

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

EMMANUEL HENAO VALENCIA

Ingeniero

PETER VELASQUEZ

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
INGENIERIA ELECTROMECHANICA
CIENCIA DE LOS MATERIALES
VILLAVICENCIO META**

2014

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de no destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. El objetivo de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes e partes fabricadas. Estos no ofrecen una gran cantidad de información comparados con los ensayos destructivos, sin embargo tiene la ventaja, como su nombre los dice, de no destruir lo ensayado, lo que hace que sean más baratos para el propietario de la pieza. Su finalidad es verificar la homogeneidad del material encontrando grietas o micro fisuras en la pieza. Los materiales que se pueden inspeccionar son los más diversos, entre metálicos y no -metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones. Todas las soldaduras/uniones presentan fallos, grietas, defectos, discontinuidades, localizar y determinar el tamaño. Los ensayos son realizados bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como el ASME, ASTM, API y el AWS entre otros. Los inspectores son calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) según los requisitos de la Práctica Recomendada SNT-TC-1A, CP-189

ANTECEDENTES:

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las PND, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

A continuación se proporcionan una serie de fechas relacionadas con acontecimientos históricos, descubrimientos, avances y aplicaciones, de algunas pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879 David Hughes establece un campo de prueba
- 1879 David Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Wilhelm Röntgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Wilhelm Röntgen descubre los Rayos X
- 1896 Henri Becquerel descubre los Rayos gamma
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patentó las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

La entidad que reúne a todas las instituciones debidamente constituidas es el Comité Internacional de Ensayos No Destructivos (ICNDT, por sus siglas en inglés) con sede en Viena.

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los ensayos no destructivos, los cuales tienen ya un alcance en cada rincón del planeta, y actualmente existen sociedades de ensayos no destructivos en la mayoría de los países como por ejemplo, La Sociedad Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE), El Instituto Australiano para Ensayos No Destructivos (AINDT), La Sociedad Austriaca de Ensayos No Destructivos (OGFZP), La Asociación Belga de Ensayos No Destructivos (BANT), La Sociedad Brasileña de Ensayos No Destructivos (ABENDE), La Sociedad Canadiense de Ensayos No destructivos (CSNDT), La Sociedad China para Ensayos No Destructivos (ChSNDT), El Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C. (IMENDE A.C., Asociación Mexicana de Ensayos No Destructivos (AMEXEND A.C.)

Los ensayos no destructivos se utilizan en una variedad de ramas que cubren una gran gama de actividades industriales.

En la industria automotriz:

- Partes de motores
- Chasis

En aviación e industria aeroespacial:

- Exteriores: Chasis
- Plantas generadoras: Motores a reacción y cohetes espaciales

En construcción:

- Ensayos de integridad en pilotes y pantallas
- Estructuras
- Puentes

En manufactura:

- Partes de máquinas

En ingeniería nuclear:

- Pressure vessels

En petroquímica:

- Transporte por tuberías
- Tanques de almacenamiento

Misceláneos

- Atracciones de parques de diversiones
- Conservación-restauración de obras de arte.

VENTAJAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los Ensayos no Destructivos pueden ser usados en cualquier paso de un proceso productivo, pudiendo aplicarse por ejemplo:

- Durante la recepción de las materias primas que llegan al almacén; para comprobar la homogeneidad, la composición química y evaluar ciertas propiedades mecánicas.
- Durante los diferentes pasos de un proceso de fabricación; para comprobar si el componente está libre de defectos que pueden producirse por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o una soldadura mal aplicada.
- En la inspección final o de la liberación de productos terminados; para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera sus requisitos de aceptación; que la parte es del material que le había prometido o que la parte o componente cumplirá de manera satisfactoria la función para la cual fue creada.
- En la inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio; para verificar que todavía pueden ser empleados de forma segura; para conocer el tiempo de vida remanente o mejor aún, para programar adecuadamente los paros por mantenimiento y no afectar el proceso productivo.
- Debido a que no se alteran las propiedades del material y por lo tanto no existen desperdicios, con el empleo de los Ensayos No Destructivos sólo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas.
- Este tipo de inspección es muy rentable cuando se inspeccionan partes o componentes críticos, en los procesos de fabricación controlada o en la producción de piezas en gran escala.

MÉTODOS Y TÉCNICAS:

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

- VT – Inspección Visual
- PT – Líquidos Penetrantes
- MT – Partículas Magnéticas
- ET – Electromagnetismo

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

VT – INSPECCIÓN VISUAL

Aunque sea el más modesto, siempre se realiza como fase previa a otros Ensayos más sofisticados. Facilita el trabajo posterior y establece la secuencia de trabajo.

Es por tanto el más empleado por su sencillez, rapidez y economía de aplicación.

La inspección visual es el ensayo no destructivo por excelencia, ya que su agente físico, la luz, no produce daño alguno a la inmensa mayoría de los materiales.

La inspección visual es el primer paso de cualquier evaluación. En general, las Pruebas no Destructivas establecen como requisito previo realizar una inspección visual, normalmente lo primero que decimos es “déjame ver como está” (la apariencia de un objeto). La inspección visual es utilizada para determinar:

- Cantidad
- Tamaño
- Forma o configuración
- Acabado superficial
- Reflectividad (reflexión)

- Características de color
- A juste
- Características funcionales
- La presencia de discontinuidades superficiales

Procedimiento

1. Iluminar el objeto a inspeccionar con luz.
2. Inspeccionar bien por:
 - Visión ocular directa
 - Visión ocular utilizando medios auxiliares (lupas, microscopios, fibras ópticas, endoscopios etc.)
 - Medios artificiales (células o captadores fotoeléctricos)

Ventajas

- Simple de usar en áreas donde otros métodos son impracticables
- Ayudas ópticas mejoran el método

Desventajas

- Fiabilidad dependiente de la habilidad y la experiencia del operario
- Requiere accesibilidad para visibilidad directa de la zona

La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos No Destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo.

En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición.

Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás Ensayos No Destructivos, ya que menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual.

No se requiere de un gran entrenamiento para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia del inspector, y de los conocimientos que éste tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de falla que el objeto pueda presentar.

