción determinado. Es posible indexar las líneas para diversos niveles de restricción mediante las referencias a ensayos de gran escala o a la experiencia, y para otros tipos de soldaduras en filete (Referencia 7). Durante el desarrollo del método, se debe suponer que hay relación entre el precalentamiento específico y el tiempo de enfriamiento.

Es importante reconocer que los precalentamientos pronosticados a partir de estos modelos dependen del tipo de ensayo utilizado para suministrar los datos experimentales. Por lo general, la condición examinada en estos ensayos es la de pasada única raíz en una junta a tope. Esto se considera como lo más importante y se utiliza para determinar el precalentamiento; pero existen situaciones en las que es posible soldar la segunda pasada antes de que la primera pasada se enfríe (soldadura de tubo de estufa para soldaduras de contorno en tuberías) y con esos procedimientos especiales, la soldadura se puede fabricar con precalentamientos inferiores a los que se podrían predecir. Sin embargo, para aplicaciones en general, se considera que el precalentamiento se determina adecuadamente mediante aquel requerido para hacer la pasada de raíz. Por esta razón, la entrada de energía no entra explícitamente en este método de control de hidrógeno.

Alcance de los requisitos propuestos de precalentamiento. Una característica importante que se omite en todos los métodos propuestos para predecir el precalentamiento es el agrietamiento del metal de soldadura. Se supone que el precalentamiento se determina mediante el agrietamiento HAZ (y por lo tanto la composición del metal parental), pero en algunos casos, en particular con los aceros modernos de baja aleación y alta resistencia, el metal de soldadura puede ser más susceptible. La investigación sobre este problema ha sido insuficiente como para incluirla en estas pautas, y en tales casos pueden ser necesarios los ensayos.

Restricción

El problema principal en la determinación de los precalentamientos mediante el uso del enfoque de control de hidrógeno consiste en seleccionar un valor para la res-

tricción. En la guía se consideran tres niveles de restricción. El primero representa una restricción baja y se considera como independiente del espesor. La restricción baja corresponde a una intensidad de restricción, k , menor que 1000 N/mm/mm y coincide con los resultados de la soldadura en filete. En la práctica, son muchas las soldaduras que corresponderían a esta categoría. La restricción media se basa en un valor de $k = 150 \times$ el espesor de la placa (en mm) y corresponde a un valor que cubre la mayoría de los valores medidos de restricción que se han reportado. La tabla de restricción alta se basa en $k = 400 \times$ el espesor de la placa (en mm) y representa un nivel severo de restricción. Se observa que en condiciones de restricción media y alta, se considera que la restricción incrementa con el espesor de la placa.

La restricción afectará directamente el nivel requerido de precalentamiento. La referencia a ello en la Tabla 3.3 del código se incluye en la Nota a debajo de la tabla. Es posible que allí no se exprese completamente la importancia de las consideraciones de precalentamiento que se han otorgado internacionalmente.

El Anexo H enfoca la atención del usuario en el aspecto restrictivo de las juntas soldadas al sugerir tres niveles descritos generalmente. Con una constante precaución por parte de los usuarios que adoptan o no un programa de vigilancia dirigido por la industria, la restricción se definirá eventualmente con más precisión, en términos del detalle real o en situaciones de armazón estructural.

El hecho de que en este momento fuese imposible definir la restricción de una manera más explícita, no se tomó como fundamento lo suficientemente válido como para no abordar la restricción, reconocer su marcada influencia y suministrar los mejores medios disponibles en la actualidad para superarla.

NOTA: Un programa concertado de vigilancia, patrocinado por la industria, diseñado para un intercambio de experiencias rápido y eficiente de manera que se permita la clasificación y listado eventual de los detalles estructurales y situaciones específicas dentro de los tres niveles de restricción, amerita tenerlo en consideración.

Los datos de restricción recolectados a partir de la fabricación y de la práctica de ingeniería podrían suministrar las bases para una evaluación más realista de la restricción y una determinación más confiable de los precalentamientos siguiendo las recomendaciones de estas pautas.

Los requisitos presentes para la calificación del procedimiento de soldadura en el trabajo estructural, excepto para algunos casos de construcción tubular, se basan en los ensambles de ensayo estándar para "comprobar" la adecuación del precalentamiento para las mismas juntas como parte de los montajes de producción. Se debería tener en cuenta que bajo tales circunstancias la "restricción" no se está teniendo en cuenta para la calificación. Un cambio orientado hacia la calificación mediante el uso de "ensambles de junta de ensayo simulado" resultaría en una indicación del desempeño mucho más confiable bajo condiciones de servicio y, adicionalmente, permitiría la recolección de datos confiables de restricción.

Relación entre la entrada de energía y el tamaño de la pierna del filete

Aunque la entrada de calor hacia la placa es de vital consideración en relación con el índice de enfriamiento y la dureza HAZ potencial, con frecuencia es más práctico especificar el tamaño de la soldadura. La relación entre la entrada de energía y el tamaño de la soldadura en filete (es decir, la longitud de la pierna) no es única, pero depende del proceso, la polaridad y otros factores. Algunos trabajadores han sugerido que existen relaciones entre el índice de enfriamiento y el área transversal total del metal fundido. Sin embargo, esto último es difícil de medir y no sería una forma adecuada de especificar los tamaños de las soldaduras en la práctica.

Las dimensiones de la soldadura y las condiciones de soldadura se han medido en los ensayos de soldadura en filete y tales datos se utilizaron para realizar gráficas de las longitudes de pierna elevadas al cuadrado versus la entrada de energía. Otra fuente es la información derivada del índice de deposición, donde se ha supuesto que todo el metal depositado pasó a formar parte de un filete ideal. Cuando existía una abertura de la raíz, la longitud de la pata era inferior para la misma entrada de energía que para la condición de acoplamiento perfecto. Los resultados de tales gráficas se muestran en la Figura H.4.

Para electrodos cubiertos manualmente con grandes cantidades de polvo de hierro en el recubrimiento, se produce un mayor tamaño de filete por la misma energía. Para SAW, la polaridad o las extensiones del electrodo tienen un efecto marcado, como se podría esperar. Para el rango práctico normal de las condiciones de soldadura, se puede considerar una única banda de dispersión y una

curva de doblado menor como base para el diseño del procedimiento de soldadura.

Aplicación

Debe aclararse que los métodos propuestos presuponen un buen entendimiento de ingeniería sobre los conceptos implicados así como también una apreciación clara de la influencia de los factores básicos y su interacción dentro de la metodología de precalentamiento.

Se debería realizar una evaluación de ingeniería en la selección de la curva de dureza aplicable y una evaluación realista del nivel de restricción debería formar parte de la evaluación.

El método para medir de manera efectiva el precalentamiento sigue siendo un asunto independiente y requiere una atención separada y continua.

La efectividad del precalentamiento en la prevención del agrietamiento dependerá significativamente del área precalentada y del método utilizado.

Puesto que el objetivo consiste en retardar el índice de enfriamiento para permitir el escape de hidrógeno, un área precalentada más grande permanecerá caliente por más tiempo y será más efectiva.

Al parecer no es necesario cambiar la referencia en la Nota a debajo de la Tabla 3.3 para el precalentamiento dentro de un radio de 3 pulg. [75 mm] desde el punto de soldadura, puesto que existe otro trabajo que ha confirmado la validez de este requisito.

Referencias para el C-Anexo H

Los métodos de precalentamiento (equipo, gases) deberían ser objeto de otra investigación con un mayor aporte por parte de los fabricantes, con el objetivo de informar sobre su economía y efectividad.

1. Normas británicas 5135-1974.
2. Coe, F. R. *Welding steels without hydrogen cracking*. Welding Institute of Canada, 1973.
3. Graville, B. A. "Determining requirements for pre-heat." *Technology Focus*. Welding Institute of Canada, octubre de 1980.
4. Ito, F. y Bessyo, K. *A prediction of welding procedures to avoid HAZ cracking*. Documento IIW N.º IX-631-69.
5. McParlan, M. y Graville, B. A. *Welding Journal* 55(4): p. 92-s. Res. Supl., abril de 1976.
6. Suzuki, M. *Cold cracking and its prevention in steel welding*. Documento IIW N.º IXC-1074-78.
7. Tersaki et al., Trans. JWS 10(1), abril de 1979.

Índice

A

Abertura de la raíz, 3.11.3, 5.21.4.2, C-5.21.4.2
armado de, 5.21.4.1, 5.21.4.2
Aberturas de la raíz de la junta, 3.11.3
Acero de baja aleación, 1.2, 3.7.4, 4.14.1.3, 5.3.2, 5.3.3.1, 5.3.4, Tablas 3.1, 3.2, 4.6, 4.9
Acero inoxidable, 1.2, C-8.2.2
Acero revenido y templado, 2.10.4, 5.7, 5.8.1, 5.17.2, 5.18.2, 5.25.2, 8.5.5, C-5.7, C-5.8, C-6.11, C-7.6
Aceros, revenidos y templados, 2.10.4, 5.7, 5.17, 5.25.2, 8.5.5, C-5.7, C-5.25
corrección de curvatura, 5.18.1
control de entrada de calor, 5.7
ranurado con oxígeno, 8.5.5, 5.7
Acero resistente al ambiente, 2.12.2.3, 3.7.3, 5.4.7, C-3.7.3, C-2.12.2.3, Tablas 2.5, 3.4
Accesorios, Tablas 2.5, 9.2
auxiliar, 3.4, Anexo J
Agencia de ensayos, 4.2.2.2, 7.6.2, 7.9.2, Anexo K
Agrietamiento por hidrógeno, Anexo H
Agudeza visual, 6.1.4.4
Alineación, 5.21
soldadura circunferencial (tubular), 9.24.1
plantillas guía y accesorios para, 5.21.6
desviación, 5.21.3
soldaduras en juntas a tope, 5.21.3, C-5.21.3
Alfa (α) (parámetro ovalizante), 9.6.1.5, Anexo R, Fig. C-9.4
Alineado axialmente, 9.7, C-2.8.1
Alivio de esfuerzo, 5.8
temperaturas alternativas, 5.8.2, Tabla 5.3
enfriamiento, 5.8.1
calentamiento, 5.8.1
tiempo de retención, 5.8.1, Tablas 5.2, 5.3
aceros revenidos y templados, 5.8.1

temperatura, 5.8.1, 5.8.2
Análisis elástico, 2.15.1, C-2.15.1
Análisis por líneas de fluencia, C-9.6.2, C-9.6.2.1, C-9.8
Ancho efectivo (secciones de caja), 9.6.2.3, 9.6.2.4, C-9.6.2.4
Ancho máximo de capa de pasada única, Tabla 3.6
Ángulo diedro local, véase Ángulo diedro
Ángulo diedro, 3.9.2.1, 9.11.2, 9.15.4.2, 9.30.1(1), 9.30.1(9), 9.30.2, Anexos B, I, J, O, C-6.25.12(1)(a), C-6.25.12.1(b), C-9.27.1, Tablas 2.2, 4.10, 4.11, 9.7, 9.13, 9.14, B.1, Figs. 9.10, 9.11
Ancho desigual, 2.7.5, 2.17.1.2
Ángulo de ranura, Anexo J, Tabla 9.8, Figs. 3.2, 3.3, 9.14
AMSE B46.1, 5.23.3.2
ANSI Z49.1, 1.7
Aplicación expuesta, 3.7.3, C-3.7.3, Tabla 3.4
Aprobación, 1.5
Aportes (no metálicos), 5.27, C-5.27
Arco múltiple 5.3.3, Anexo M, Formulario M-3
Área de roscado efectiva promedio, Fig. 7.3
Área de soldadura efectiva, 2.4.1.5, 2.4.2.10, 2.24.1.1, 2.24.2
ASNT (Sociedad Americana de Ensayos no Destructivos), 6.14.6.2(1)
ASTM A6, C-5.2, C-5.22.2, C-5.22.8, C-8.1
ASTM A370, 4.9.3.6, 4.25.2, 7.3.2
ASTM A435, 5.14.5.1(1)
ASTM A588, 5.4.7, C-5.2, C-9.4, C-9.6, Tablas 3.1, 3.3, 3.6 (notas)
ASTM A673, 9.8.2.1, 9.8.2.2
ASTM E23, 4.25.2
ASTM E94, 6.16.1, 6.17.4
ASTM E142, 6.16.1
ASTM E165, 6.14.5
ASTM E709, 6.14.4
ASTM E747, 6.16.1, Tablas 6.6, 9.19
ASTM E1032, 6.16.1, Tablas 6.6, 9.19

Atenuador, véase Control de ganancia
AWS A2.4, 1.6
AWS A3.0, 1.3
AWS B1.10, *Guía para inspección no destructiva de soldaduras*, 6.14
AWS B4.0, 4.25.23, Tabla U.2 (nota a pie de página)
AWS D1.3, 1.2
AWS A5.36, Anexo U

B

Barras de extensión, véase Lengüetas de soldadura
Barrido (fabricación), 5.22.5
Barrido (UT), 6.24.2, 6.24.4.1, 6.24.5.1
Bloques de borde, 6.17.13, C-6.17.13, Figs. 6.10, 9.33
Bloque de referencia IIW UT, 6.22.1, 6.27
Bloque de referencia, UT IIW, 6.22.1 otro diseño aprobado, 6.22.1, Anexo G, Figs. 6.16, G.1

C

Calibración, UT, 6.24, 6.27, 9.30.3, Anexo G
ángulo de haz, 6.23.4, 6.24.5
bloque (IIW), 6.22.1
precisión de dB, 6.28.2
equipos, 6.21.4, 6.22.1, 6.27, 6.23.2
linealidad horizontal, 6.28.1
modo longitudinal, 6.26.1, 6.27.1
nomograma, 6.28.2.5, Anexo I
modo de onda de cizallamiento, 6.27.2, Anexo G2
Calificación SNT-TC-1A, 6.14.6
Calificación, Sección 4, Anexos G, L, Tablas 9.9, 9.10, 9.12, 9.14, 9.19, 9.28
formularios, Anexos K, M
requisitos generales, Sección 4
inspector, 6.1
NDT, 6.14.6