Aunque no es regla general, algunas normas como las ASME y las AWS, exigen una calificación y certificación del personal que realiza la prueba de Inspección Visual, en donde se tienen muy en cuenta las horas de experiencia del individuo a certificar y la agudeza visual (corregida o natural) que éste pueda certificar.

Dentro de las normas de certificación de personal que involucran este ensayo se encuentran la ISO-9712 y la ANSI/ASNT CP-189.

Según los instrumentos que se utilicen como ayuda a la visión, y la distancia (o el acceso) que se tenga entre el inspector y el objeto de estudio, la Inspección Visual se puede dividir en dos grupos:

- Inspección Visual Directa
- Inspección Visual Remota

En la primera, la inspección se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas.

La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar, o en aquellos componentes en los cuales, por su diseño, es muy difícil ganar acceso a sus cavidades internas.

Este tipo de inspección es muy usada en la industria para verificar el estado interno de los motores recíprocos, las turbinas estacionarias, compresores, tuberías de calderas, intercambiadores de calor, soldaduras internas, tanques y válvulas entre otros.

En la industria aeronáutica la inspección visual remota es muy usada para la inspección interna de los motores a reacción. Mediante esta inspección se puede diagnosticar el estado de las cámaras de combustión, las etapas de compresión y las etapas de turbina, sin realizar grandes destapes o desensambles.

Se utilizan boroscópios rígidos o flexibles, videoscópios y fibroscópios (fibra óptica), con los cuales, mediante una sonda adaptada a una cámara digital, se puede llegar a la mayoría de las cavidades internas y lugares inaccesibles para el inspector.

En el mercado se pueden encontrar equipos con sondas de diferentes diámetros y diferentes longitudes, según la aplicación, y con grabación de video y fotografía digital, lo cual permite guardar un registro de cada inspección realizada.

<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=50>

PT – LÍQUIDOS PENETRANTES

Tintas penetrantes (video)

Aplicaciones

- Detección de grietas superficiales en todos los metales

Ventajas

- Simple de usar, preciso y fácil de interpretar

El análisis no destructivo con Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar discontinuidades superficiales sobre casi todos los materiales no porosos (o con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc. característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación. El método de LP se introdujo en la industria en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial, la causa principal fue la necesidad de poder disponer de un control válido alternativo al de Partículas Magnetizables el cual requiere, para su aplicación, materiales con características ferromagnéticas, especialmente en el campo aeronáutico. Su origen se remonta a fines del siglo pasado en los talleres ferroviarios de Harford (EEUU) en donde se aplicaba el procedimiento de “aceite y blanqueo” para la detección de fisuras de fatiga en componentes de vagones y locomotoras.

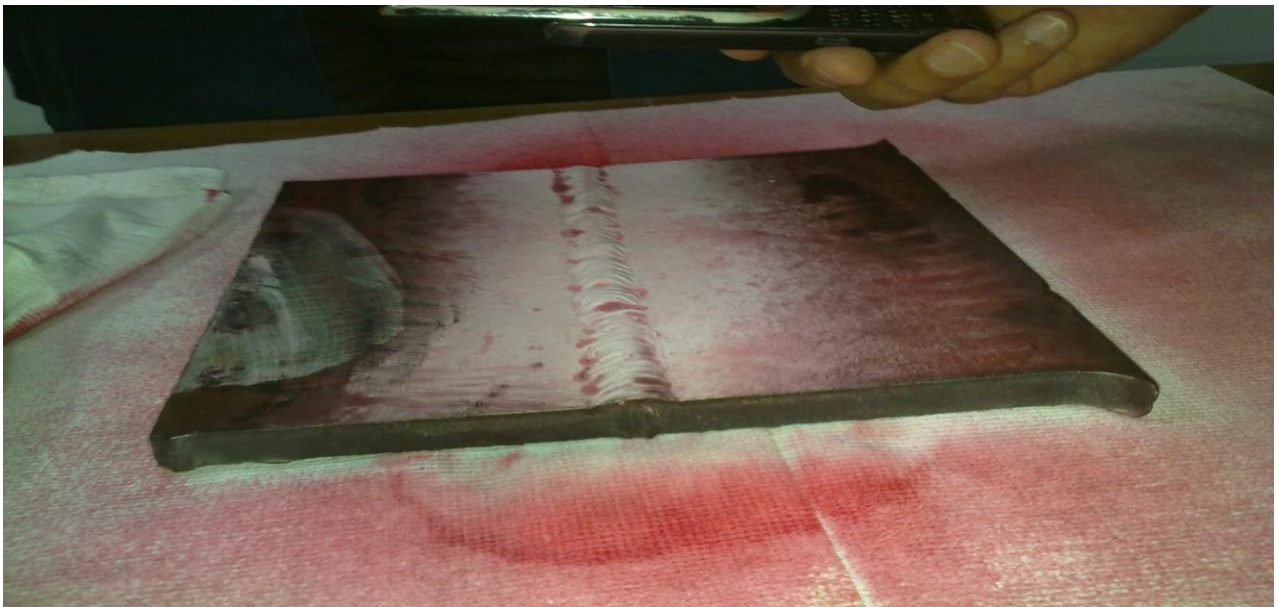


Figura 1. Revelador tintas penetrantes

Clasificación de los líquidos penetrantes:

Norma IRAM-CNEA Y 500-1001 (1986)

Por color.		Por solubilidad
Lavables con agua.	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.
Penetrante coloreado	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.
Penetrante de uso dual.	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.

Tabla 1. Clasificación de los líquidos penetrantes

Basada en removedores:

Se agrupan en tres clases:

- 1) agua
- 2) emulsionantes
 - de base oleosa
 - de base acuosa
- 3) disolventes

Reveladores:

Pueden ser:

- 1) Polvos secos.
- 2) Dispersiones y soluciones acuosas:
 - a) dispersión de polvo en agua
 - b) solución de polvo en agua.
- 3) Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuoso.
 - A) no inflamable.
 - b) inflamable

Principios físicos del ensayo:

Tensión superficial

La tensión superficial es la forma de **cohesión** de las moléculas de la superficie del líquido en función de la cual, a igualdad de volumen, asume la forma correspondiente a la mínima superficie compatible con el vínculo externo. La forma de la gota simplifica este concepto. La tensión superficial está definida como una fuerza que actúa sobre toda “saliente” en una superficie acabada.



Fig. 2

Figura 2. Gráfica tensión

Mojabilidad o poder de humectación

Por mojabilidad se entiende a la propiedad de un líquido de expandirse **adhiriéndose** a la superficie de un sólido. Esta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra. La mojabilidad está estrechamente ligada a la tensión superficial, y está determinada por el ángulo “ q ” de contacto con la superficie. Ver Fig. 3 en donde se muestran tres condiciones intermedias con $q < 90^\circ$; $q = 90^\circ$, $q > 90^\circ$

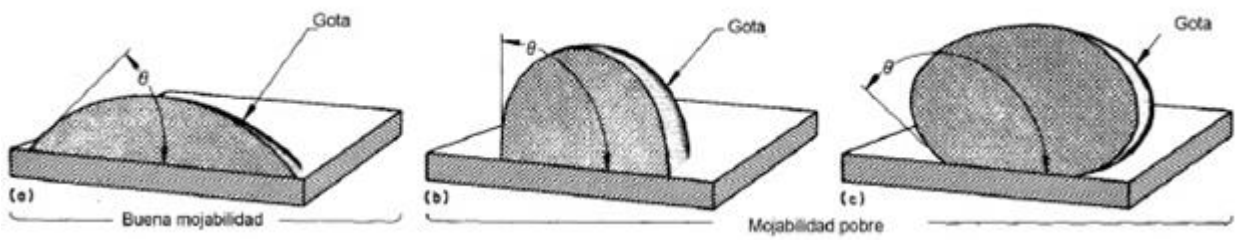


Figura 3. Poder de humectación

Capilaridad

Se ha visto que la superficie de un líquido contenido en un recipiente presenta cierta curvatura en las fronteras del líquido y las paredes sólidas del recipiente. Sobre el resto de la superficie, conserva una forma plana. Pero si el tamaño total de la superficie es pequeño, toda la superficie del líquido “sentirá” la influencia de las paredes y este aparece curvo en toda su extensión. En este caso, cuando las dimensiones del recipiente en el que se encuentra el líquido, en el caso más general, si la distancia entre las superficies limitantes del líquido es comparable al radio de curvatura de su superficie, a estos recipientes se los llamará “capilares”. El desnivel obtenido podrá ser positivo o negativo, según el ángulo de contacto y la mojabilidad del líquido.

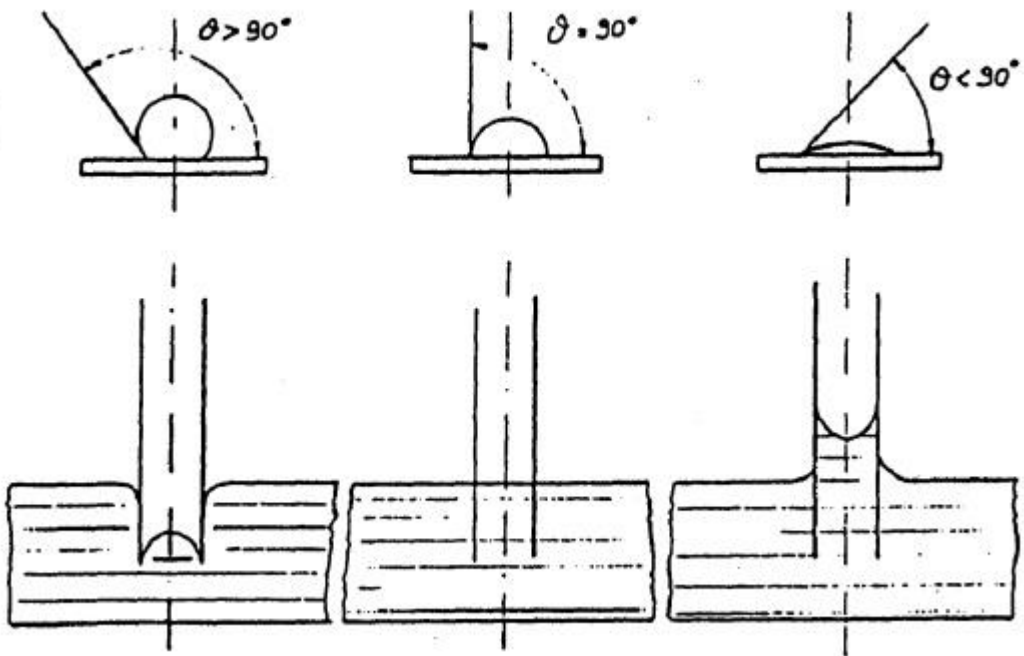


Figura 4. Angulo de contacto.

Descripción general del método

Actualmente la técnica de LP, se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Limpieza inicial y secado: Consiste en limpiar perfectamente la zona de interés a ser ensayada de tal forma de dejar, las posibles discontinuidades, libres de suciedad o materiales extraños y su posterior secado.
2. Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración: Cubrir la superficie de interés con el LP y dejar transcurrir el tiempo necesario para permitir que el LP se introduzca por capilaridad en las discontinuidades
3. Limpieza intermedia: Se removerá el exceso de LP de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las fallas. Esta remoción, podrá hacerse, según la técnica empleada, mediante:
 - a) lavado con agua.
 - b) aplicando un emulsionante y posterior lavado con agua.
 - c) mediante solventes.
1. Secado (según la técnica): Se secará la pieza del agente limpiador. Este paso puede ser obviado según la técnica utilizada.
2. Aplicación del revelador: Sobre la superficie ya preparada se colocará el revelador en forma seca o finamente pulverizada en una suspensión acuosa o alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.
3. Inspección y evaluación: Esta fina capa de revelador absorberá el LP retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.
4. Limpieza final: Aunque los agentes químicos utilizados no deberían ser corrosivos de los materiales ensayados, se eliminarán sus restos para prevenir posteriores ataques.