- WPS precalificadas. Tablas 3.6
WPS previamente calificadas. 4.2.1, C-4.16
registros. 4.3.3, 6.5, 6.19, 6.22.3, 6.35.4
responsabilidad. 4.2.2.2
repeticiones de ensayos. 4.9.5, 4.24.2.1, 7.9.8
aplicación de pernos. 7.6, C-7.6
soldadores de punteado. 4.2.2, 4.2.3, 5.5, 6.4, 6.5.5, 9.17.2, C-4.2.2
unidad UT. Anexo G. C-6.25.12, 6.27, 6.22.3
soldadores. 4 Parte C, 4.2.2, 9 Parte D, C-4.2.2
operarios de soldadura. 1.1, 3.1, 4.2.2, 4.15, 4.16, 4.19, 4 Parte D, 6.4.1, 6.5.5, 7.7.4, 9.17.1, C-4.2.22
WPS. 3.2.1, 3.2.2, 3.2.4, 3.3, 3.6, 3.7, 4 Parte B
Calificación de la WPS. *véase* Calificación de la WPS
Calidad de soldaduras. C-9.26.1
Calibración de transductor. 6.24.3, 6.27, 6.27.2.2(2), 6.27.2.3, 6.27.2.4, Anexo G. C-6.24.4.1, C-6.24.5.1
Calificación de soldador de punteado. 4 Parte A, 4.2.2, 4.2.3, 4 Parte C, 4.15.1.2, 4.15.2.2, 4.16.2.1, 6.4, 9.17.2, C-4, C-6.4
variables esenciales. 4.19, Tabla 4.12
método de probetas de ensayo. 4.23
periodo de efectividad. 4.2.3.2, 4.24, 4.24.1.3
repeticiones de ensayos. 4.24.2, 6.4.2, 6.4.3
formulario de informe de ensayo. Anexo M
probetas de ensayos. 4.3.2, 4.16.2, 4.23, 4.27, Fig. 9.28
ensayos. 4.23
Calificación del desempeño. 4 Parte C, 9 Parte D
Calificación del personal para NDT. 6.7, 9.26.1, 9.30.2
Calificación del operario de soldadura. 4 Parte D, 7.7.4
variables esenciales. 4.8, 4.19, C-4.8, C-4.19, Tabla 4.12
Ensayos de soldadura ESW/EGW. 4.20.2, 4.8.2, Tabla 4.10, Fig. 4.24
ensayos de soldadura en filete. 9.21, Figs. 4.22, 4.25, 4.26
ensayos de soldadura en ranura. 4.20, 4.21.1, 9.19, 9.20
método de ensayo. 4.22, 9.22
número de probetas. 4.15.2.1, 9.17.1, Tablas 4.11, 9.14
periodo de efectividad. 4.2.3.1, 4.24.1.3
ensayos de soldadura de tubo. Figs. 4.22, 4.25
ensayos de soldadura de placa. 4.12.3.27
soldaduras de tapón. 4.21.3, Fig. 4.26
preparación de probetas de ensayos. 7.6.3, 7.9.5
repeticiones de ensayos. 4.9.5, 4.24
soldaduras de pernos. 7.7.4, C-7.1
formulario de informe de ensayo. Anexo M
resultados de ensayos requeridos. 4.16
ensayos de doblado. 4.16.1
ensayos de rotura de soldadura en filete. 4.22.4
ensayos de macroataque. 4.22.2.3 RT, 4.22.3.2
visual. 4.9.1
probetas de ensayos. 4.16.1
Calificación del soldador. 4 Parte C, 9 Parte D
variables esenciales. 4.19, Tabla 4.12
ensayos de soldadura en filete. 4.21.2, 4.22.2.1, Figs. 4.27, 9.21
ensayos de soldadura en ranura. 9.19
espesor limitado. 4.15.2.2, 4.20.1, Figs. 4.20, 4.21
método de ensayo. 4.22.3.1, 9.22
número de probetas. 4.15.2.1, 9.17.1, Tablas 4.11, 9.14
periodo de efectividad. 4.2.3.1
ensayos de soldadura de tubo. 4.21.1, 4.21.3, 9.19, 9.20
placa. 4.20.1, 4.21, Figs. 4.16, 4.19-4.21
posición. 4.15.1.1, 9.17.1
posición de soldadura de producción. 4.15.1.1, 9.17.1, Tablas 4.10, 9.13
registros. 4.3.3
repetición de ensayo. 4.24
conexiones en T-, Y- y K-. 4.11, 9.14
resultados del ensayo. 4.16
ensayos de doblado. 4.16.1
ensayos de rotura de soldadura en filete. 4.22.4
ensayo de macroataque. 4.22.2.2, 9.22.1.1
RT. 4.22.3.2
visual. 4.9.1
probetas para ensayos. 4.16.1, Fig. 4.23
ubicación. tubos y tuberías rectangulares. 4.16.1.2, Fig. 9.28
preparación. 4.16.1.2
ensayos requeridos. 4.2.3.2, 4.5
tope tubular. 4.13.3, 9.15.1, 9.19, Figs. 9.22, 9.23
Capas divididas. Tabla 3.6
Cargas cíclicas. 2 Parte B, 2 Parte D, 9.1
rango de esfuerzo. 2.16.2, Tabla 9.3, Figs. 2.11, 9.1
Cara de la raíz. 3.11.3, 5.21.4.2, C-5.21.4.2, Fig. 3.3
Carga
distribución dispereja de. 9.6.1.3, 9.6.2.3
Carga a través del espesor. 2.7.3, C-2.7.3
Carga máxima. 9.2.6, 9.6.1.1, 9.6.2, 9.6.2.2, Anexo I
Cascarilla de laminación. 5.3.3.2, 5.4.3, 5.14.3, 6.25.3, 7.4, 7.5.5.1
Casquillos. 7.4.4, 7.2.5.1
Cinta de vidrio. 5.9.3, 5.21.1
Clasificación de indicación. 6.25.6.3, 6.25.6.5, 6.25.8, 6.25.9, 6.29.2, 9.30.8.1
Combadura. 5.21.6, 5.22.8, C-5.22.8, Fig. C-5.7
Conexiones en Y-. *véase* Conexiones en T-, Y- y K--
Consideraciones estructurales. 5.22.6.5
Control de rechazo (UT). 6.24.1, 6.25.6, C-6.25.6
Código de Calderas y Recipientes a Presión ASME. 6.17.5.1, 9.26.2, C-9.26.2, Tabla U.4
Código de construcción. Anexo J
Compuestos de anti-salpicadura. 5.14.4.2
Conexiones en N-. 9.5.5.1, 9.6.2.1-9.6.2.3, 9.6.2.6, C-9.6.2.1-C-9.6.2.4
Crayones sensibles a la temperatura. 8.5.5
Criterios de aceptación alternativo. 6.8
ensayos de doblado. 4.9.3.3, C-4.9.3.3
discontinuidades. 5.14.5.1, 6.12.1, 6.12.2, C-6.8, C-6.9
soldadura en filete. 4.22.4.1
ensayo de macroataque. 4.9.4.1, 4.22.2.2, 9.22.1.1
MT. 6.10
NDT. 6.11, 9.26.1, C-6.11
estructuras no tubulares. 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2
PT. 6.10
ensayo de tracción en sección reducida. 4.9.3.5
RT. 4.9.2.2, 4.22.3.2, 6.12.1, 6.12.2, C-6.12.1
soldadura de pernos. 7.4.7, 7.8.3, 7.8.4, C-7.4.7
soldaduras de punteado. 4.23
estructuras tubulares. 9.27.1, Fig. 6.1

UT, 4.9.2.2, 6.13.1, 6.13.2, 9.27.1, C-6.13, C-6.13.2, C-9.27.1
 visual, 4.9.1, 4.22.3.2, 6.9, 9.25, C-6.9
 Corte térmico, 5.14.6, 5.14.8, 5.14.8.1, 5.14.8.2, 5.14.8.3, 5.15, 5.16.3, 8.3.5
 Curvatura, 5.18, 5.22.2, 5.22.3, 5.22.4
 haces, 5.18.1, 5.22.2, 5.22.4
 vigas, 5.18.1, 5.22.2, 5.22.4
 medición, C-5.22.6.1, Fig. C-5.6
 acero revenido y templado, 5.18.2
 tolerancia, C-5.22.4, Tablas 5.5, 5.6
 Carbono equivalente, Anexo H, H5.1, H6.1.1, Tabla H.1, Figs. H.1, H.2
 Carga en centro de gravedad, 2.6.4.2
 Centro de rotación, 2.6.4.3
 Cincelado, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.23.3.2, 5.25
 Control de rechazo (UT), 6.24.1, 6.25.6
 Colapso, 9.6.1.2, 9.6.2.2, Tablas C-9.1, C-9.3
 Colapso general
 caja, 9.6.2.2
 circular, 9.6.1.2
 Columnas, variación de linealidad, 5.22.1
 Combinaciones de soldaduras, 2.7.4
 espaciado de la soldadura, 2.12.2.2
 Concavidad, 4.9.1.1(6), 5.5, 5.23.1, 5.25.1.2, Tabla 5.9
 Contratista, 1.3.2, 1.3.6.3, 1.4.3.1, 5.25.1, Anexo J
 obligaciones de, 2.3.3, 2.17.2.1, 4.3.3, 4.7, 4.14, 5.3.1.1, 5.3.1.3, 5.21.1, 6.6, 6.18, 6.26.3, 7.2.4, 7.3.3, 7.3.5, 7.8.5, 7.8.6
 responsabilidades, 1.4.2, 4.2.1.1, 4.2.2.2, 5.20.3, 6.6, 7.6.2
 Conexiones de cizallamiento, 7.8.3, C-7.2.5, 7.4.5
 Convexidad, 5.23.1, 5.25.1.1, Tabla 5.9, Figs. 9.14, 9.15
 Conexión en K-, 9.5.2.2, 9.6.1, 9.6.1.5, 9.6.2, 9.8.1.3, 9.11.2, 9.15.3, 9.15.4, 9.15.4.3, 9.16, 9.22.1, 9.30, C-9.15(2)
 Corrección de deficiencias, 6.6.1, 6.6.2
 Corriente máxima, Tabla 3.6
 Cráteres, 4.9.1, 5.25.1.2, Tablas 6.1(3), 9.16(3)
 Control de ganancia (atenuador), 6.21.4, 6.23.2, 6.24.5.2, 6.25.6, 6.25.6.3, 6.27.1.5, 6.28.2.1
 Consumibles de soldadura, 4.12.3.3
 Control de hidrógeno, Anexo H4, H6.2
 Consultas técnicas, iii, xxxi, Anexo N
 Contenedores herméticamente sellados, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.5

D

Daño acumulado, 9.2.7.4
 Deberá (definición), 1.3.6.1

De deslizamiento crítico, 2.7.7
 Deficiencias en el trabajo, 6.6.1
 Definiciones, 9.13, C-1.3
 Descompresión, 9.6.1.3, 9.6.2.3
 Desgarro laminar, C-2.7.3, C-3.11.2
 Detalles especiales, 2.3.5.5
 Detalles, 2.3.4.4, 2.7-2.10, 3.9.1, 9.5.1.2, 9.5.2.1, 9.5.2.2, 9.9.1, 9.10.1, 9.11.2.1, 9.19, C-2.7-C-2.9, C-Fig. 3.2, Tabla 3.7, Figs. 3.2-3.5, 9.11, 9.12, 9.14-9.16, C-3.3
 Densidad H y D, 6.17.H.1
 Desviación, 5.15, 5.21, 5.22.6.1, 5.22.8, 9.15.4.3, 9.24.1, 9.29.1.3, Anexos L, T, U, C-5.22.6.1, C-6.25.12(2), C-8.3.5, C-9.6.2.4, Tabla 7.1, Fig. C-5.3
 Deformación plástica, 5.27, 9.2.7.6(3), Anexo J, C-5.27
 Detalles de juntas precalificadas, 2.3.5.4, 9.5.1.2, 9.9.1, 9.11.1, Figs. 3.2, 3.4, 9.11, 9.12, 9.14-9.16
 Debería (definición), 1.3.6.2
 Defectos de la superficie, 5.14.2
 Diámetro máximo del electrodo, Tabla 3.6
 Discontinuidades de borde, 5.14.5.1, Fig. 5.1
 Diseño de factor de carga y resistencia (LRFD), 9.2.2, 9.2.6, 9.5.3, 9.6.1.1, 9.6.2, Tabla 9.2
 Doblado fuera de plano, 9.5.4, 9.6.2.5, Anexo I, Tablas 9.3, 9.6, C-9.3
 Documentos de contrato, 1.1, 1.2, 1.3.3.1, 1.3.6.1, 1.3.6.3, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3.1, 2.3, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5.3, 2.3.5.5, 2.3.5.6, 2.4.3.2, 2.4.3.3, 2.7.2.1, 2.7.2.2, 2.8.1, 2.8.4, 2.9.3.5, 2.13.3, 4.26.1, 4.27.6, 4.28, 5.2.1, 6.1.4.1, 6.7, 6.15.2, 8.6.2, 9.26.1, 9.27.1, Anexo J
 Discontinuidades, 2.15.1, 4.9.3.3, 4.22.3, 5.4.6, 5.9.1.2, 5.14.5, 5.23, 5.27, 6.1, 6.5.3, 6.6.4, 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2, 6.14, 6.14.5, 6.15.3, 6.17.3, 6.19.4, 6.20, 6.25.6.2, 6.25.7, 6.25.8, 6.29.1, 6.29.2, 6.30.1, 6.30.2, 6.35.3, 7.2.5.1, 7.4.7, 8.5.2, 9.2.7.6, 9.15.4.1, 9.23.1, 9.30.2, 9.30.4, 9.30.7, 9.30.8, Anexos J, Q, C-2.7.3, C-2.7.6, C-2.8.1, C-2.16.2, C-4.9.3.3, C-5.9.1.2, C-5.14.5.2, C-5.26, C-5.27, C-5.30, C-6.13.1, C-6.14, C-6.17.3, C-6.18, C-6.19.3, C-6.25.5.2, C-Tabla 6.7, C-6.25.6, C-6.25.12, C-7.4.6, C-8.4.1, C-8.5, C-9.8.1.3, C-9.8.2, C-9.23, C-9.27, Tablas 2.5, 5.4, 6.2, 6.3, Figs. 5.1, 6.1-6.3, 9.29, 9.30, C-6.8, C-6.9, C-8.1
 criterios de aceptación, 4.9, 4.9.3.3, 4.22.3.2, 5.14.5.1, 5.23, 6.1, 6.5.3, 6.12, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.1, 6.13.2, 7.4.7, Anexo Q,

C-4.9.3.3, C-6.12.1, C-6.13.1, C-7.4.6, C-9.27.1, Figs. 6.1, C-6.7, C-6.8
 dimensiones, 4.22.4.1, 6.12.1, 6.12.1.1, 9.4.3.3, 9.30.2, Anexo Q, Figs. 6.1-6.3, 9.29
 alargado, 6.12, 6.12.1(1), 6.12.1(3), 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4), Anexo J, C-6.8, Figs. 6.1-6.3
 en línea, 6.12.1(7), 6.12.2.1(7), 6.12.2.2(6)
 aislado, 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4)
 longitud, 5.14.5, 5.14.5.1, 6.12, 6.12.1(7), 6.12.2.1(6), 6.12.2.2(6), 6.25.7-6.25.9, 6.29.2, Anexo Q9.3-Q9.5, C-6.25.7, Tabla 5.4
 reparación, 2.17.2.2, 5.4.6, 5.14.5, 5.14.5.1(3), 6.6.5, 6.15.3, 6.25.10, C-5.14.5.2, Tabla 5.4
 redondeado, 6.12, 6.12.1(3), 6.12.1(5), 6.12.2.1(4), 6.12.2.2(4), Figs. 6.1-6.3, C-6.8
 Disposición de radiografías, 6.18, C-6.18
 Distorsión, 5.20, 5.20.1, 5.20.3, 5.22.6.4, 5.26, 8.5.6, C-2.3.5.4, C-2.6.4.2, C-3.2.1, C-5.4.1, C-5.8, C-5.20, C-5.22.6.1, C-5.22.6.4, C-6.17.5, C-6.17.5.1, C-6.17.2, C-17.3, C-6.17.7, C-6.17.13
 linealidad, 5.25.2, C-5.25.2
 Dibujos, 2.3.1, 2.3.3-2.3.5, 2.3.5.1, 2.3.5.2, 2.4.3.2, 2.4.3.3, 2.11.3, 2.17.2.1, 3.12.2.1, 3.12.3(1), 3.13.1, 4.28.2, 5.12, 5.13, 5.14.7(5), 5.21.1.1, 5.21.2, 5.21.4.1, 5.22.4, 6.1.6, 6.5.1, 6.13.2.2, 7.2.1, 7.4.5, 7.6.7(1), 7.9.10(1), 8.21, 9.24.2.1, Anexo J, C-1.8, C-2.3.4, C-6.1.6, C-6.13.2
 Discontinuidades laminares inducidas por fresado, 5.14.5, Tabla 5.4
 Dispositivo de ensayo de tracción, Fig. 7.2
 Desalineación, 5.21.3, Fig. C-5.4
 Doblado dentro del plano, 9.5.4, 9.6.2.5
 Doblado secundario, 9.6.2
 Doblado lateral, 4.9.3.1
 probetas, Fig. 4.9
 Doblamiento lateral, 9.6.2, 9.6.2.5, C-9.6.2.5
 Dureza, 3.5.2, Anexo H3
 Dureza Vickers, 3.5.2, Anexo H3.3