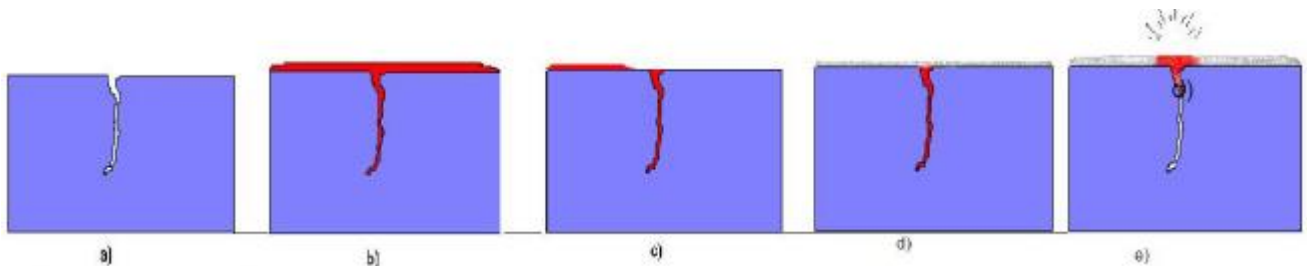


Figura 5. Muestra de líquido penetrante

MT – PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Partículas magnéticas (video)

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como *magnetismo*, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero y consiste en la capacidad o poder de atracción entre los metales. Es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse.

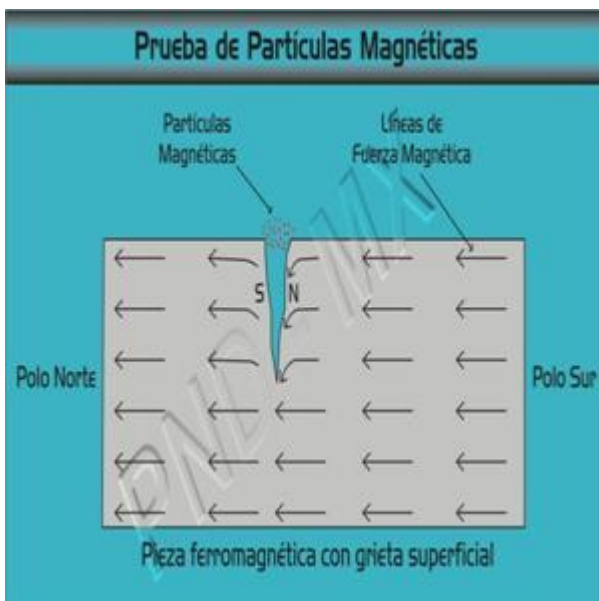


Figura 6. Prueba de Partículas Magnéticas

Aplicaciones

- Detección de discontinuidades en materiales ferro-magnéticos de cualquier tipo, en la superficie o cerca de ésta.

Ventajas

- Método simple, fácil, portable y rápido.

Desventajas

- Las piezas deben ser limpiadas antes y desmagnetizadas después.
- El flujo magnético debe ser normal al plano del defecto.

El ensayo de Partículas Magnéticas es uno de los más antiguos que se conoce, encontrando en la actualidad, una gran variedad de aplicaciones en las diferentes

industrias. Es aplicable únicamente para inspección de materiales con propiedades ferromagnéticas, ya que se utiliza fundamentalmente el flujo magnético dentro de la pieza, para la detección de discontinuidades.

Mediante este ensayo se puede lograr la detección de defectos superficiales y subsuperficiales (hasta 3 mm debajo de la superficie del material). El acondicionamiento previo de la superficie, al igual que en las Tintas Penetrantes, es muy importante, aunque no tan exigente y riguroso.

La aplicación del ensayo de Partículas Magnéticas consiste básicamente en magnetizar la pieza a inspeccionar, aplicar las partículas magnéticas (polvo fino de limaduras de hierro) y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en ciertos puntos. Este proceso varía según los materiales que se usen, los defectos a buscar y las condiciones físicas del objeto de inspección.

Para la magnetización se puede utilizar un banco estacionario, un yugo electromagnético, electrodos o un equipo portátil de bobina flexible, entre otros. Se utilizan los diferentes tipos de corrientes (alterna, directa, semi-rectificada, etc.), según las necesidades de cada inspección. El uso de imanes permanentes ha ido desapareciendo, ya que en éstos no es posible controlar la fuerza del campo y son muy difíciles de manipular. Para realizar la inspección por Partículas Magnéticas existen varios tipos de materiales que se pueden seleccionar según la sensibilidad deseada, las condiciones ambientales y los defectos que se quieren encontrar. Las partículas magnéticas pueden ser:

1. Secas
· Fluorescentes
· Visibles (varios colores)

2. Húmedas
· Fluorescentes
· Visibles (varios colores)

Los métodos de magnetización y los materiales se combinan de diferentes maneras según los resultados deseados en cada prueba y la geometría del objeto a inspeccionar.