E

Efectos del tamaño, 9.2.7.7, C-9.2.7.7
 Efectos del perfil, 9.2.7.7

- Electrodos múltiples, 3.5.2, 3.8, 5.3.3, Anexos J, M, Formularios M-4, M-5, Tablas 3.6, 4.12
- Electrodos con núcleo de metal, Anexo U, C-3.3, Tablas 3.2, 3.4 (Nota 2), 4.6, U.4, U.9 Ejemplos de formularios de informes, Anexos L, M, Q13
- Electrodos en paralelo, 5.3.3, Anexo M, Tabla 3.7
- Electrodos de bajo hidrógeno, 3.3, 5.3.2.1, 7.5.5.6, Anexo H3.3, C-2.7.3(2), Tablas 3.3, 5.1
 - exposición atmosférica, 5.3.2.2, 5.3.2.3, Tabla 5.1
 - condición, 5.3.2.1, 5.3.2.4
 - establecido mediante ensayos, 5.3.2.3, Anexo I'
 - resecado, 5.3.2.2, 5.4.3, 7.4.4
 - restricciones, 5.3.2.5
 - almacenamiento, 5.3.2.1, 5.3.2.4
- Empalmes de taller, 5.19.1
- Empalmes, 2.7.2.1, 2.7.2.2, 5.19
 - cargados cíclicamente, 5.19.1.2
 - miembro, 5.19.2
 - taller, 5.19.1.1
 - submontaje, 5.19.1
- Empalmes de submontaje, 5.19.1
- Ensayos de torsión, 7.6.6.2, 7.7.1.4, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
- Especificaciones de transductor, 6.21.6, 6.21.7, C-6.21.6
- Ensayos puntuales (NDT), 6.15.3, C-6.15.3
- Esfuerzo de la unidad
 - metal base, 2.6.3, 2.6.5, 2.15.2, 9.2.2
 - cizallamiento, 2.6.4.1
 - tracción, Tablas 2.3, 9.2
 - soldaduras, 9.2.4, 2.6.4, 2.16.1
- Espesor desigual, 2.17.1, Tabla 2.5, Figs. 2.2, 9.9
- Estructuras cargadas estáticamente, Sección 2
 - esfuerzos admisibles, 2.6.4, 2.16, Tabla 2.3
 - respaldo, 5.9.1.5
 - combinaciones de soldaduras, 2.7.4
 - conexiones para miembros armados, 2.12.1
 - tolerancias dimensionales, 5.22
 - excentricidad, 2.6.2, C-2.6.2
 - planicidad de las almas de viga, 5.22.6.1, 5.22.6.2, Anexo D
 - calidad de soldaduras
 - criterios de aceptación, 6.9, 6.13.1, 9.25
 - mayor esfuerzo de la unidad, C-6.9, C-6.11, C-9.26
 - MT, 6.10
 - PT, 6.10
 - RT, 6.12.1
 - UT, 6.13.1, C-6.13.1
 - inspección visual, 6.9, 9.25, C-6.9
 - espaciadores, 5.2.2
 - transición de espesor, 2.8.1, C-2.8.1, Fig. 2.3
 - transición de anchos, 2.8.1, C-2.8.1
 - socavación, Tablas 6.1, 9.16, Anexo J
 - planicidad de almas, vigas, Anexo D, Fig. C-5.5
 - soldaduras y remaches, pernos, 2.7.7, C-2.7.7
- Enderezamiento, 5.25.2, 7.8.3, 8.1, 8.5.5, C-8.1, C-8.2.1, C-8.5.5
- Enderezamiento, 5.22.1, 5.22.2, 5.22.11.2, C-5.22.2
- Enderezamiento de estructuras existentes, Sección 8
 - metal base, 8.2
 - diseño, 8.3.1
 - análisis de esfuerzo, 8.3.2
 - idoneidad para la soldadura, 8.2.2
- Ensayo de doblado lateral, 4.9.3.1, 4.9.3.3, 4.12.3.3, 4.16.1.2, Figs. 4.9, 4.18
- Encogimiento, 5.20
 - debido al corte, 5.18, 5.20, C-5.18, C-5.208
 - debido a la soldadura, 5.20, C-5.16.1
- Escoria, 4.22.2.2, 5.3.3, 5.3.3.4, 5.4.4, 5.14, 5.24, 5.29, 7.5.5.1, 9.15.4.1, Tabla U.4, C-5.29
- Esfuerzo de cizallamiento, 2.6.4, 9.6.1.1, C-2.6.4, C-2.9, C-9.6.1.1, Fig. 9.5
- Esfuerzo, combado, 9.6.2.1, C-9.6.2.1
- Esfuerzos de fibra, 9.2.5
- Ecuación para el cálculo de decibels, 6.28.2.2
- Esfuerzo de cizallamiento por punzonado, 9.6.1
- EGW (Soldadura por electrogás), 3.2.2, 4.8.2, 4.17, 5.4, 9.18, Tabla 4.11
 - ensayo de tracción de metal completamente soldado, 4.14.1.3(2)
- Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), 2.3.2, 4.2.1.3, 4 Parte D, 4.27, C-9.8.2.1, Tabla 4.2, Fig. 4.6
 - electrodos, 4.14.1.3(2), 5.4.2
 - fundente, 5.4.3
 - tubos de guía, 5.4.2
 - detalles de la junta, 4.14.1.3(1), Figs. 4.5, 4.24
 - propiedades mecánica, 4.14.1.3(2), precalentamiento, 5.4.5, 5.25.5(d)
 - precalentamiento, 5.4.5
 - calificaciones previas, 4.14.1.3(3)
 - calificación, 4.14.1, 4.14.1.3(1)
 - aceros revenidos y templados, 5.4.1, 5.7, C-3.5, C-4.8
 - reparaciones, 5.4.6, 5.25
- gas de protección, 3.7.4, 5.3.1.3, Tablas 3.7, 4.5
- inicios y paradas, 5.4.4
- protección contra el viento, 5.11.1
- WPS, 4.14.1.3(1), 5.4
- Calificación de la WPS, variables esenciales, 4.8.2, Tabla 4.7
- Formulario de registro de ensayo WPS, Anexo M
- Espaciadores, 5.2.2.3
- Espesor de la soldadura (UT), 4.9.1.1, 5.8, 6.13.1, 6.13.2.2, 6.17.13, 6.33.1, 6.34.1, C-6.25.6, C-6.25.8, Tablas 6.3, 6.7
- Espesor máximo de pasada de relleno, Tabla 3.6
- Espesor máximo de pasada de raíz, Tabla 3.6
- Ensayo mecánico, 4.9.3
- Empalmes de miembro, 5.19.2
- Ensayo de tracción, soldadura de pernos, 7.6.6.3, 7.9.7.1, 7.9.7.3, Fig. 7.2
- Ensayo de doblado de la raíz, 4.9.3.3
- Ensayo de doblado, soldaduras de pernos, 7.6.6.1, 7.7.1.4, 7.9.7.2, 7.9.7.3
- Ensayo de macroataque, 4.9.4, 4.11, 4.22.2, 4.22.2.1, 4.22.2.2
- Ensayo de rotura, soldaduras en filete, 4.16.2.1, 4.22.4
- Ensayo de verificación de consumibles, 4.12.3, Tabla 4.4
- Ensamblaje, 5.21.1, 5.21.4, C-5.21.1, C-5.21.4
- Ensayo de doblado de cara, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.9.3.3, Fig. 4.8
- Entallas, 5.16, 9.2.7.6 (1), C-2.9.3.2, C-2.9.3.5, C-5.14.8.3, C-6.22.1, C-9.2.7.6, C-9.2.7.7, C-9.8.1.3
- Envejecimiento, 4.3.2
- Escaneo "A" (UT), 6.21.1
- Escala, 5.14.3
- Escaneo, 6.13.2.2, 6.25.6.1, 6.30, 9.30.5, Figs. 6.15, 9.35, Q.7, Q.8
- Escoria triturada, 5.3.3.4, Tabla 4.6(4)
- Ensayo con el péndulo de Charpy (CVN), 2.3.2, 4 Parte D, 9.8.2.1, Anexo J, Figs. 9.19, 9.20
 - Temperatura de ensayo en tamaño menor, 4.27.7
- Esfuerzos admisibles, 2.16, 9.2, C-2.16, C-9.2
 - ASD, 9.2.2, 9.6.1.1, 9.6.1.2, 9.6.1.3, 9.6.1.6, Tabla 9.2
 - metal base, 2.6.3, 9.2.2, C-9.2.2
 - fatiga, 9.2.7.2, C-9.2.7.2
 - fibra, 9.2.5
 - limitación, 9.2.7.3
 - metal de soldadura, 2.6.4, 2.16.1, 9.2.4, 9.5.3, C-9.2.4
- Esfuerzo residual, 8.5.6, 9.2.7.6, C-2.3.5.4, C-2.7.3, C-5.3.2.1, C-5.9.1.2, C-8.3.5, C-9.2.7.6, C-9.23

- Entrada de calor, 5.4.5, 5.7, Tablas 4.6(9), U.7, U.8
- Esquinas reentrantes, 2.17.3, 5.15, 5.16, C-5.15, Tabla 2.5, Fig. C-5.1
- Especificación AISC de diseño de factor de carga y resistencia para acero estructural en construcciones, 9.2.6, 9.6.1.1(2), Tabla 9.2
- Espesor de respaldo, 5.9.13, C-5.9.1.3
- Estampado, 6.5.4, C-6.5
- Excentricidad, 2.4.3.1, 2.6.2, 2.15.3, 2.15.4, 5.21.3, C-2.6.2, C-2.6.4.3, C-2.9.1.1
- Ensayos de tracción en sección reducida, 4.5(4), 4.9.3.4, 4.9.3.5, 5.25.5(3)(d), Tablas 4.2, 4.3, 9.10, 9.11, Fig. 4.10
- criterios de aceptación, 4.9.3.5
- probetas de ensayo, Fig. 4.10
- Estructuras cargadas cíclicamente, 2
- Parte C
- criterios de aceptación, 6.12.1, 6.12.2, 6.13.2, 6.25.8, Tabla 6.1
- esfuerzo admisible, 2 Parte B, 2 Parte C, Tabla 2.3
- respaldo, 2.17.2.2, 5.9.1.4
- haces, placas de cubierta, Tablas 2.5, 9.1
- esfuerzos combinados, 2.15.2
- esfuerzo de fatiga, 2.16.2, 5.19.1.2, Tablas 2.5, 9.1
- soldaduras en filete, 2.17.6
- acabado, 5.23.3.2
- planicidad de las almas de viga, 5.22.6.3, Anexo E
- vigas, 5.14.3
- mayor esfuerzo de la unidad, 2.6.5
- espesor del material, 5.14.7
- NDT, 6 Parte C
- soldaduras prohibidas, 2.18
- RT, 6.12.2
- empalmes, 5.19.1.2
- soldaduras de punteado, 5.17.2
- miembros de tracción, 2.17.2.2, 6.12.2.1, C-6.9
- corte térmico, 5.14.8.2
- transición de radio, 2.17.1.2
- transición de espesor o ancho en juntas a tope, 2.17.1, 9.7
- esfuerzo de la unidad, 2.16.1, Tabla 2.3
- UT, 6.13.2
- inspección visual, 6.9, 9.25, Tablas 6.1, 9.16
- lengüeta de soldadura, 5.30.3
- Electrodos, 3.3, 3.7.3, 4.14.1.3(1), 5.3.1.1, 5.3.1.5, 5.3.2, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.3, 5.3.2.4, 5.3.2.5, 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5.1, 5.4.2, 5.9.2, 5.17.4, 5.17.5, 7.5.5, 7.5.5.6, 7.7.5, C-3.7.2, C-4.14.1.3, C-5.3.3, C-5.3.4, Anexo H3.3, H6.1.1, Tablas 3.1, 3.3, 3.4, 3.6, 3.7, 4.7, 4.9, 4.12, 4.13, 5.1, Figs. F.1, F.2
- secado, 5.3.2.1, C-5.3.2.1
- EGW, 4.8.2, 4.14.1.3, Tabla 4.7
- ESW, 4.8.2, 4.14.1.3, Tabla 4.7
- FCAW, 3.2.1, 3.2.4, 3.3, 3.4, 3.7.3.2, 3.10, 3.11.1, 3.11.3, 4.2.2, 4.8, 5.3.4, Tablas 3.1–3.4, 3.7, Figs. 3.2, 3.3, 3.5
- para resistencia a la corrosión atmosférica, 3.7.3, C-3.7.3, Tabla 3.4
- GMAW, 3.2, 3.7.3.2, 3.7.4, 3.8, 3.10, 4.8, 5.3.4, 5.24.1, 7.5.5, 9.10.1, Anexo H3.5, H6.1.4, Tablas 2.1, 2.2, 3.1–3.4, 4.5, 4.9, 4.14, 9.5, 9.15
- hidrógeno bajo, 5.3.2.1, 5.3.2.3–5.3.2.5, 5.9.2, 5.14.5.1, 5.14.5.2, 5.17.4, 5.21, 7.5.5.2, 7.5.5.6, 7.7.5, Anexo H3.5, H6.2.2, H6.1.1(a), C-2.7.3 (2), C-3.3, C-5.3.2, C-5.3.2.1, C-5.3.2.5, C-5.13, C-9.8.2, Tablas 3.1, 3.2, 3.4–3.6, 4.5, 5.1, 5.7, Figs. F.1, F.2
- certificación del fabricante, 5.3.1.1, 5.3.1.3, Anexo H
- SAW, 3.8, 5.3.3.1, Tablas 3.1, 3.3, 3.4
- SMAW, 3.2.1, 3.7.3.2, 3.10, 3.11.1, 4.2.2, 4.8.1, 5.3.2, 5.9.2, 5.24.1, 7.5.5, 7.5.5.6, 7.5.5.7, 7.7.5, 9.10.1(2), 9.11.2.1, Anexo F.1, F.2, H6.1.4, Tablas 2.1, 2.2, 3.1–3.4, 3.6, 3.7, 9.5, 9.8, 9.15, Figs. 3.2, 3.3, 3.5, 4.5, 4.6, 4.9, 4.12, 4.14, 9.10
- almacenamiento, 5.3.1.4, 5.3.2.1, 5.3.2.4, 5.3.3.1, C-5.3.2.1
- grupos de calificaciones de soldador, Tabla 4.13
- Empañamiento, 6.17.10
- Entrada de energía, Anexo H, C-H
- Esmerilado, 5.14.5.2, 5.14.6, 6.17.3
- Espacio (g), 9.2.3, 9.6.2.1, 9.6.2.2, 9.6.2.6, Anexo I, Tabla 9.6, Figs. 9.2, 9.7
- ESW (Soldadura por electroescoria), 3.2.2, 4.8.2, 4.17, 5.4, 9.18
- Ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), 4.2.1.3, 4.27, 4.27.3, 5.25.5(d), 9.15.4.4, 4 Parte D, Tablas 4.2, 4.15, Figs. 4.6, 4.7
- electrodos, 4.14.1.3(2), 5.4.2
- fundente, 5.3, 5.4.3
- tubos de guía, 5.4.2
- detalles de junta, 1.4.1, 2.3.5.4, 2.7.3, 4.14.1.3(1), 4.14.1.3, 9.11.2.1, Figs. 4.5, 4.24
- calificaciones previas, 4.14.1.3(3)
- calificación, 4.14.1, 4.14.1.3(1), C-4.14.1.3
- aceros revenidos y templados, 2.10.4, 5.4.1, 5.7, Anexo H3.7, H5.1, C-3.5, C-4.8.1, C-4.14.1.3, C-4.15, C-5.3.2.5, C-5.7, C-5.8, C-5.25.2, C-7.6
- paradas e inicios, 5.4.4
- WPS, 4.14.1.1, 4.14.1.2, 4.14.1.3(1)–(3), 4.14.2, 5.4, Tabla 4.7
- Formulario de registro de ensayo WPS, Anexo M
- Estructuras existentes, Sección 8, 8.5, C-8
- diseño, 8.3
- esfuerzos de fatiga, 8.4
- carga viva, 8.3.2, 9.2.7.1
- materiales, 8.2, 8.4(1)
- reparación, 8.3.2, 8.3.4, 8.3.6, 8.5
- remaches o pernos, cargas en, 8.3.7, C-8.3.7
- refuerzo, 8.1, 8.2, 8.3.2, 8.3.6, 8.5.6, C-8.1–C-8.3, C-8.3.5
- mano de obra, 8.1, 8.5, C-8.1, C-8.5
- Estructuras tubulares, Sección 9, 9 Parte A, Tabla 9.2, Fig. 9.1
- ensayo de talón de ángulo agudo, 9.15.4.2, Fig. 9.24
- componentes de carga admisibles, 2.6.4.4, C-9.6.1.1
- esfuerzo de cizallamiento admisible, 9.6.1.1, 9.6.1.6
- Diseño de esfuerzo admisible (ASD), 9.2.2, Tabla 9.2
- caja, 9.6.2, 9.10.1.1, Tablas 9.9, 9.13, Figs. 9.7, 9.20, 9.25–9.28
- circular, 9.2.3(1), 9.5.4, 9.6.1, 9.8.1.1, Tablas 9.3, 9.6, C-9.6
- esfuerzos admisibles en soldaduras, 9.2.4, C-9.2.4, Tabla 9.2
- esfuerzos de fibra, 9.2.5
- esfuerzos admisibles de la unidad, 9.2.5, 9.6, C-9.2.4
- carga axial, 9.5.2.2, 9.5.4, 9.5.5.1, 9.5.5.2, 9.6.1.1, 9.6.2.1–9.6.2.3, 9.6.2.5, 9.7, Anexo I, C-9.6.1.1(5), C-9.6.2, C-9.6.2.5, Tablas 9.3, 9.6
- doblado, 9.6.2.5, C-9.6.2.5, Tabla C-9.3
- conexiones de caja, 9.6.2, 9.6.2.2, 9.10.1.1, 9.15.4.1(d), C-9.6.2
- partes de sección de caja, 9.6.2, 9.8.1.1, 9.11.2, C-9.6.2, C-9.6.2.3, C-9.19
- calificación de sección de caja, probetas de ensayos, Fig. 9.20
- resistencia de sección de caja, 9.2.3, 9.5.3, 9.8.1.2(1), Tablas 9.3, 9.6

sección circular, Fig. 9.2(A)
 CJP, 9.5.2.2, 9.11, 9.11.2, 9.14, 9.15, 9.19, C-9.11, C-9.15, C-9.19,
 Tablas 9.7, 9.8, 9.10, Figs. 9.12–9.16, 9.27
 colapso, 9.6.1.2, 9.6.2.2, C-9.6.1.2, C-9.6.2.2
 juntas transversales, 9.6.2.1, Fig. 9.2(G)
 carga de trituración, 9.6.2.2, C-9.6.2.2
 detalles de las juntas soldadas, 9.5.1.2, Figs. 3.2, 3.3, 9.10, 9.14
 tolerancias dimensionales, 5.21.4.2
 longitud efectiva del filete, 9.5.1.1
 áreas de soldadura efectivas, 9.5.1.1
 falla, 9.6.1.3, 9.6.2.1, C-9.6.1.1, C-9.6.2.1, Tabla C-9.1
 fatiga, 9.2.7, 9.2.7.2, 9.2.7.6, 9.2.7.7, C-9.2.7.2, C-9.2.7.3, C-9.2.7.6, Tablas 9.1, 9.4, Figs. 9.1, 9.16
 soldaduras de filete, 9.5.1.2, 9.5.2.2, 9.6.1.3(4), 9.6.1.6(6), 9.11, 9.12, 1(2), 9.16, 9.18(3), 9.21, 9.22.1.1(1), Tabla 9.12, Fig. 9.18
 detalles, 9.5.1.1
 filete soldado, 9.10.1
 soldaduras en filete para conexiones tubulares en T-, Y- y K-, 9.5.1.2, 9.18(3) Fig. 9.10
 conexiones acampanadas, 9.6.1.4
 soldaduras en ranura, 9.5.2, 9.10, 9.11, 9.15, 9.19, 9.24.2, 9.29
 identificación, 9.3, Fig. 9.2
 inspección, 9.25, Tabla 9.16
 longitudes de intersección de soldaduras en secciones de caja, 9.5.5
 conexiones en T-, Y- y K-, 9.5.4
 manguito de junta, 9.6.1.2(2), 9.8, 9.15.4.4
 conexiones en K-, *véase* Conexiones en T-, Y- y K-
 juntas traslapadas, 9.5.1.3
 longitud de soldaduras, 9.5.4, 9.5.5
 Diseño de factor de carga y resistencia (LRFD), 9.2.2, 9.2.6, 9.5.3, 9.6.1.1, 9.6.1.3(b), Tabla 9.2
 carga de miembro principal, 9.5.3, 9.6.2.1
 maqueta, 9.15.4.1
 NDT de estructuras tubulares, 9.26.2
 RT, 9.29
 UT, 9.30, 9.27.1
 tenacidad a la entalla metal base, 9.8.2

IIAZ, C-9.15.4.4
 metal de soldadura, C-9.15.4.4
 juntas traslapadas, 9.6.1.6, 9.6.2.4
 caja, 9.6.2.4, C-9.6.2.1, C-9.6.2.4, Figs. 9.8, C-2.6
 circular, Fig. 9.6
 Soldaduras en ranura con PJP en conexiones de caja concordantes, 9.10.1.1
 detalles de juntas precalificadas, 9.15.4, Tabla 9.8
 procesos y procedimientos
 Conexiones en T-, Y- y K- (menos de 30°), 9.15.4.2
 otros detalles de juntas, 9.19.1
 esfuerzo de cizallamiento por punzonado, 9.6.1.1
 ensayos de calificación, 4.15.3, Tablas 4.10, 9.13, 9.14
 RT, 9.28, 9.29
 resistencia de conexiones, limitaciones de, 9.6
 símbolos, 9.4, Anexo I
 Conexiones en T-, Y- y K-, 9.5.2.2, 9.5.3, 9.5.4, 9.5.5.2, 9.6.1.2, 9.6.1.3, 9.6.1.5, 9.6.2.6, 9.8.1.3, 9.10.1, 9.11.2, 9.15.4, 9.16, 9.19, 9.22.1, 9.27.1.2, 9.30, 9.30.5, Tablas 4.10, 9.2, 9.3, 9.13
 probetas de ensayos, calificación, 4.9.2
 transferencia de carga, 9.6.2.3
 pendiente de transición, 9.6.1.4
 transición de espesor, 9.7
 transiciones, tamaño de tubo, 9.6.1.4, Fig. 9.2(K)
 ranuras tubulares en conexiones en T-, Y- y K-, 9.11.2
 socavación, Tabla 9.16
 esfuerzos de la unidad, metales base, 9.2.2
 esfuerzos de la unidad, soldaduras, 9.2.4
 UT, 9.30
 Ensayos de calificación de la WPS, 9.14
 juntas a tope soldadas desde un solo lado, 9.15.2
 Evaluación de tamaño de discontinuidad (UT), 6.29
 ensayos de ángulos de haz, 6.24.5
 ensayos de haz recto, 6.24.4
 Exposición (RT)
 pared única, 9.29.1.1, 9.31
 pared doble, 9.29.1.2, 9.29.1.3, 9.32–9.34
 Examen de la vista, 6.1.4.4

F

Fabricación, Sección 5
 Fabricante, 3.6, 5.3.1.3, 5.3.3.3, 6.17.12, 9.24.1, *véase también* Contratista
 Fabricante
 certificación de electrodo, 5.3.1.1
 responsabilidad, 4.2.1.1, 4.2.2.2
 certificación de gas de protección, 5.3.1.3
 certificación de pernos, 7.1, 7.2, 7.3.3, 7.9
 Falta de nitidez geométrica, 6.17.5.1, Anexo J
 Falla, local, 9.6.1.1, C-9.6.1.1
 Falla local
 caja, 9.6.2.1
 circular, 9.6.1.1
 Fatiga, 2.13.1, 2.14.1–2.14.3, 2.16.2, 2.19, 9.1
 esfuerzo admisible, 9.2.7.3, Figs. 2.11, 9.1
 aumento en, 2.6.5, 9.2.7.4
 mejora de comportamiento, 9.2.7.6
 categorías, 9.2.7.2, 9.11.2, Tablas 2.5, 9.1, 9.4
 miembros críticos, 9.2.7.5
 daño acumulado, 9.2.7.4
 estructuras cargadas cíclicamente, 2.2, 2.12, 5.19.1.2, 5.9.1.4, 5.22.6.3, Anexo E, Tablas 9.1, 2.5, Fig. 2.11
 historia, 8.3.3
 mejora de la vida, 8.4
 carga, 8.3.5
 martillado, 8.4.1, 9.2.7.6(3)
 efectos del tamaño y del perfil, 9.2.7.7
 categorías de esfuerzo, 9.2.7.2, Tablas 9.1, 9.3, Fig. 9.1
 ciclos de esfuerzo, 9.2.7.1
 rango de esfuerzo, 9.2.7.1, Figs. 2.11, 9.1
 estructuras tubulares, 9.11.2, 9.2.7.6, Tablas 9.2–9.4
 FCAW (soldadura por arco con núcleo de fundente), 3.2.4
 respaldo, 5.9, C-5.9
 electrodos, 5.3.1.5, 5.3.4
 espesor de capa, Tabla 3.6
 limitaciones, 3.2.4, 9.11
 fuentes de alimentación, 3.2.4, C-3.2.4
 WPS precalificada, Sección 3, 3.2.4
 gas de protección, 5.3.1.3, C-5.3.1.3
 Calificación de la WPS, Sección 4
 variables esenciales, Tabla 4.5
 FCAW-G FCAW-S, Anexo J
 Formularios de informes, Anexo M

Formularios de informes UT, Q.15,
Anexo I
Fuentes de alimentación, 3.2.4, Tabla U.4
Fundente, 5.4.3, 7.2.3
condición, 5.3.3.2, 5.4.3
paquetes dañados, 5.3.3.2
secado, 5.3.3.2, 5.4.3
combinación de electrodos, 5.3.3.1
fusionado, 5.3.3.2
embalaje, 5.3.3.2, 5.4.3
recuperación, 5.3.3.3, C-5.3.3.3
SAW, 5.3.3.2, 5.3.3.3
almacenamiento, 5.4.3
SAW, 5.3.3.2, 5.3.3.3
Formularios, Anexos L, M
Fusión total, *véase* Fusión total
Fusión incompleta, 5.25.1.3, Fig. 5.4
Fusión total, 4.9.11(6), 5.9.1.3, 5.9.3,
9.14(1), Fig. 9.21

G

Garganta efectiva, 2.4.2.2, 2.4.2.6,
2.4.2.7, 2.4.2.10, 2.4.3.2, 2.4.3.3
2.4.3.7, 2.4.3.8, 5.21.1, 9.6.1.3,
9.6.1.6, Anexos A, B, Tabla 9.2,
Fig. 3.4, *véase también* tamaño de
la soldadura efectivo
Gas de protección, 3.7.4, 5.3.1.3, Anexo
J, C-5.3.1.3, Tablas 3.7, 4.5
protección contra el viento, 5.11.1
Grietas, 4.9.1.1, 4.9.3.3, 4.9.4.1,
4.22.2.2, 4.22.4.1, 4.32.1, 5.14.2,
5.14.8.2, 5.23, 5.25.1.4, 5.25.3,
5.28, 6.5.3, 6.12.1, 6.12.2, 7.2.5,
9.8, 9.15.4.(3), 9.22.1.1(1), Anexo
Q8.3, Q10, C-5.4.1, C-5.9.1.2,
C-5.30, C-6.17.3.1, C-8.4.1,
C-8.5.2, C-9.2.7.6, C-9.23, Tablas
6.9(1), 9.16(1)
Golpes de arco, 5.28, C-5.28
GMAW (soldadura a gas y arco con
electrodo metálico), 3.2.1, 3.11,
Anexo J
espesor de respaldo, C-5.9.1.3
electrodos, 5.3.4
espesor de capa, Tabla 3.6
fuentes de alimentación, 3.2.4
WPS precalificadas, Tablas 3.6, 3.7
variables esenciales, Tablas 4.5, 4.6
propiedades de electrodos para, 5.3.4
protección contra el entorno, 5.11
pasada de raíz, 3.8.1
gas de protección, 3.7.4
GMAW-S, 3.2.2, 4.14.1, 9.15.4.3,
Anexo J, Tablas 9.8, C-3.1, Fig.
C-3.1
Grasa, 5.14.4.1, 6.25.3, 7.5.5.1
GTAW (soldadura a gas y arco con
electrodo de tungsteno), 4.14.1.2,
4.14.1.2, 5.3.5, Anexo J
variables esenciales, Tabla 4.5

Guía de rugosidad de la superficie,
5.14.8.3

H

HAZ (zona afectada por el calor)
control de dureza, Anexo H3, H5
dureza de, 3.5.2.1
tenacidad a la entalla, C-9.15.4.4
ensayo de, 3.5.2.1
Haces
orificios de acceso, 5.16
bordes armados, 5.18.1
curvatura, 5.22.3
calados, 5.14.8.3, 5.16
placas de cubierta, C-8.4.2
profundidad, 5.17.2, 5.22.9
empalmes, 5.19.2
linealidad, 5.22.2
barrido, 5.22.5
inclinación, 5.22.8
combadura, 5.22.8
Hierro en polvo, 5.9.3, 5.21.1
Horneado, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.4, 5.3.2.5
Huella (conexión tubular), Fig. 9.4

I

Inclusión de escoria, 4.9.3.3, 5.25.1.3,
Anexo J, C-6.25.12
Informes, 6.26, C-6.19, Fig. Q15
Ingeniero, 1.1, 1.2, 1.5, 1.3.1, 1.3.3.2,
1.3.4, 1.3.6.1, 1.4, 1.4.1, 1.4.3.2, 1.5,
2.3.2, 2.3.3, 2.13.3, 2.19, 3.2, 3.4,
3.5.2.1, 4.2.1.2, 4.2.2.1, 4.8.3, 4.8.4,
4.14.1.3(3), 4.14.2, 5.3.1.1, 5.3.1.3,
5.4.4, 5.9.1.2, 5.9.1.4, 5.9.1.5, 5.12,
5.14.5, 5.14.5.1(4), 5.14.8.1
5.14.8.2, 5.14.8.4, 5.17.1, 5.17.3,
5.18.2, 5.20.3, 5.21.1.1, 5.21.3.1,
5.21.4.1, 5.21.4.4, 5.25.3, 5.25.5(2),
5.27(b), 5.30.2, 6.1.3.2, 6.1.4.1,
6.1.4.5, 6.4.1, 6.5.1, 6.5.3, 6.5.4,
6.6.3, 6.8, 6.17.3.1, 6.17.6, 6.19.2,
6.19.4, 6.32, 7.2, 7.3.3, 7.3.5, 7.8.5,
7.9.2, 8.1, 8.3.1, 8.3.5, 8.4.1, 8.5.2,
8.5.4, 8.6.1, 9.5.2.1, 9.24.1, C-1.3.1,
C-1.3.3, C-1.4.1, C-1.4.3.1
Inicios y paradas de soldadura, 5.4.4,
Fig. 9.11
Inspectores asistentes, 6.1.4.3, 6.1.4.4
Inspección de verificación, 1.4, 1.4.3.2,
6.1.2.2, 7.8, C-1.4.1(3), C-6.1.2
Inspector de verificación, 1.3.3.2,
6.1.3.2, 7.8.2, Anexo J
Inspector del contratista, 1.3.3.1,
6.1.3.1, 6.2-6.5, Anexo J
Inspección visual, 4.9.1, 4.22.1, 6.5.3,
6.6.1, 6.6.4, 6.9, 7.5.5.7, 7.8.1,
8.6.1, 9.25
Inspección, Sección 6

equipos, 6.2
fatiga, 2.19
general, 6.1, 6.15
incompleto, 9.30.8.3
materiales, 6.2
MT, 6.10, 6.14.4
NDT, 4.9.2, 6.11, 6.14, 9.26, C-6.11,
C-9.26
personal, 6.1.4.4, 6.14.6
tubos y tuberías, 4.9.1
PT, 6.10, 6.14.6
registros, 6.5
normas de referencia, 6.22
RT, 6.12, 6.14.1
requisitos específicos, 2.3.5.6
pernos, 7.1, 7.5, 7.6, 7.8
UT, 6.14.3
verificación, 6.1.2.2, 6.1.3.2
visual, 4.9.1, 5.14.5.2, 6.5.3.6.9,
7.5.5.7, 7.7.1.3-7.7.1.5, 7.8.1,
9.25, Tablas 6.1, 9.16
calificación de soldador, 6.4
trabajo, 6.5
Calificación de la WPS, 6.3
Inspector, 6.1-6.5, 6.26.1, 6.26.2, 7.8.2
inspector asistente, 6.1.4.3, 6.1.4.4
Soldadura con certificación AWS,
6.1.4.1
Asociación Canadiense de Normas
(CSA)/CWG, 6.1.4.1
Del contratista, 1.3.3.1, 6.1.2.1,
6.1.3.1, Anexo J, C-1.3.3.1
fabricación/montaje, 6.1.1, 6.1.2
identificación de soldaduras
aceptadas, 6.5.4
calificación, 6.1.4
sin modificación, 1.3.3.3
verificación, 1.3.3.2, 6.1.2, 6.6.2,
Anexo J, C-1.3.3.2
requisitos de visión, 6.1.4.4
Interpretaciones del código, Anexo N
Interpretación de las disposiciones del
código, Prefacio, Anexo N
IQI, 6.16.2, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.7,
6.17.9, 6.17.11, 9.28.1, 9.28.2,
9.29.1.1, Tablas 6.4-6.6, 9.17-
9.19, Figs. 6.4-6.9
IQI tipo orificio, 6.17.3.3, 6.17.7,
Tablas 6.4, 9.17, Figs. 6.4, 6.7
diseño, 6.17.7, 9.28.2, Tablas 6.4,
9.17
tamaño de orificio esencial, Tablas
6.4, 9.17
ubicación, 6.17.7, 9.28.2, Figs. 6.9,
6.10, 9.31, 9.32
exposición mínima, 9.29
número requerido, 6.17.7, 9.28.2, 9.29
espesor, 6.17.3
IQI de alambre, 6.17.3.3, Tablas 6.5,
9.18, Figs. 6.5-6.9