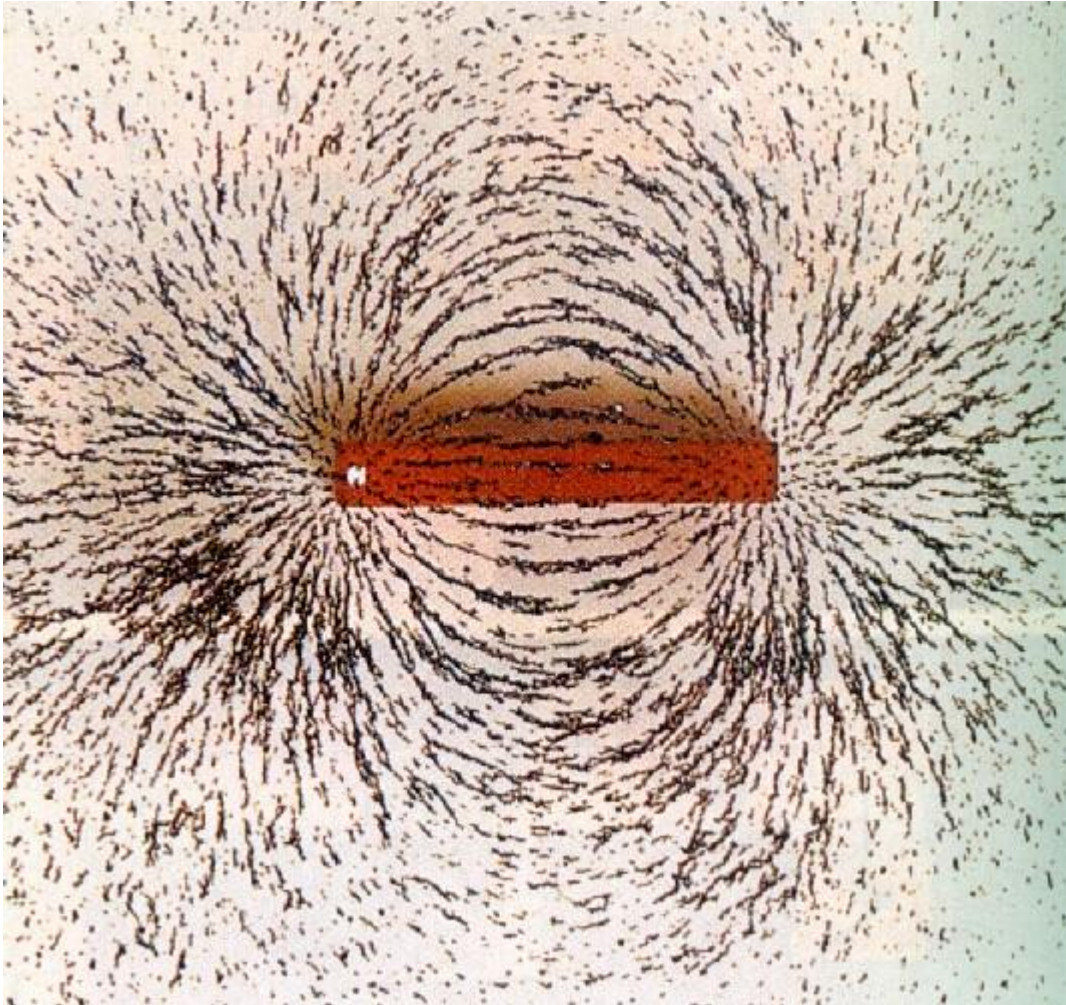


Figura 7. Campos magnéticos

Principios Básicos

Cuando se estudia el comportamiento de un imán permanente, se puede observar que éste se compone por dos polos, Norte y Sur, los cuales determinan la dirección de las líneas de flujo magnético que viajan a través de él y por el espacio que lo rodea, siendo cada vez más débiles con la distancia.

Si cortamos el imán en dos partes, observaremos que se crean dos imanes nuevos, cada uno con sus dos polos, Norte y Sur, y sus correspondientes líneas de flujo magnético. Esta característica de los imanes es la que permite encontrar las fisuras abiertas a la superficie, y los defectos internos en una pieza, como se explicará a continuación.

La magnetización de un material ferromagnético se puede lograr mediante la inducción de un campo magnético fuerte, desde una fuente externa de magnetización (un electroimán), o mediante el paso de corriente directamente a través de la pieza. La fuerza del campo generado es resultado de la cantidad de corriente eléctrica que se aplique y el tamaño de la pieza, entre otras variables. Una vez magnetizado el objeto de estudio, éste se comporta como un imán, es decir, se crean en él dos polos magnéticos Sur y Norte. Estos polos determinan la dirección de las líneas de flujo magnético, las cuales viajan de Norte a Sur.

Teniendo la pieza magnetizada (magnetización residual), y/o bajo la presencia constante del campo magnético externo (magnetización continua), se aplica el polvo de limadura de hierro seco, o suspendido en un líquido (agua o algún destilado del petróleo). Donde se encuentre una perturbación o una fuga en las líneas de flujo magnético, las pequeñas partículas de hierro se acumularán, formando la indicación visible o fluorescente, dependiendo del material usado.