Iridio-192, 6.17.6

J

Junta de muestra, 4.11.4, 9.10.1.1, 9.15.4.1(2), 9.15.4.2, C-9.11, C-9.15, C-9.15.4, C-9.19

Juntas traslapadas, 2.4.2.9, 2.9.1, 2.9.2, 2.9.3.2, 9.5.1.3, 9.6.2.4, Anexo J, Figs. 2.1, 9.3

Juntas

- a tope, 2.7.5, 2.17.1.1, 2.17.1.2, 2.17.5, 5.21.3, 5.30.4, 6.16.1, 6.25.6.2, 9.7, 9.11.1, 9.15.1, 9.15.2, 9.16, 9.29.1, 4.24, 9.9, 9.22, 9.23, Anexo J, C-6.25.15(2), Figs. C-6.3, C-6.4
- de esquina, 2.7.5, 2.17.2.2, 2.17.2.4, 2.17.3, 3.11.2, 4.10.1.1, Anexo J, C-6.25.12, Figs. 3.2, 3.3
- transición en espesor y ancho, 2.8.1, 2.17.1, 9.7

Juntas en esquina, 2.7.3, 2.7.5, 2.17.2.2, 2.17.2.4, 2.17.3, 2.18.1, 3.11.2, 4.10.1.1, 6.16.2, Fig. 3.6

Juntas soldadas prohibidas, 2.18, 2.18.1, 2.18.3

Juntas en T, 2.4.3, 2.7.5, 2.17.3, 3.9.2, 3.9.2.2, 4.10.1.1, 4.11.1, Anexo B, Tablas 4.3, 9.3, 9.11, Figs. 3.2, 3.3, 3.6

Juntas a tope, 2.17.1, 2.17.5, 5.21.3, 5.30.4, 6.16, 6.25.6.2, 9.7, 9.11.1, 9.15.1, 9.15.2, 9.15.4.4, 9.16, 9.19, 9.29.1

Juntas en T oblicuas, 2.3.4, 2.3.5.2, 2.4.3, 2.4.3.7, 3.9.2, Anexo B, C-2.3.4, Tabla 2.2, Fig. 3.4

K

L

Laminaciones, Anexo Q6.2.1, C-2.7.3, C-5.14.5.2

Langüeta de soldadura, 2.8.4, 2.17.5, 4.9.1, 5.2.2, 5.2.2.1, 5.30, 5.30.1-5.30.3, 6.17.3.1, C-5.30, C-6.17.3.1, Anexo P

Límite elástico, 1.2, 2.12.2.2, 3.14, 4.28.1, 4.28.2, 5.2.2.2, 5.17.1, 5.27, 9.6.1.1, 9.6.1.3, 9.6.2.1, 9.6.2.3, 9.6.2.4, 9.8.1.1, 9.8.2.1, 9.8.2.2, Anexos I, T, U, C-3.14, C-5.2, C-8.4.1, C-9.6.1.3, C-9.8.2, C-9.15.4.4, Tablas 2.3, 4.8, 4.14, 7.1, 9.6, C-9.4-C-9.6, Figs. 4.8, 4.9, 4.11, 4.13, C-9.6

Limpieza de soldadura, 5.29

- soldaduras completadas, 5.29.2

- limpieza durante el proceso, 5.29.1
- uso de martillos manuales, 5.26.1
- uso de herramientas vibradoras de bajo peso, 5.26.1, C-5.26

Longitud de soldadura, *véase* Soldaduras, longitud

Licitadores, 5.22.6.5, 6.1.1, 6.15, C-5.2

Limitación de variables, calificación de la WPS, 3.6, 4.8

- ESW y EGW, 4.8.2, 5.4, Tabla 4.7
- FCAW, Tabla 4.5
- GMAW, Tabla 4.5
- SAW, Tabla 4.5
- SMAW, Tabla 4.5

Limitación de variables, soldadores de punteado, 4.19

- metales base, Tabla 4.12
- electrodos, Tabla 4.12
- posición, Tabla 4.12
- proceso de soldadura, Tabla 4.12

Limitación de variables, calificación del soldador, 4.18

- metales base, Tabla 4.12
- electrodos, Tabla 4.12
- posición, Tabla 4.12
- progresión de soldadura, Tabla 4.12
- proceso de soldadura, Tabla 4.12

Limitación de variables, calificación de operario de soldadura, 4.19

- metales base, Tabla 4.12
- electrodos, Tabla 4.12
- posición, Tabla 4.12
- progresión de soldadura, Tabla 4.12
- proceso de soldadura, Tabla 4.12

Limitaciones del material, 9.8

Limitaciones de temperatura, 5.8.2, 5.20.6, 5.25.2, C-5.25.2

Línealidad (UT)

- horizontal, 6.21.2, 6.23.1, 6.27.1.4, 6.28.1, Anexo G3

Limpieza, 5.29, 7.4.1

- salpicadura de soldadura, 5.26.1, 5.29.2, 6.25.3, Anexo J

Limpieza durante el proceso, 5.29.1

Longitud de soldadura efectiva, 2.3.4, 2.4.1.1, 2.4.2.1, 2.4.2.2, 2.4.2.10, 2.24.1.1

- caja, 2.24.5
- circular, 2.24.4

Longitud de intersección, 9.5.4

Lubricantes, Fig. 7.3

M

Marcas de identificación, 6.5.4

Martillos, 5.26.1

Martillado, 5.26, 9.2.7.6, Anexos J, M, P, C-1.3.6.2, C-2.7.3(a)

- martillado aceptable, 5.26, C-5.26
- remoción de escoria, 5.26.1
- uso de herramientas vibradoras, 5.26.1

Maquinado, 5.14.6, 5.25, 7.2.5.1

Materiales peligrosos, 1.7

Materiales fuera de la lista, 3.4

Metales base fuera de la lista, 4.8.3

Metales base ASTM, C-9.4, C-9.6, C-9.8, Tablas 3.1, 3.3, 4.9

Metales de aporte

- combinaciones de metal base, 3.3, 3.5.1, 3.5.2, 3.7.3, Tablas 3.1, 3.2
- clasificaciones, Anexo U
- alambre de corte, Tabla 4.5(7)
- fundente de electrodo, 5.3.1.1
- electrodos, 3.3, 5.3, Tabla 3.1
- granular, Tabla 4.5(8)
- control de hidrógeno, Anexo H2.4, H4, H6.2
- requisitos de correspondencia, 3.3, Tablas 2.3, 9.2
- en polvo, Tabla 4.5(9)
- propiedades, Anexos T, U
- almacenamiento, 5.3.1.4, 5.3.2.1, C-5.3.2.1
- correspondencia de nivel de resistencia, Tabla 2.3
- designación de grupo de soldador, 4.2.3.1, Tabla 4.13

Método de ensayo, 4.9, 4.22, 4.23, 9.14, 9.22

Miembro en ángulo, 2.15.4

Miembros en compresión

- aceptación, 6.12.2.1, 6.12.2.2
- armado, 2.12.2.2
- columna, 5.22
- conexiones, 2.7.2
- empalmes, 2.7.2.2
- esfuerzos, 9.2.5, C-8.3.5, Tablas 2.3, 9.2

Módulo de sección, 9.6.1.1

Masilla, C-5.16.1, C-5.27

Metal base, Anexo J, Tablas 2.5, 3.7(3), (4), 4.5(29), 4.6, 4.9

- variables esenciales, 4.8.3
- inspección, 9.30.4
- combinaciones de metal de aporte, 3.3, 4.2.1
- materiales extraños, 5.14.4
- limitaciones (tubular), 9.8.1
- tenacidad a la entalla (tubular), 9.8.2
- preparación, 5.14, 7.4.3, 8.2
- calificación, 4.8.3
- remoción, 5.25, 7.7.5
- reparación, 5.14.5.2, 5.25, 5.25.1.4, 5.25.3, 5.25.5
- especificaciones, 2.3.1, 9.2.2
- esfuerzos, 2.63, 2.65, 9.2.2
- superficies, 5.14, 5.27, 8.5.1
- corte térmico, 5.14.8.3
- espesor, 2.7.3, 3.5.1, 3.12.2.1, 7.2.7, 8.5.4
- tenacidad, 9.8.2
- fuera de la lista, 3.3, 4.8.3

UT, 6.19.4, 6.24.4, 6.25.2, 6.25.5
 Miembro de rama, 9.5.3, 9.6.1, 9.6.2.3, 9.6.2.4
 Miembros armados, 2.12.1, 5.18
 soldaduras intermitentes, 2.12.2.1, 2.12.2.2
 Miembros de tracción, 9.8.2.1, C-9.6.1.1, C-9.8.2.1
 armado, 2.8.2, 2.12.1, 2.12.2.2, 2.18, 5.16.1.2, 5.18, 5.19, 5.20.1, 5.22.7, C-2.4.2.5, C-2.12, C-5.15, C-5.18, C-5.22.2, Tablas 2.3, 2.5, Fig. 5.2
 soldadura intermitente, 2.12.2.1
 reparación, 5.14.5.2, C-5.14.5.2
 esfuerzo, 2.6.2, 5.25.5, 9.25, 9.8.2.1, Anexo I, C-2.6.4, C-2.8, C-2.9.3.2, C-9.6.1.1, Tablas 2.3, 9.2, 9.3
 Momento plástico, Tabla C-9.1, 9.2.5
 Maqueta, 9.15.4.1, 9.30.2, Anexo Q3(15), Q5, Fig. Q.3
 MT (ensayo de partícula magnética), 9.2.7.6, 6.10, 6.14.4, Anexo J
 ejemplo de formulario, formulario de informe de ensayo M, Formulario M-7

N

NDT, 4.9.2, 4.16.1, 5.25.5(1), 5.29.2.6.1, 6.6.4, 6.6.5, 6.7, 6.11, 6.14, 6.15, 6.32, 6.35.1, 8.6.2, 9.26, C-4.9.2, C-6.11, C-9.26
 MT, 6.14.4
 calificación de personal, 6.14.6, 9.30.2
 PT, 6.10, 6.14.5
 RT, 6.12, 6.14.1, 6.16, 6.17, 9.28, 9.29
 UT, 6.13, 6.14.3, 9.30, C-6.13.1
 Nomograma, 6.2.8.2.1(11), 6.2.8.2.3–6.2.8.2.5, Anexo I
 No conformidad, C-1.4.1, 6.6.5
 No fusión, 7.4.7, c-7.4.7, *véase también* Fusión incompleta
 No redundante, 2.14.4, 9.2.7.6, 9.30.2, C-2.14.4, C-9.2.7.2
 Normas de referencia, 6.22, Anexo S, C-6.22
 Normas para el diseño de tubo de caja, 9.6.2

O

OEM (fabricante original del equipo), 1.3.4, 1.4.1 (8), Anexo J, C-1.3.4, C-1.4.1 (8)
 Operarios de soldadura, 4.15.1, 4.16.1, 4.2.2, 4.2.3, 5.20.2, 6.4, 7.7.4, 9.17.1, C-4.2.2, Tabla 4.10

Orificios de acceso a la soldadura, 2.7.6, 5.16, 5.16.1, 5.16.1.1, 5.16.1.2, 5.16.2, 5.16.3, C-2.7.6, C-5.16, Tabla 2.5
 Orificios de pernos, mal ubicados restauración mediante soldadura, 5.25.5
 Orificios calados, 5.16
 Oscilación, 4.14.1.3(1), Anexos J, M, Tabla 4.7
 Orificios punzonados, reparación, 5.25.5
 Orificios, acceso, 2.7.6, 5.16
 Orificios
 WPS aprobada, 5.25.5(2)(b)
 accros revenidos y templados, 5.25.5(3)
 restauración mediante soldadura, 5.25.5
 sujeto a otros esfuerzos, 5.25.5(1)
 sujeto a esfuerzos de tracción, 5.25.5(2)
 acabado de superficie, 5.25.5(4)
 ensayos requeridos, 5.25.5(3)(d)
 apariencia con pernos o punzonada inaceptable, 5.25.5(1)
 Orificios mal ubicados, 5.25
 Oxidación, 5.14.6, 5.14.8.3, Anexo J, C-5.14.6
 preparación de placa, 5.14.8.2
 reparación, 5.16
 rugosidad, 5.14.6, C-5.14.6
 Óxido, 5.14.3, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1, 8.5, C-5.14.3

P

Pantallas fluorescentes, 6.17.4
 Pasada múltiple, 4.12.2, 5.17.4, Anexo M, Formulario M-3, C-3.7.3, C-4.12.1
 Pasada de raíz, 3.7.4(4), 3.8.1, Tabla 3.6
 Pasada de refuerzo, Tabla 4.6(10)
 Procedimiento RT, 6.17, 9.28
 Placas de salida, 2.8.4, 2.17.5, 5.2.2, 5.30, C-5.30, C-6.17.3.1, *véase también* Lengüetas de soldadura
 Pasada final, Anexo J
 Partes cargadas axialmente, 2.9.1.1
 Pernos, 2.7.7, 8.3.7
 Película (RT)
 longitud, 6.17.8.1
 cartucho de traslape, 6.17.8.2
 ancho, 6.17.9
 Placas base, 2.7.2.2, 2.7.2.3
 Placas de diafragma, 2.12.2.2, C-6.13.1
 Plantilla guía de doblado, 4.9.3.1
 Placa de ensayo de soldadura en ranura, 4.9, Figs. 4.3, 4.45
 Plantilla para ensayo de doblado guiado, 4.9.3.1, 4.16.1.2
 Placas de empalme, 2.11.2, 5.22.6.4
 Placas de ensayo, soldadas

envejecimiento, 4.3.2, 4.9.2.1, 4.20.2, Tabla 4.4, Figs. 4.3, 4.5
 calificación de soldador de punteado, 4.23, Figs. 4.23, 4.27
 calificación de soldador, 4.2.3.2, 4.15.2.2, 4.16.1.2, 4.20.1, 4.22.2.1, 4.22.3.1, Anexo M, Figs. 4.16, 4.19–4.21, 9.22, 9.28
 calificación del operario de soldadura, 4.15.3, 4.16.1.1, 4.16.1.2, 4.20.2, 4.22.3.1, Tablas 4.10, 4.11, Figs. 4.17, 4.22, 4.25, 4.26
 calificación de la WPS, Figs. 4.2.1, 4.9, 4.15.3, Tablas 4.1–4.4, 9.9, Figs. 4.5, 4.7, 4.18, 4.26, 9.19
 Parámetro ovalizante alfa, Anexo R
 Posición sobrecabeza, 5.24.1.3, 9.6.2.5, 9.17, 9.18, Figs. 4.1–4.4
 Protección contra la corrosión, 2.14.3, C-5.16.1
 Placas de cubierta, haces, C-8.4.2, Tablas 2.5, 9.1
 Placas de aporte, 2.11, 5.21.1.1, Figs. 2.9, 2.10
 Probetas para ensayos, 4.3.2, 4.9, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.9.5, 4.10, 4.11.4, 4.12.3.2, 4.12.3.3, 4.16.1.2, 4.22.2, 4.25.2, 4.27.2, 7.6.3.1, 7.6.6.3, 7.9.5.1, 7.9.6, 7.9.7.1–7.9.7.3, 9.17.1, C-4.5, C-Tabla 9.10, Tablas 4.2–4.4, 4.15, 9.10–9.12, 9.14, Figs. 4.5–4.7, 4.22, 9.19, 9.20, 9.28
 Probeta de ensayo de macroataque, 3.5.2.1(1), 4.11.4, 4.12.2, 9.15.4.1(3), 9.22.1, Figs. 4.25, 4.26, 9.27
 Posiciones de soldadura de ensayo, 4.3.4, 9.12.1, C-4.3.4, Figs. 4.1, 4.4, 9.17, 9.18
 Períodos de tiempo de exposición atmosférica, 5.3.2.2, 5.3.2.3
 Procesamiento de imágenes de radiación, 6.33, 6.14.2, 6.35.4
 Práctica SNT recomendada por ASNT-TC-1A, 6.14.6.1, 6.14.6.2(2), 6.35.1, 9.30.1, Anexo U3
 Peligros de equipos, 1.7
 UT, 6.21
 soldadura, 5.10, 6.3, 7.2.1, 7.5.1
 Penetrómetros, 6.16.1, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 6.17.11, Tablas 6.4, 9.17, Fig. 6.4, *véase también* IQI tipo orificio o IQI tipo alambre
 Perfiles de soldadura, *véase* Soldaduras, perfiles
 Pérdida Z, 2.3.5.2, 2.4.2.6, 2.4.3.3, 2.4.3.7, 9.5.2.1, Anexo I, C-2.3.4, Tablas 2.2, 9.5, Figs. 3.4, 9.10, 9.11
 Personal de soldadura, 4.2.2, C-4.2.2
 Pernos, aceptación

calificación de aplicación, 7.6
 calificación base, 7.2.4, 7.2.6, 7.3-7.5, 7.6.1, 7.6.5, 7.6.6.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8, 7.9, 7.9.5.1
 certificación, 7.2.4, 7.3.3, 7.9
 grietas, 7.2.5
 material de cubierta, 7.2.7, 7.6.1, 7.9.5.1
 descripción, 7.2.4, 7.6.7, 7.9.10
 diseño, 7.2.1
 tamaño de la soldadura en filete, 7.5.5.4
 acabado, 7.2.5
 destello, 7.4.7, 7.7.1.3, 7.7.1.5, Anexo J
 longitud de pernos, 7.2.1, Fig. 7.1
 fabricantes, 7.6.2, 7.9
 materiales, 7.6.3.2, 7.6.7, 7.9.5.1, 7.9.10
 requisitos mecánicos, 7.3
 humedad, 7.4.1, 7.4.3, 7.4.4, 7.5.5.1
 no precalificado, 7.6.7
 aceite, 7.4.1
 remoción, 7.4.1
 óxido, 7.4.6, 7.7.5
 escala, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 conexión de cizallamiento, 7.4.5, 7.8.3, C-7.2.5
 conectores de tipo estándar, 7.2.1, Fig. 7.1
 requisitos de tracción, 7.9.7.1
 ensayos de torsión, 7.6.6.2, 7.7.1.4, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
 tipo A, 7.8.3, 7.8.4, Tabla 7.1
 tipo B, 7.4.5, 7.8.3, Tabla 7.1
 Porosidad de la tubería, C-6.1, Tabla 6.1
 Punto de rocío, 4.14.1.3, 5.3.1.3, C-5.3.1.3
 Probetas de ensayo para calificación de placa, 4.9, Figs. 4.5-4.7
 Posición plana, 5.24.1.1, Figs. 4.1-4.4
 Penetración de junta inadecuada, 4.9.1.1, 5.23
 Porosidad, 6.12.2.1, Tablas 6.1, 9.16
 Posición 1F rotada, 4.12.3.2, 9.14, Anexo M, Tablas 4.1, 4.4, 4.10, 6.7, 9.9, 9.13
 Posición 2F rotada, 4.1, 4.10, 9.9, 9.13
 Posición 1G rotada, 4.1, 4.10, 9.9, 9.13
 Posición de soldadura, 2.3.5.1, 4.2.3.2, 4.3.4, 9.12.1, Anexo M, C-2.3.4, C-4.3.4, Tablas 2.2, 9.5
 Posición horizontal, Figs. 4.1-4.4, 4.19, 4.21, 9.17, 9.18
 Posición vertical, 3.7.1, 5.24.1.2, Anexo J, Tablas 4.6, 4.7, Figs. 4.1-4.4, 9.17, 9.18
 precalificado, 3.7.1
 restricciones en, 3.7.1
 Precalentamiento, 3.4, 3.5, 3.5.1, 3.7.1, 4.8.4, 5.6, Anexo II, Comentario

Anexo II, C-5.3.2.1, C-5.3.2.4, C-5.11.2, C-5.16.2, C-6.1.5, C-7.5.5, C-8.2.1, C-9.15, C-Anexo II, Tablas 3.3, 11.2, C-3.5, C-4.6
 efecto en la dureza, 3.5.2, C-3.5
 Precalificación de WPS, Sección 3
 Procesos, 3.2.1-3.2.3
 Perfiles, soldadura, 4.9.4, 5.23, 9.2.7.7, C-5.12, C-5.23, C-9.2.7.7, Tablas 5.8, 6.1, 9.16, Figs. 5.4, 9.16
 Preparación de superficie, 5.14, 5.29, 7.4.3, 8.5
 Probetas de doblado transversal, 4.9.3.1, 4.9.3.2, 4.27.4, C-4.9.3.2, Figs. 4.8, 4.9
 Probetas de doblado longitudinal, 4.9.3.2
 Progresión de soldadura, 3.7.1, Anexo J
 Propietario, prefacio, 1.3.1, 1.3.3.2, 1.3.5, 5.21.3.1, 5.22.12, 6.1.2.2, 6.1.3.2, 6.6.5, 6.16.2, 6.17.12, 6.18.2, 6.18.3, 6.26.2, 6.26.3, 7.3.5, 7.8.6, 9.24.1, Anexos J, K, Q, C-1.1, C-1.3.4, C-1.4.1, C-6.1, C-6.11, C-6.14, C-16.7.3, C-9.15, C-9.15.4.4
 Puede (definición), 1.3.6.3
 PT, 6.10
 PWHT (tratamiento térmico posterior a la soldadura), 3.14, 4.14.1.3, 5.8.2, 5.8.3, 5.25.5, C-3.3, C-3.14, C-5.8, C-8.4.1, Tablas 3.7, 4.5, 4.7

Q

R

Radiografías, 4.22.3, 6.12.1, 6.12.2, 6.17, 6.17.5-C-6.17, 9.28, Figs. 6.2, 6.3
 Obligación del contratista, 6.18.2, C-6.18.2
 limitaciones de densidad, 6.17.11, 9.28.1, C-6.17.11
 mediciones de densidad, 6.17.11.2, C-6.17.11.2
 disposición, 6.18, C-6.18
 falta de nitidez geométrica, 6.17.5.1, Anexo J
 identificación de, 6.17.12
 calidad, 6.17.10
 enviado al propietario, 6.18.3
 Radiación de isótopo, 6.17.1, 9.28.1
 Radiografía, 6.17.2, 6.18.3, C-6.17.2, C-6.18.3
 Ranurado del lado opuesto, 3.12.1, 3.13.2.1, 3.13.3, 9.15, 9.15.1, 9.15.3, 9.19, Anexo J, Tabla 4.5(34)

cinzelado, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.23.3.2, 5.25
 esmerilado, 5.14.5.1, 5.14.5.2, 5.14.6, 5.14.8.4, 5.15, 5.23.3.2, 5.25, 6.17.3.2, 7.4.3, 7.7.5, 8.4.1, 9.2.7.6, C-5.16.2, C-8.4.1, C-9.2.7.6
 ranurado con oxígeno, 5.14.6, 5.25, C-15.4.6, Anexo J
 Ranurado con oxígeno, 5.14.8.2, 5.16, 5.25, 8.5.5
 remoción de metal, 5.25
 en aceros revenidos y templados, 5.14.6, 5.25, 8.5.5
 Ranuras en J, 2.18.2, C-3, 11.2
 Ranurado, 5.14.5.1, 5.14.6, 5.14.8, 5.21.5, 5.23.3.2, 5.25
 Ranuras, 5.14.8.4, C-5.14.8.3
 Rayos gamma, 6.17
 Rayos X, 6.16.1, 6.17.6, 6.17.11, 6.33, C-6.17.6
 Redundante, 2.14.4, 9.27.1.2, C-2.14.4, C-9.1, C-9.2.7.3, C-9.8.2.3, Tabla C-9.2, Fig. 9.1
 Registro de calificación de desempeño de la soldadura (WPQR), 4.18, Tabla 4.12
 Registro de calificación del procedimiento (PQR), 4.7, Anexo M
 Reflectores laminar, 6.25.5, 9.30.4
 Reflector de esquina (prohibido), 6.22.2, C-6.22.2
 Refuerzo, 2.12.2.1, 5.23.3, 5.23.3.1, 6.17.3, C-6.17.3
 remoción de, 5.23.3.2, 6.17.3.3
 no removido, 6.17.3.3, C-6.17.3.3
 Registros, 4.3.3
 Remates, 2.3.4, 2.3.5.2, 2.4.2.1, 2.9.3.1, 2.9.3.3
 Revestimiento de arco, 7.22, 7.2.4, 7.2.5.1, 7.4.4, 7.4.6, 7.6.7, 7.9.3, 7.9.4, 7.9.9, 7.9.10, C-7.4.6, C-7.6, C-7.6.1, C-7.9.10(1)
 Resistencia a la corrosión atmosférica, 3.7.3, 5.4.7, C-3.7.3
 Resistencia concordante, 3.3, Tablas 2.3, 3.2, 4.9
 Resistencia subconcordante, 3.3
 Remoción de pintura, 5.14, 6.25.3, 8.5.1
 Reparación, 5.14.5.2, 5.14.6, 5.14.8.3, 5.16.5.18.1, 5.21.4.1, 5.25.5, 6.25.10, C-5.14.6, C-5.14.8.3, C-5.16, C-5.18, C-5.25.5
 de grietas, 5.25.1.4
 de estructuras existentes, Sección 8
 de placa, 5.14.5.2, C-5.14.5.2
 de pernos, 7.7.3, 7.7.5
 Retrodispersión, 6.17.8.3, C-6.17.8.3
 Resistencia en puntos de carga, 5.22.10
 Rigidizadores de carga, 5.22.10, 5.22.11.3
 tolerancias, 5.21.2, 5.22.11
 Refuerzos, 9.6.2.2

Requisitos de ensayos de doblado, 4.9.3.1, 4.9.3.3, 4.16.1.2

Respaldo, 2.3.5, 2.17.2, 2.18.1, 2.18.4, 3.12.1, 3.13.2, 4.20, 4.22.3, 5.2.2.2, 5.9, 5.16.1, 5.21.1, 5.21.1.1, 5.21.2, 6.17.3.2, 6.17.3.3, 9.5.2.2, 9.11.1, 9.11.2, 9.15, 9.19, 9.23, 9.28.2, Anexo J, C-5.9, C-5.25.5, C-6.17.3.3, C-6.25.12, C-9.15, C-9.23, Tablas 4.5(34), 4.12(6)

UT, 6.25.12, C-6.25.12

Respaldo, accesorio de, 5.9.1

Respaldo, remoción de, 2.17.2.1-2.17.2.3, 3.13.2.1, 4.22.3, 5.9.1.5, 5.17.5, 6.17.3.2, 6.17.3.3, C-5.9.1.4, C-16.17.3.3, C-6.25.12

Responsabilidades, 1.4, 2.13.3, C-1.4

Restauración mediante soldadura, de orificios, 5.25.5

Restricción, Anexo H, 4.8.4, 5.5, 5.20.5, 5.20.6, Fig. 9.24

Repeticiones de ensayos, 4.9.5, 4.24, 4.29, 6.25.11, 7.9.8, C-6.4.2, C-9.15.4.4

Remaches, 2.7.7, 8.3.7, C-2.7.7, C-8.3.7

Remoción de escoria, requerida, 5.29.2

uso de martillos para escoria, 5.26.1

uso de herramientas vibradoras, 5.26.1

Requisitos de inspección especiales, 2.3.5.6

Revestimientos protectores, 5.14

Revestimiento inhibidor de oxidación, 5.14, C-5.14

Rigidizadores

de carga, 5.22.11.2, 5.22.11.3

intermedios, 5.22.6.2, 5.22.11.1

linealidad, 5.22.11.2, 5.22.11.3

tolerancia, 5.22.11

Riostra, 5.22.5

Rugosidad de la superficie, 5.14.8.3, 5.23.3.1, Anexo Q2 (12), C-9.27, Tabla 2.5 (1.1, 1.2)

Rupturas, 7.2.5

RT, 2.19, 4.9.2, 4.16.1.1, 4.22.3, 9.22.2, 9.26.2, 9.27.1, 9.28, 9.29, Anexos J, K, M, C-6.17.6, C-6.18.3, C-6.19.3, C-6.25.5.2, C-9.22

aceptación, 6.12.1, 6.12.2.2, Figs. 6.1, 6.4, 9.29, 9.30

radiación retrodispersada, 6.17.8.3

discontinuidades alargadas, 6.12.1, Figs. 6.1, 6.4, 9.29, 9.30

alcance de los ensayos, 6.15, C-6.15

ensayos parciales, 6.15.2

ensayos puntuales, 6.15.3

tipo de película, 6.17.4, C-6.17.4

ancho de la película, 6.17.9, C-6.17.9

fuentes de rayos gamma, 6.17.6, C-6.17.6

general, 6.17.1, 6.17.8, 9.28.1

IQI tipo orificio, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 6.17.11, Tablas 6.4, 9.17, Fig. 6.4

IQI, 6.17.1, 6.17.7, 9.28.1, 9.28.2, C-4.3.4, C-6.17.7, Tablas 6.4, 6.5, 9.17, 9.18, Figs. 6.8, 6.10, 9.31, 9.32

imagen aceptable mínima, Fig. 6.2

exposición mínima, soldaduras de juntas a tope, 9.29

iluminador de radiografía, 6.18.1, C-6.18.1

seguridad, 6.17.2

ubicación de la fuente, 6.17.2, C-6.17.2

fuentes, 6.17.6, C-6.17.6

preparación de la superficie, 6.17.3

IQI de alambre, 6.17.1, 6.17.3.3, 6.17.9, 9.28.1, Figs. 6.8, 6.10, 9.31, 9.32

tamaño de unidad de rayos X, 6.17.6, C-6.17.6

S

Salpicadura, 5.29.2, 6.25.3, Anexo J

Salpicadura de soldadura, remoción de, 6.25.32

SAW (soldadura por arco sumergido), 3.2.1, 3.8, Anexo J

diámetro de electrodo, Anexo M, C-7.5, Tablas 3.6, 3.7, 4.5

electrodos y fundentes, 5.3.3, Anexo T

recuperación del fundente, 5.3.3.3, C-5.3.3.3

ensayos de dureza, 3.5.2.1

temperatura entre pasadas, 3.5.2, 4.8.4, Anexo J, Tablas 4.5, 4.6

espesor de capa, Tabla 3.6

limitaciones, 3.13, 9.11

probetas para ensayos de macroataque, 3.5.2.1

corriente máxima, Tabla 3.6

arcos múltiples, 3.5.2, 3.8, Tabla 3.6

electrodos múltiples, 5.3.3

definición, Anexo J

pasada de raíz GMAW, 3.8.1

reducción de temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, 3.5.2

limitaciones de la corriente de la soldadura, Tabla 3.6

espesor de capa de soldadura, Tabla 3.6

electrodos en paralelo 5.3.3

definición, Anexo J

pasada de raíz GMAW, 3.8.1

reducción de temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, 3.5.2

espesor de capa de soldadura, Tabla 3.6

limitaciones de la corriente de la soldadura, Tabla 3.6

precalentamiento, 3.5.2

WPS precalificadas, Sección 3

junta de muestra, 3.5.2.1

electrodos únicos, 5.3.3, Anexo J, Tabla 3.6

soldaduras de punteado, 5.17.4, 5.17.5

calificación de la WPS, 4 Parte B

variables esenciales, 4.8, Anexo J

SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido), 3.2.1, 3.7.3.2, 4.2.2, 4.8, 5.3.2, 5.24, 7.5.5, 7.5.6, 9.10, 9.11, Anexo J, C-5.3.2, C-5.13

exposición atmosférica, 5.3.2.3, C-5.3.2.1

electrodos, 5.3.2.1, 7.5.5.6, C-5.3.2

variables esenciales, Tabla 4.5

espesor de capa, Tabla 3.6

tamaño máximo de la soldadura en filete, Tabla 3.6

de pernos, 7.5.5

WPS precalificadas, Sección 3

pasada de raíz, Tabla 3.6

Sección de caja, Tabla C-9.1

longitudes de conexiones, 9.5.5

radios de esquina, 9.5.1.2

conexiones de aberturas, 9.2.3

conexiones correspondientes, 9.10.1.1

traslape, 9.2.3

Secuencias de soldadura, 5.20.2

Símbolos de soldadura, 1.6, 2.3.5

Soldaduras

aceptabilidad, 6.7, 9.26.1, C-9.26.1

geometría de orificio de acceso, Fig. 5.2

accesibilidad, 5.25.4, 6.25.5.2, C-6.25.5.2

área, 2.4.1.5, 2.4.2.10

limpieza, 5.29, C-5.29

diagramática, 2.4.2.6, 2.4.3.7, Anexo A

disposiciones de esfuerzo de fatiga, 2.16.2, 5.19.1.2, C-2.16.2, Tablas 2.5, 9.1

longitud, 2.3.4, 2.4.1.1, 2.4.2.10, Tablas 6.1, 9.16

tenacidad a la entalla (tubular), 2.3.2, 9.8.2, 9.15.4.4, C-2.3.2, C-3.1.4

pintura, 5.29.2

perfiles, 5.23, 9.11.2, Tablas 5.4, 5.8, 9.4

calidad, 6.7, 9.26.1

tamaño, 2.3.4, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.2.8, 2.4.2.9, 2.4.3.6, 3.12.2, 4.11.2, 5.13, 9.2.7.7, Tablas 3.5, 5.7, 7.2, Figs. 2.1, 2.5, 2.6