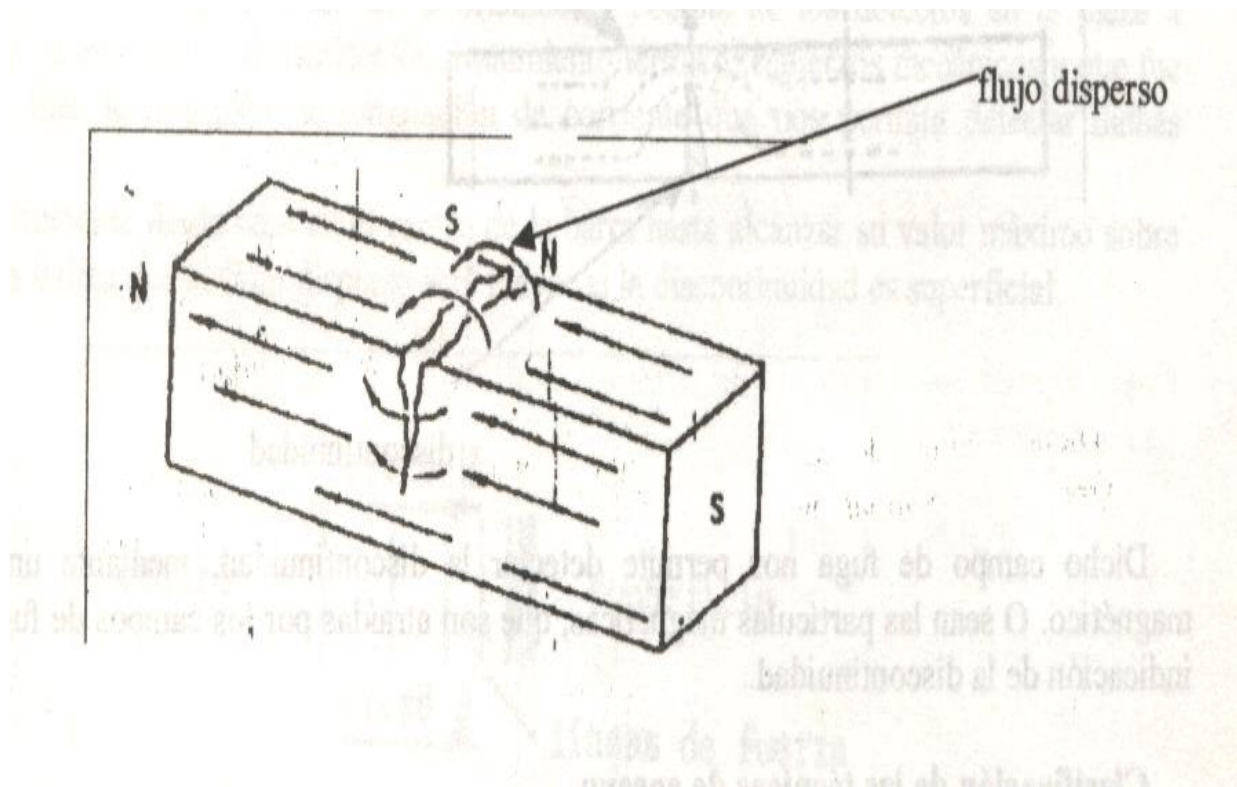


Figura 8. Fuga de flujo

La perturbación o fuga del campo magnético se genera por la formación de dos polos pequeños N y S en los extremos del defecto (fisura, poro, inclusión no-metálica, etc.). En la figura se muestra este efecto.

Al igual que en la mayoría de los Ensayos No Destructivos, en la inspección con Partículas Magnéticas intervienen muchas variables (corriente eléctrica, dirección del campo, tipo de materiales usados, etc.), las cuales deben ser correctamente manejadas por el inspector para obtener los mejores resultados. Por esta razón las normas MIL, ASTM, API, AWS y ASME entre muchas otras, y los manuales de mantenimiento de las aeronaves, exigen la calificación y certificación del personal que realiza este tipo de pruebas, con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados y así contribuir a la calidad del producto. Entre las regulaciones más conocidas de certificación de personal se encuentran: NAS-410, ISO 9712, SNT-TC-1A, ANSI/ASNT CP-189 y EN-473.

Equipos de Inspección Portátiles y Móviles

En el caso de las bobinas y de los yugos son capaces de realizar imantaciones longitudinales, pueden ser usados para la ejecución de métodos de imantación continuos y residuales, trabajan con partículas magnéticas fluorescentes y visibles.



Figura 9. Equipos

ET – ELECTROMAGNETISMO

La inspección por electromagnetismo nos sirve para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales dependiendo de la frecuencia de inspección, consiste en la inducción de corrientes en el material a través de una bobina o probeta de inspección, la misma que es excitada con una corriente alterna proveniente del equipo.

El Electromagnetismo, anteriormente llamado Corrientes de Eddy o de Foucault, se emplea para inspeccionar materiales que sean electroconductores, siendo especialmente aplicable a aquellos que no son ferromagnéticos. Esta técnica

comienza a tener grandes aplicaciones, aun cuando ya tiene más de 50 años de desarrollo.

La inspección por Corriente de Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética. Su principio de operación es el siguiente:

Se emplea un generador de corriente alterna, con una frecuencia generalmente comprendida entre 500 Hz y 5.000 Hz. El generador de corriente alterna se conecta a una bobina de prueba, que en su momento produce un campo magnético. Si la bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor, el campo magnético de la bobina, llamado primario, inducirá una corriente eléctrica en el material inspeccionado. A su vez, esta corriente generará un nuevo campo magnético (campo secundario), que será proporcional al primario, pero de signo contrario. En el momento en que la corriente de la bobina se vuelve cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Es predecible que el electromagnetismo se generará entre conductores adyacentes en cualquier momento en que fluya una corriente alterna. Por otra parte, las variaciones de la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, geometría de la pieza o de su estructura metalúrgica, causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección, lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Antes de proseguir, es conveniente aclarar que para la detección de discontinuidades por Electromagnetismo, éstas deben ser perpendiculares a las corrientes de Eddy; adicionalmente, la indicación que se genere se modificará en la pantalla del instrumento de inspección, dependiendo de su profundidad y su forma.

Esta técnica cuenta con una amplia gama de alternativas, cada una con un objetivo específico de detección; por lo que antes de comprar un equipo a las sondas es necesario definir la forma del material que se va a inspeccionar, la localización y el tipo de discontinuidades que se deseen detectar y evaluar, con el fin de tener el equipo más versátil y adecuado para la inspección.

Requisitos para la Inspección por Electromagnetismo

Al igual que en las técnicas ya descritas, antes de iniciar las pruebas con electromagnetismo, es conveniente revisar la siguiente información:

- Conocer la forma, así como las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar, ya que de esto dependerá el tipo de

frecuencia, la forma de la sonda y la variante de la técnica a utilizar y, en caso necesario, el medio de eliminar las posibles interferencias que se produzcan en la pieza.

- Si se trabaja bajo normas internacionales, los instrumentos de inspección, así como las sondas deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.
- Una vez seleccionado uno o varios proveedores, no es recomendable mezclar sus productos.

Secuencia de la Inspección

Las etapas básicas de esta técnica de inspección son:

Limpieza Previa: La importancia de este primer paso radica en que si bien los equipos de electromagnetismo pueden operar sin necesidad de establecer un contacto físico con la pieza, se pueden producir falsas indicaciones por la presencia de óxidos de hierro, capas de pintura muy gruesas o algún tipo de recubrimiento que sea conductor de la electricidad; en caso de que no se desee quitar las pinturas o recubrimientos, es recomendable que el patrón de calibración sea similar en el acabado superficial al de la parte sujeta a inspección.

Selección de la Sonda de Prueba: Este paso es tan crítico como la selección del instrumento empleado, porque de acuerdo a la variable sujeta a evaluación, se selecciona la sonda que se utilizará. Por este motivo, es necesario conocer las ventajas y desventajas y limitaciones de cada configuración.

La capacidad de detección de una sonda es proporcional a:

- La magnitud de la corriente aplicada.
- La velocidad (frecuencia) de oscilación de la corriente.
- Las características de diseño de la sonda que incluyen: Inductancia, diámetro de enrollamiento, longitud de la bobina y número de espira.

Las sondas, según su arreglo se clasifican en dos grupos: absolutas y diferenciales.

Las **sondas absolutas** (o bobinas absolutas) se consideran como aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones o dureza de ciertos materiales.