- esfuerzos, 9.2.4, 9.5.3
- superficies, 5.23.3.1
- temporal, 5.17.1
- terminación, 2.9.3
- Soldadura
 - a temperaturas bajas, 5.11.2, 7.5.4, C-5.2, C-5.11.2
 - equipo, 5.10, 6.3
 - progresión, 5.20.2
- Soldaduras de ala a alma, 2.9.3.4, 6.13.1, 6.13.2.2, C-2.9.3.4, Tablas 6.1, 9.16
- Soldadores, 3.1, 4.2, 4.2.2, 4.2.3, 4.15.1, 4.15.2, 4.16.1, 4.16.2, 4.19, 4.20.1, 4.24.1.3, 5.5, 6.4, 6.5.5, 9.17, Tabla 4.12
- Secado
 - revestimientos de arco, 7.4.4
 - electrodos, C-5.3.2, C-5.3.2.5
 - fundente, 5.3.3.2, 5.4.3, 7.4.4, C-5.3.3.2
 - hornos, 5.3.2.1, 5.3.2.2, 5.3.2.4
- Secuencia, 5.20.1, 5.20.2
- Seguridad y salud, 1.7, 6.17.2
- Sellado, 5.27, Anexo J
- Secciones circulares
 - longitudes de conexiones, 9.5.4
 - limitaciones, 9.2.3
 - términos de resistencia, Tabla 9.6
 - categorías de esfuerzo, 9.2.7.2
- Sensibilidad (UT), 6.24.4.2, 9.30.3.2, G2.4
- Socavación, 3.7.1(1), 4.9.4.1, 4.22.4.1, 4.23.1, 5.5, 5.23.2, 5.23.3.1, 5.25.1.2, 7.7.1.3, 9.15.4.1, 9.22.1.1, Anexo J, C-6.9, C-8.4.1, Tablas 6.1, 9.16
- Soldaduras de tubo
 - tubo prefabricado, Tablas 4.11, 9.14
 - probetas de ensayo para calificación de procedimiento, 4.9.2
 - posición de ensayo, Figs. 9.17, 9.18
 - probetas de ensayo, ubicación, Figs. 4.5-4.7, 9.19, 9.20, 9.28
 - ensayos requeridos, 9.19, C-9.19
 - inspección visual, 4.9.1
 - calificación de soldador, 4.17, 9.18, Figs. 4.19, 4.22, 9.22-9.27
- Soldaduras en ranura abocinada, 2.4.1.4, 2.8.3, 4.11.5, Tabla 2.1
- Soldaduras en ranura con PJP, 2.3.4, 2.3.5.1, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 2.4.1.3, 2.7.2.1, 2.7.4, 2.7.5, 2.8.3, 4.6, 4.9.4.1, 4.11, 4.17, 4.21, 5.21.2, 9.5.2.1, 9.6.1.3, 9.10, 9.16, 9.18, 9.20, C-2.6.4, C-2.16.2, C-9.15, Anexos I, J, M, C-2.3.4, C-2.6.4, C-4.11, Tablas 2.3, 2.5, 9.3, 9.11
- Soldadura auxiliar de construcción, 5.17, Anexo J
- Soldaduras de contorno, 2.7.5, 2.8.1, 2.16.2(b), 2.17
- Superficies unidas, 2.4.5.3, 2.7.7, 5.21.1.1, Tablas 2.3, 2.5
- Factor de atenuación, 6.19.1, 6.25.6.4, C-6.19.1, C-6.25.6.4
- Soldaduras de campo, 2.3.1, 5.22.3, C-2.7.6, C-5.22.4
- Soldaduras de tapón, 2.4.5.3, 2.7.4, 2.4.5.4, 2.10.1, 3.9.2, 4.20.2.1, 4.22.2.2, 5.2.4.1, 5.24.2, 9.13, C-2.4.5.4, Tablas 4.10, 4.11
- esfuerzos admisibles, Tablas 2.3, 9.2
- ensamblaje, 5.21.1
- área efectiva, 2.4.5.3
- relleno, 3.10.1
- ensayo de macroataque, 4.9.4, 4.11.1, 4.11.4, 4.12.2, 4.22.2, 9.22.1.1, Figs. 4.25, 4.26, 9.27
- dimensiones precalificadas, 2.10.3, 3.9.2
- ensayos de calificación, 4.21.3, Fig. 4.26
- aceros revenidos y templados, 2.10.4, 3.10.1
- tamaño, 3.10.1
- espaciado, 2.10.1
- esfuerzos, Tabla 2.3
- técnica para hacer, 5.24.1
- espesor, 3.10.1
- Soldaduras en filete, 2.4.2
- esfuerzos admisibles, 2.6.3, 2.6.4, 2.6.4.2, 2.6.4.3, 2.6.5, 2.16, 8.4.2, 9.2, Tablas 2.3, 2.5, Fig. 2.11
- a lo largo de un borde, 2.4.2.9, Fig. 2.1
- tolerancias de ensamblaje, 5.21, C-5.21
- ensayo de rotura, 4.22.4.1, 4.22.4, 6.4.2
- combinación con soldadura con PJP, Anexo A
- concavidad, 5.23.1
- convexidad, 5.23.1, 5.23.3, Fig. 5.4
- longitud curvada efectiva, 2.4.2.2
- detalles, 3.9.1, 9.9.1, Figs. 2.1, 9.10
- área efectiva, 2.4
- longitud efectiva, 2.4.2.1, 2.4.2.2
- garganta efectiva, Anexos A, B
- conexiones terminales, 2.9.2, C-2.9.2
- entrada de energía, Anexo H, H.5, H.6, Fig. H.4
- orificios, 2.9.4
- intermitente, 2.4.2.4, 2.9.5
- detalles de juntas, Figs. 3.2-3.5
- juntas traslapadas, 2.4.2.9, 2.9.1, 2.9.3.2, 9.5.1.3, 9.6.2.4, C-2.9.3.2, Fig. 2.1
- longitudinal, 2.9.2
- ensayo de macroataque para, 4.9.4, 4.22.2
- tamaño máximo, 2.4.2.9, 2.18.3, 3.9, 5.13, 7.5.5.4, Tabla 5.7
- tamaño mínimo, 2.18.3, 3.9, 5.13, 7.5.5.4, 9.9.1(2), Tabla 5.7
- tolerancia, 5.12
- lados opuestos, de plano común, 2.9.3.5
- posiciones de tubos, 4.3.4, 9.12.1, Figs. 9.17, 9.18
- precalificado, 3.4.3.5, 3.9, 9.11.2, Fig. 2.1
- perfiles, 5.23
- refuerzo, 2.4.2.7, 2.7.4, 2.7.5, Anexo A
- esfuerzo de cizallamiento, 2.6.4.1
- ranuras, 2.9.4
- prueba de solidez, Figs. 4.15, 9.21
- recto, 2.4.2.1
- pernos, 7.5.5.2, 7.5.5.3
- terminaciones, 2.9.3, 2.17.6
- placas de ensayo, 4.12.2, Tabla 4.4
- transversal, 2.9.1.1
- calificación de la WPS, 4.12
- Soldadura diagramática, 2.4.2.6, 2.4.2.7, Anexo B, Fig. A.3, Fig. A.4, Fig. A.6
- Soldaduras en ranura, 2.3.5, 2.4.1, 2.8
- esfuerzos admisibles, Tablas 2.3, 9.2
- respaldo, 2.17.2, 3.13.2, 5.2.2.2, 5.9, 5.9.1.3, 9.23
- bisel, 2.4.2.7, 2.8.3, 3.13.3, Anexo A, Tabla 2.1
- CJP, 2.3.5.3, 2.4.1.2, 2.7.2.2, 2.8.2, 2.17.2.2, 2.18.4, 2.19, 3.11, 3.13, 4.10, 4.11.3, 4.20, 4.21, 6.13.2.2, 6.25.12, 9.5.2.2, 9.11, 9.15, 9.19, 9.20, Tablas 2.3, 4.1, 4.2, 4.5(32), 4.10, 9.9, 9.10, 9.13
- secciones cruzadas de, 2.16.2, 5.21.4.1, Tabla 2.5
- dimensiones de detalle, 2.3.5.4, Fig. 5.2, 3.3
- tolerancias dimensionales, 5.12.3, 3.13.1, 5.21.4
- área efectiva, 2.4.1.5
- longitud efectiva, 2.4.1.1, 9.5.2
- tamaño de la soldadura efectiva, 2.4.1.2, 9.5.2, Tabla 2.1
- limitaciones, 3.13.1, 3.13.3
- un lado, 2.18.1, 9.5.2.2
- longitud parcial, 2.8.2
- PJP, 2.3.4, 2.3.5.1, 2.3.5.3, 2.3.5.4, 2.4.1.3, 2.7.2.1, 2.7.4, 2.7.5, 2.8.3, 3.12, 4.6, 4.9.4.1, 4.11, 4.17, 4.21, 5.21.2, 9.5.2.1, 9.6.1.3, 9.10, 9.16, 9.18, 9.20, Anexos I, J, M, C-2.3.4, C-2.6.4, C-2.16.2, C-9.15, C-4.11, Tablas 2.3, 2.5, 9.3, 9.11
- precalificado, 3.12.2.1, 9.10, 9.11, Tabla 9.5
- perfiles, 5.23.3, Fig. 5.4
- símbolos, 2.3.5.3
- terminación, 5.20

garganta, *véase* tamaño efectivo de la soldadura
 tubular, 9.5.2, Tabla 9.8
 Soldaduras de taller, 2.3.1
 Soldaduras en ranura con CJP, 2.3.5.3, 2.4.1.2, 2.7.2.2, 2.8.2, 2.17.2.2, 2.18.4, 2.19, 3.11, 3.13, 4.10, 4.11.3, 4.20, 4.21, 6.13.2.2, 6.25.12, 9.5.2.2, 9.11, 9.15, 9.19, 9.20, Tablas 4.1, 4.2, 4.5(32), 4.10, 9.9, 9.10, 9.13
 Soldaduras circunferenciales, 9.24.1
 Soldaduras intermitentes, 2.4.2.4, 2.12.2
 Soldaduras en ranura, 2.4.5.3, 2.7.4, 2.10, 4.13, 4.21.3, 5.24.1.2, C-2.7.4, C-2.7.5, C-3.10
 área efectiva, 2.4.5.3
 extremos, 2.4.4.2
 relleno, 2.4.5.4
 en aceros revenidos y templados, 2.10.4
 calificación del operario, 4.21.3
 dimensiones precalificadas, 2.10.3
 tamaño, 2.4.5, 3.10.1
 espaciado, 2.10.2
 técnica para hacer, 5.24.2
 espesor, 3.10.1, 5.24.2
 calificación del soldador, 4.15.3
 Soldaduras de punteado
 en soldadura final, 5.17.1, 5.17.3, 5.17.4
 pasada múltiple, 5.17.4, 5.17.5
 tamaño, 5.17.5
 Soldadura de pernos, Sección 7
 requisitos de calificación de aplicación, 7.6
 revestimientos de arco, 7.2.2, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, C-7.4.6
 equipo de soldadura sincronizado automáticamente, 7.2.1, 7.5.1, 7.5.2, C-7.5
 rupturas, 7.2.5
 certificación, 7.2.4, 7.3.3, 7.9
 material de cubierta, 7.2.7, 7.6.1, 7.9.5.1, C-7.6
 diámetros de electrodo, 7.5.5.6
 fabricación y verificación de pernos soldados a filete, 7.8
 casquillo, 7.2.2, 7.2.5.1, 7.4.4, 7.4.6, 7.9.3, Anexo J
 destello, 7.4.7, 7.7.1.3, 7.7.1.5, 7.7.3, 7.8.1, C-7.4.6
 fundente, 7.2.3, 7.9.3, 7.9.4, 7.9.9, 7.9.10
 requisitos generales, 7.2
 inspección, 7.5.5.7, 7.7.1.3, 7.7.1.4, 7.7.1.5, 7.8, C-7.7.1.4
 requisitos de inspección, 7.8
 longitud de pernos, 7.2.1, Fig. 7.1
 electrodos de bajo hidrógeno, 7.5.5.6, 7.7.5

tamaño mínimo, 7.5.5.4, Tabla 7.2
 humedad, 7.4.1, 7.4.3, 7.4.4, 7.5.5.1
 calificación del operario, 7.7.4
 requisitos de precalentamiento, 7.5.5.5
 procesos precalificados (SMAW, GMAW, FCAW), 7.5.5
 ensayo preproducción, 7.7.1
 control de producción, 7.7
 soldadura de producción, 7.7.2
 perfiles, 7.4.7
 reparación, 7.7.3, 7.7.5
 óxido, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 escala, 7.4.1, 7.4.3, 7.5.5.1
 calificación base de perno, 7.2.4, 7.2.6, 7.6.1, 7.9, 7.9.5.1
 técnica, 7.5, 7.1.1
 ensayos de torsión, 7.6.6.5, 7.8.1, 7.8.4, Fig. 7.3
 mano de obra, 7.4

T

Tamaño de la soldadura, *véase* Soldaduras, tamaño
 Tamaño efectivo de la soldadura, 2.4.1.4, 2.4.1.5, 4.11.5, C-2.3.4
 soldadura diagramática, 2.4.2.6, 2.4.2.7, Anexo A
 Tamaño mínimo de soldadura
 filete, 2.4.2.8, 7.5.5.4, 9.6.1.6(6), C-5.13, Tabla 5.7
 PJP, 2.4.1.3, 3.12.2.1, 9.5.2.1, Tablas 3.5, 9.5
 sesgado, 3.9.2.2
 Tenacidad a la entalla, 2.3.2, 3.14(3), 5.8.3, 9.2.7.6(3), 9.8.1.4, 9.8.2, 9.8.2.3, C-1.4.1 (5), C-2.3.2, C-3.14(1), (2), C-5.2, C-5.4, C-5.7, C-7.6, C-9.2.7.7, C-9.8.1.3, C-9.8.2(c), C-9.15.14.4, Tablas 4.6, U.4
 metal base, 9.2.7.6(1), (3), 9.2.7.7, 9.8.2, C-9.8.2
 metal de soldadura, 9.15.4.4
 Temperatura entre pasadas, 3.5, 3.5.2, 4.8.3, 4.8.4, 5.6, 5.20.6, 5.7, Anexo H6.2.4, Tabla 3.3
 Transferencia de cortocircuito, *véase* GMAW-S
 Traslape, 2.4.4.4, 2.9.1.2, 2.9.4, 4.22.4.1, 4.23.1, 5.4, 5.23, 5.25.1.1, 5.26, 9.2.3(3), 9.6.1.6(3), 9.6.2.4, 9.29.1.3, Anexo I, C-2.7.3, C-9.6, C-9.6.2.1, C-9.6.2.4, C-9.8.2.3, Tablas 9.3, C-9.1, Figs. 9.6-9.8, 9.14, 9.15, Q.8, C-9.4, C-9.5
 Tolerancia como se detalla, 3.12.3, 3.13.1, Figs. 3.2, 3.3, 3.5
 Tolerancias dimensionales, 5.8, 5.22, 5.22.6.4, 5.22.12, C-5.2, C-5.22, C-5.22.12