Sus principales ventajas son:

- Responde a cambios bruscos o progresivos de la característica que se mide.
- Cuando existe más de una indicación, éstas son relativamente fáciles de separar (interpretación sencilla).
- Puede detectar la longitud real de una discontinuidad.

Las principales limitaciones de este tipo de arreglo son:

- Son muy sensibles a cambios de temperatura (térmicamente son inestables).
- Registran cualquier variación de la distancia entre la bobina y la pieza (falsas indicaciones)

Las **sondas diferenciales** consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento. Este arreglo se puede dividir en dos grupos:

a) Bobinas diferenciales autorreferidas: Este tipo de arreglo cuenta con una bobina que es la que realiza las mediciones y en un punto cercano (normalmente dentro del cuerpo de la porta bobina) existe una segunda bobina con un núcleo (de ferrita o zirconio) y con el cual se balancea el equipo cuando se calibra el sistema.

b) Bobinas diferenciales con referencia externa: Este arreglo tiene dos variantes. En el primer caso se coloca la bobina de referencia en el material que se desea inspeccionar; es decir, las bobinas se encuentran separadas físicamente. En el segundo arreglo, las bobinas de medición y referencia se colocan sobre el mismo objeto. Este arreglo tiene la ventaja que se reducen los efectos de variaciones por cambios de separación o por características de la pieza que se está inspeccionando.

Frecuencia de Prueba: La siguiente variable a controlar, una vez seleccionada la bobina, es la selección de la frecuencia de inspección. Esta normalmente será referida al valor de una penetración normal (standard depth penetration) del material; al tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad a la que se encuentra.

Tipo de Calibración que se desea efectuar y selección del Patrón de Calibración o de Referencia: Los Instrumentos de pantalla osciloscópica pueden calibrarse para detectar fracturas superficiales como las que se muestran en la figura A o bien de cambios de conductividad eléctrica, como los mostrados en la figura B.

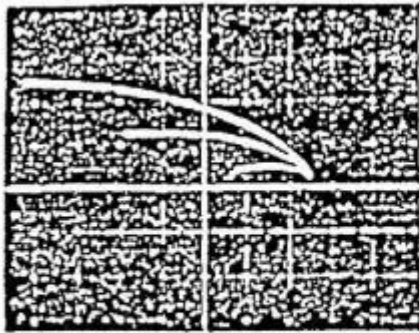


FIGURA A
Indicaciones de Fracturas



FIGURA B
Indicaciones de conductividad

Figura 10. Indicaciones de fracturas (A) y de conductividad (B) mostrados en el osciloscopio

En términos generales, la pantalla de rayos catódicos muestra cómo la corriente de Eddy es afectada por la pieza. Si existe una fractura o una costura en la pieza, la corriente de Eddy se reduce. Esto es, las discontinuidades alteran el patrón observado en la pantalla. Existe la presentación por medio de escalas analógicas, en las que una aguja indica el valor de la lectura en una escala calibrada previamente; y también a través de pantallas digitales, en las que se lee un valor, que posteriormente se correlaciona con la variable a medir.

Interpretación de las indicaciones: En este último paso se debe ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, bien sean por observación en pantalla o por lectura, ya que un cambio en las propiedades del material también afecta las lecturas y por este motivo la interpretación la debe realizar un Inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.

Ventajas del Electromagnetismo

- Detecta y generalmente evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico.
- En muchos casos, la inspección por Electromagnetismo puede ser completamente automatizada.
- Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección continua a bajo costo.
- Con esta técnica es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos o estructura metalúrgica distintos, siempre y cuando presenten una diferencia significativa de conductividad.

- Es excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.

Limitaciones del Electromagnetismo

- Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductor.
- Generalmente la bobina de prueba debe diseñarse en especial para una pieza específica.
- La profundidad de la inspección está limitada a aproximadamente 6 mm de penetración y depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se esté inspeccionando.
- Se requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba.
- La señal es sensible a las diferencias en composición y estructura del material lo que enmascara pequeños defectos o proporciona indicaciones falsas.

<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

12.4.2 Pruebas no destructivas volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND volumétricos son:

- RT – Radiografía Industrial
- UT – Ultrasonido Industrial
- EA – Emisión Acústica

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

RT – RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

El caso de la Radiografía Industrial (RT), como prueba no destructiva, es muy interesante; pues permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto;

además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular.