Tracción en todo el metal de soldadura, 4.9.3.6, 4.14.1.3(2)
 Torcedura de sección cruzada de caja, C-5.22.8
 Tubos telescópicos, 9.5.1.3
 Tubos de guía, 5.4.2
 Tubo o tubería prefabricada, C-9.14, C-Tabla 9.13, Tabla 9.10, Fig. 4.10
 Temperatura, ambiente, 5.11.2, 6.11, C-2.7, C-3.5, C-5.11.2, C-5.16.1, C-8.5.5, Tablas 3.3, 6.1, 9.16
 Temperatura de servicio más baja anticipada (LAST), 9.8.2.2, 9.15.4.4
 Tratamiento térmico, 3.14, 5.8, Tablas 4.6, 4.7
 Términos, Anexo J
 Tolerancias
 alineación, 5.21.3, 9.24.1
 curvatura, 5.18, 5.22.2, 5.22.3, 5.22.4, 5.22.4, C-5.18, C-5.22.2, C-5.22.4, Tablas 5.5, 5.6, Fig. C-5.6
 dimensional, 3.12.3, 3.13.1, 5.8, 5.21.4.1, 5.22, 5.22.6.4, 5.22.12, 9.24, C-5.2, C-5.21, C-5.22, C-5.22.12, Tabla 9.15, Figs. 3.2, 3.3, 3.5, 5.3, 6.4, 7.1
 planicidad, 5.22.6.1-5.22.6.3, 6.17.3.2, C-5.22.6.1, C-5.22.6.2, C-6.17.3.2, Fig. C-5.5
 desviación, 5.21.3, 5.22.6.1, 5.22.8, 9.24.1, C-5.22.6.1, Tabla 7.1, Fig. C-5.3
 variación de linealidad, 5.22.1, 5.22.2, 5.22.5, C-5.22.2
 combadura, 5.22.8, C-5.22.8, Fig. C-5.7
 Tolerancia de acoplamiento, 3.13.1
 Tolerancias de mano de obra, 5.21.4.1, Fig. 5.3
 Transiciones de espesor o anchos, 2.75, 2.8.1, 2.17.1.1, 2.17.1.2, 6.17.11.2, 9.7, C-2.8.1, C-6.17.11.2, Tabla 2.5, Figs. 2.2, 2.3, 2.12, 9.9

U

Unidades de búsqueda de ángulo de haz (UT), 6.21.7, 6.23.4, C-6.23.4
 Unidades de medida estándar, 1.8
 UT (prueba ultrasónica), 6.13, Anexo J
 criterios de aceptación, 4.9.2.2, 6.13.1, 6.13.2, 9.26.2, 9.27.1, Anexos K, Q, Tabla 6.3
 factor de atenuación, 6.25.6.4, Anexo J
 respaldo, 6.25.12, Anexo Q
 discontinuidades de metal base, 6.19.4, C-6.25.5.2

UT (método alternativo) (continuación)

- calibración. 6.21.4, 6.22-6.24, 6.27, 9.30.3, Anexo G, Tabla 6.8
- calibración para ángulos de haz. 6.23.4, 6.24.5, 6.27, Tabla 6.8, Anexo G
- distancia. 6.24.5.1
- barrido horizontal. 6.24.5.1
- sensibilidad en nivel de referencia cero. 6.24.5.2
- calibración para modo longitudinal. 6.27.1, Anexo G, G7
- calibración para modo de cizallamiento. 6.27.2, Anexo G
- calibración de amplitud. 6.27.1.2, 6.27.2.4, 9.30.3.2(2), C-9.27, Anexos G, Q
- distancia de aproximación. 6.27.2.6
- calibración de distancia. 6.27.2.3, Anexo G
- resolución. 6.27.2.5
- punto de entrada de sonido. 6.27.2.1, 6.27.2.2, Anexo G
- ángulo de trayectoria del sonido. 6.27.2.2
- posiciones del transductor. 6.27.2.1(1), 6.27.2.2(1), 6.27.2.3-6.27.2.5, Anexo G
- calibración para haz recto. 6.24.4
- barrido horizontal. 6.24.4.1, 6.24.5.1, Anexo Q
- sensibilidad. 6.24.4.2
- calibración para ensayos. 6.24
- distancia. 6.24.5.1
- barrido horizontal. 6.24.4.1, 6.24.5.1
- sensibilidad en nivel de referencia cero. 6.24.5.2
- patrones de cruce. 6.25.6.2
- discontinuidades, longitudinales. 6.25.6.2, 6.29.1, 6.30.1
- discontinuidades, transversales. 6.25.6.2, 6.30.2 Anexos J, L
- determinación de longitud de discontinuidad. 6.25.7, 6.29.2
- procedimientos de evaluación de tamaño de discontinuidad. 6.29
- ensayos de ángulos de haz. 6.29.2
- ensayos de haz recto. 6.29.1
- equipos. 6.21
- control de ganancia. 6.21.4
- linealidad horizontal. 6.21.2
- unidades de búsqueda. 6.21.6, 6.21.7
- calificación de equipos. 6.23, 6.28, 9.30.3, Anexo L, Tabla 6.8
- bloque de calibración. 6.23.4

- precisión de dB. 6.28.2, 6.31, Anexo L
- control de ganancia. 6.23.2, 6.27.1.5
- linealidad horizontal. 6.23.1, 6.28.1, Anexo G
- reflejos internos. 6.21.7.5, 6.23.3, 6.28.3
- verificación. 6.23.3
- ESW y EGW. 6.19.3
- ejemplos. 6.31, Anexos G, L
- alcance de los ensayos. 6.19.1, 6.25.5
- soldaduras en ranura. 6 parte F
- longitud de indicación. 6.25.5
- reflector laminar. 6.25.5, 9.30.4
- calibración de modo longitudinal. 6.27.1, Anexo G
- nomograma. 6.28.2.3, 6.28.2.4, 6.28.5, Anexo L
- requisitos del operario. 9.30.2
- calificación de personal. 6.14.6, 6.35.1, 9.30.2
- procedimiento. 6.19.1, 6.25, 9.30.1
- procedimientos, calificación de equipos. 6.28, Anexo G
- linealidad horizontal. 6.21.2, 6.23.1, 6.27.1.4, 6.28.1, Anexo G
- reflejos internos. 6.27.7.5, 6.23.3, 6.28.3
- linealidad vertical. 6.28.2.1, 9.30.1
- procedimientos, evaluación de tamaño de discontinuidad. 6.29
- ensayos de ángulos de haz. 6.29.2
- ensayos de haz recto. 6.29.1
- bloques de calificación. 6.22.3
- bloques de referencia. IIW, 6.21.7.7, 6.22.1, 6.27, Anexo G
- información sobre. 6.25.6.3, 6.25.6.5, 6.26.1
- otros bloques aprobados. 6.22.1, 6.27, Anexo G
- informes. 6.25.11, 6.25.6.5, 6.26, 9.30.8
- disposición. 6.26.3
- tamaño de reflector. 6.25.5.1
- reparaciones. 6.25.10
- patrones de escaneo. 6.30
- unidades de búsqueda
- amplitud. 6.13.1, 6.27.1.2, 6.27.2.4, 9.27.1, 9.30.3.2, Anexo G
- ángulo de haz. 6.21.7.6.22.3, 6.23.4, 6.25.6, 6.27.2.1, 6.27.2.2, 6.27.2.5, 6.29.2
- distancia de aproximación. 6.27.2.6
- dimensiones. 6.21.6, 6.21.7.2, 6.21.7.6

- calibración de distancia. 6.24.4.1, 6.24.5.1, 6.27.1.1, 6.27.3, 9.30.3.1, Anexo G
- resolución. 6.22.3, 6.27.1.3, 6.27.2.5
- sensibilidad. 6.24.2, 6.24.4.2, 6.24.5.2, 6.27.2.4
- modo de onda de cizallamiento. 6.27.2, Anexo G
- punto de entrada de sonido. 6.27.2.1, 6.27.2.2, Anexo G
- ángulo de trayectoria del sonido. 6.27.2.2, Anexo G
- haz recto. 6.21.6, 6.25.5, 6.28.1, Anexo G
- ensayos puntuales. 6.15.3
- ángulo de ensayo. 6.25.5.2, 6.25.6.1, Tabla 6.7
- procedimiento de ensayo. 6.19.2, 6.25, 9.30.1
- limpieza de superficies. 6.25.3
- materiales de acoplamiento. 6.25.4
- evaluación de discontinuidad. 9.30.7
- ensayos de reparaciones. 6.25.10
- limitaciones de espesor. 6.19.1
- ubicaciones de transductor. 6.27.2.2, Fig. 6.16
- tamaño de transductor. 6.21.6, 6.21.7.2, 6.29.1
- estructuras tubulares. 9.30
- identificación de soldadura. 6.25.1, 6.25.2
- UT (método alternativo). 6.19.1, 6.19.2, Anexo Q
- criterios de aceptación. Anexo Q3(2), Q12
- amplitud. Anexo Q6.1(2), Q11, Q12.1, Figs. Q.9-Q.11, Q.15
- calibración. Anexo Q3(7), Q6, Q9.1
- bloque de ensayo de calibración. Anexo Q3(6), Q5
- onda de compresión. Anexo Q6.2, Fig. Q.5
- DAC (corrección de amplitud de distancia). Anexo Q6.2.2, Q6.3.2, Fig. Q.7
- discontinuidades. Anexo Q3(11), Q5, Q6.3, Q8-Q12, Fig. Q.15
- cilíndrico. Anexo Q8.1(2), Q8.2.2, Q13, Fig. Q10
- altura. Anexo Q3(11), Q4, Q6.1.1, Q6.2, Q9.2, Q10.3, Q12, Figs. Q.12, Q.15
- longitud. Anexo Q3(11), Q4, Q6.1.1, Q9.3, Q12, Figs. Q.13, Q.15
- ubicación. Anexo Q3(11), 6.2, Q9, Q10.5, Q12.2, Fig. Q.15

orientación. Anexo Q9.1, Q9.3.1, Q10.4
 planar. Anexo Q8.1(3), Q8.2.3, Q10.2(a), Q10.3, Q10.4, Q13, Fig. Q.11
 esférico. Anexo Q8.1(1), Q8.2.1, Q10.2(c), Q10.3, Q13, Fig. Q.9
 pantalla. Anexo Q9.2.2, Q9.2.3, Q9.4
 requisitos de documentación. Anexo Q3(14), Q3(15)
 equipos. Anexo Q3(3), Q4
 laminaciones. Anexo Q3(8)
 Nivel III (ASNT). Anexo Q3(15)
 operador. Anexo Q4
 procedimientos. Anexo Q2, Q3
 informes. Anexo Q13, Fig. Q.15
 escaneo. Anexo Q3(5), Q3(10), Q6.1.1, Q7, Q9.4, Fig. Q.8
 sensibilidad. Anexo Q3(10), Q6.1.1, Q6.2.2, Q6.3.2, Q10, Figs. Q.4, Q.6, Q.7, Q.14
 onda de cizallamiento. Anexo Q6.3, Q.7
 reflector estándar. Anexo Q5, Q6, Figs. Q.1, Q.3
 transductor. Anexo Q3(4), Q4
 corrección de transferencia. Anexo Q3(12), Q6(3), Fig. Q.4
 clases de soldadura. Anexo Q11
 marcado de soldadura. Anexo Q3(9), Q9.2.3, Q9.3.3, Q9.3.4, Q9.5, Fig. Q.13

V

Variables esenciales. 3.2.3, 3.6, 4.8, 4.14.2, 4.19, Tabla 4.5
 ESW. 2.3.3, 3.2.2, 4.8.2, 4.14.1, 4.14.1.3, 4.20.2.2, 5.4, 5.4.1, 5.4.7, 5.11.1, 5.25.3, 6.30.3, C-4.14.1.3, C-5.4, C-5.4.1, C-

6.13.1, C-6.19.3, Tablas 4.2, 4.7, 4.14, 6.2, 6.7, Fig. 4.5
 ESW. 2.3.3, 3.2.2, 4.2.2, 4.8.2, 4.14.1, 4.14.1.3, 4.20.2.1, 4.20.2.2, Anexo J, C-4.14.1.3, C-5.4, C-6.13, C-6.19.3, Tabla 4.7, Fig. 4.24
 FCAW. 3.7.3, 3.10, 5.3.4, 5.11, 5.24.1, 7.5.5, C-3.7.3, Tablas 3.1, 3.3, 3.4, 4.6, 4.9, 4.12, 4.14
 GMAW. 3.2, 3.7.4, 3.8.1, 3.10, 3.11.1, 3.11.3, 4.8, 4.14.1, 5.3.4, 5.11.1, 5.24.1, 7.5.5, 7.5.5.7, 7.5.5.2, 7.7.5, 9.10.1(2), 9.11.2.1, 9.15.4.3, Anexo H, C-3.1, 5.3.1.1, Tablas 3.1, 3.3, 3.4, 4.5, 4.6, 4.9, 9.8, U.9, Fig. 9.10
 SAW. 3.2.1, 3.5.2, 3.7.3.2, 3.8, 4.2.2, 4.8.1, 4.12.3.2, Anexo H.3, Tablas 3.2, 4.5
 SMAW. Tabla 4.6
 calificación de soldador de punteado. 4.3.2, 4.15.2.2, 4.23, 6.4, 9.17.2, C-6.4, Tabla 4.12
 soldador. 4.3.2, 4.19, C-4.19, Tabla 4.11
 operario de soldadura. 4.3.2, 4.23, 4.15.1.1, 4.15.2.1, 4.15.3, 4.19, 4.20, 4.22, Tablas 4.10, 4.11, 9.13, 9.14
 Velocidades de enfriamiento. 5.8, Anexo H, C-3.5, C-4.8.1, C-5.4.1, Tablas U.7, U.8, Fig. U.1
 Velocidad del viento. 5.11.1, 5.11.2
 Velocidad de alimentador de alambre. Tabla 4.5(17)

Vigas

curvatura. 5.22.3, 5.22.4
 profundidad. 5.22.9
 empalmes. 5.19.1
 rigidizadores. 2.9.3.4, 5.22.11
 linealidad. 5.22.2, 5.22.5
 inclinación. 5.22.8
 combadura. 5.22.8

planicidad de almas. 5.22.6, Anexos D, E
 Voltaje constante. 3.2.4, Tabla 4.7(20)

W

WPS (especificación de procedimiento de soldadura). Sección 3, 4.3, 4 Parte B, 5.5, 6.6, 9 Parte B, 9 Parte C, Anexo P
 variables esenciales. 4.8.1, 4.8.2, 4.18, Tablas 4.5, 4.7
 calificación. 4.4, 4.5, 4.11, 4.12.1, 6.5.5, 9.12, 9.14, Tablas 4.1, 4.4, 9.9, 9.12, Figs. 4.5–4.7, 4.15, 4.18, 4.26, 9.10, 9.19–9.21, 9.23, 9.25–9.27
 ejemplos de formularios. Anexo M
 valores específicos requeridos. 4.7

X

Y

Z

Lista de documentos sobre soldadura estructural de la AWS

Designación	Título
D1.1/D1.1M	<i>Código de soldadura estructural—Acero</i>
D1.2/D1.2M	<i>Código de soldadura estructural—Aluminio</i>
D1.3/D1.3M	<i>Código de soldadura estructural—Acero laminado</i>
D1.4/D1.4M	<i>Código de soldadura estructural—Acero de refuerzo</i>
D1.5M/D1.5	<i>Código de soldadura de puentes</i>
D1.6/D1.6M	<i>Código de soldadura estructural—Acero inoxidable</i>
D1.7/D1.7M	<i>Guía para fortalecer y reparar estructuras existentes</i>
D1.8/D1.8M	<i>Código de soldadura estructural—Suplemento sísmico</i>
D1.9/D1.9M	<i>Código de soldadura estructural—Titanio</i>