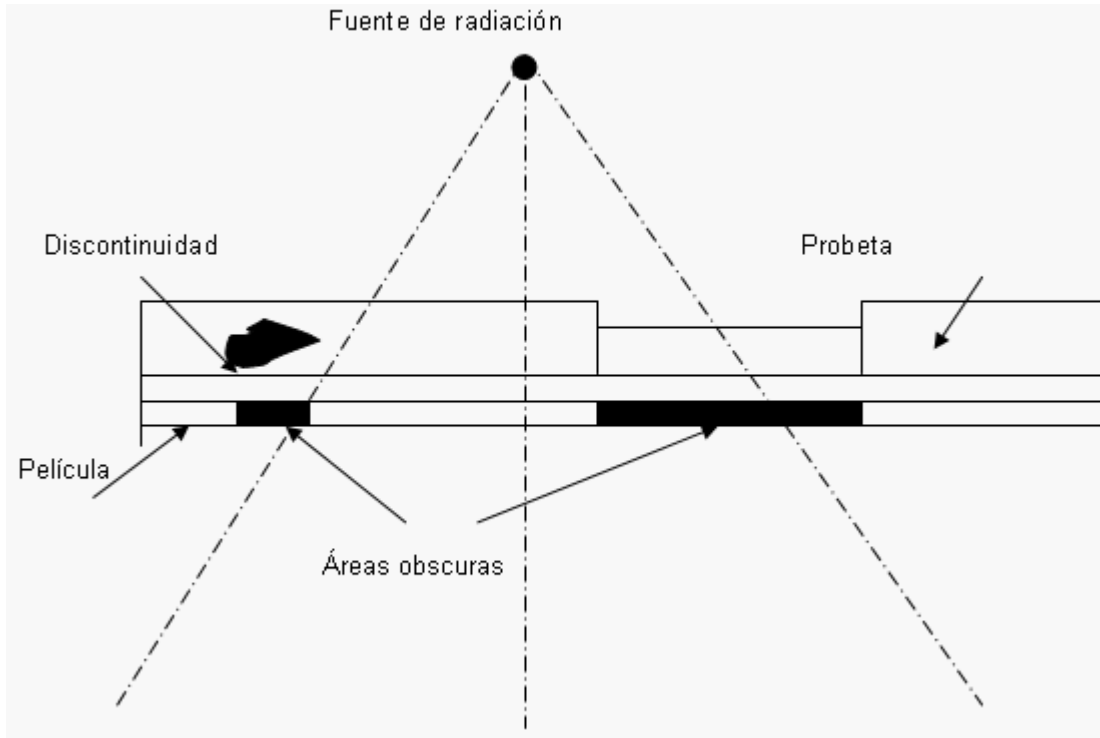


Figura 11. Radiografía Industrial

La Inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material. En la siguiente imagen se muestra una imagen del arreglo radiográfico empleado con mayor frecuencia.

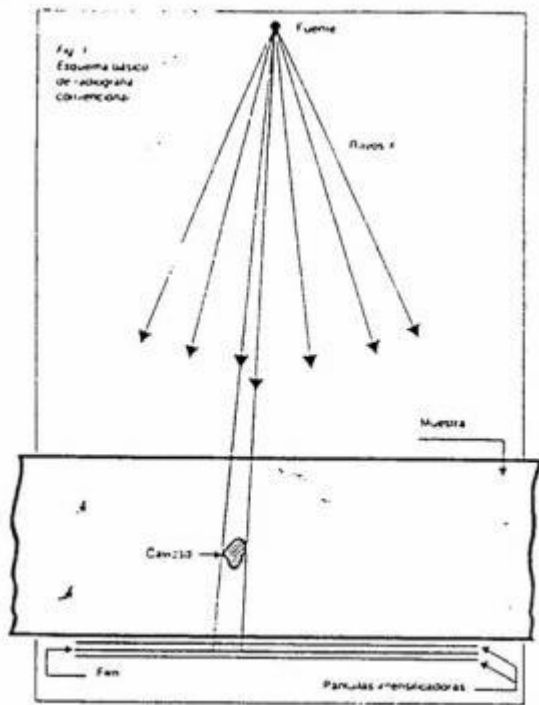


Figura 12. Arreglo radiográfico convencional

Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.

Dentro de los END, la Radiografía Industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se realizan nuevos avances que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación de la técnica.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía.

Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos x o Gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video.

En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos x o rayos Gamma y no energía luminosa.

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica: **Radiografía con rayos x y Radiografía con rayos gamma.**

La principal diferencia entre estas dos técnicas es el origen de la radiación electromagnética; ya que, mientras los rayos x son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.

Los rayos x son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radioactivas naturales o por isótopos radiactivos artificiales producidos para fines específicos de Radiografía Industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

La fuente de rayos X es el ánodo en un tubo eléctrico de alto voltaje. Cuando se prende, el haz de electrones generado en el cátodo impacta sobre el ánodo y esto provoca la emisión de los rayos X en todas direcciones; la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través de un orificio o ventana que existe para tal fin. Los rayos que pasan se emplean para producir la radiografía. Cuando se apaga la máquina de rayos X, la radiación cesa y la pieza inspeccionada no conserva radioactividad.

Un radioisótopo, como por ejemplo el cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una cápsula, que es una pequeña píldora que se conecta al final del cable de control. Cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente se sacada del contenedor por medio del cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas las direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Aunque existen arreglos especiales, diseñados para casos determinados, el equipo que se emplea con más frecuencia para la inspección radiográfica es el siguiente:

- a) Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
- b) Controles de la fuente.
- c) Película radiográfica.
- d) Pantallas intensificadoras.
- e) Indicadores de calidad de la imagen.
- f) Accesorios.

Aplicaciones

Las propiedades particulares de la radiografía facilitan su aplicación a nivel industrial, médico y de investigación; pues adicionalmente de que la energía de la radiación puede ser absorbida por la materia, también puede hacer fluorescer ciertas sustancias; siendo por todo esto que la técnica tiene diversas aplicaciones en diferentes ramas.

En primer lugar, están las aplicaciones en las que se emplea la energía radiante y su efecto sobre la materia, como es el caso de las aplicaciones físicas (efectos de fluorescencia) médicas (destrucción de ciertas células) y biológicas (mutaciones o aplicaciones de esterilización biológica).

En segundo lugar, deben mencionarse las aplicaciones en las cuales se emplean los efectos físicos, como son la difracción (determinación de estructuras cristalográficas), fluorescencia (determinación de composición química) y la ionización (detección de la radiación), etc.

En tercer lugar, se tienen las aplicaciones en las que se mide la atenuación de la radiación, como es el caso de la medición de espesores en proceso de alta temperatura; la medición de niveles de fluidos; la determinación de densidades en procesos de producción continua y la Radiografía Industrial.

Finalmente, resta aclarar que la corta longitud de onda de la radiación que emplea la radiografía le permite penetrar materiales sólidos, que absorben o reflejan la visible; lo que da lugar al uso de esta técnica en el control de calidad de productos soldados, fundiciones, forjas, etc. para la detección de defectos internos macroscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc.

Ventajas de la Radiografía Industrial

- Es un excelente medio de registro de inspección.
- Su uso se extiende a diversos materiales.
- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- Se obtiene un registro permanente de la inspección.
- Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

Limitaciones de la Radiografía Industrial

- No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
- La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.
- Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
- Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.
- Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

UT – ULTRASONIDO INDUSTRIAL

Ultrasonido (video)

La examinación por Ultrasonido Industrial (UT) se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se base en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.



Figura 13. Tubería analizada por ultrasonido

El método consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de 1 a 5 millones de Hz (ciclos por segundo)- de aquí el término ultrasónico. El método ultrasónico es una prueba no destructiva, confiable y rápida que emplea ondas sonoras de alta frecuencia producidas electrónicamente que penetrarán metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios miles de metros por segundo. Las ondas ultrasónicas para ensayos no destructivos generalmente las producen materiales piezoeléctricos, los cuales sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico.

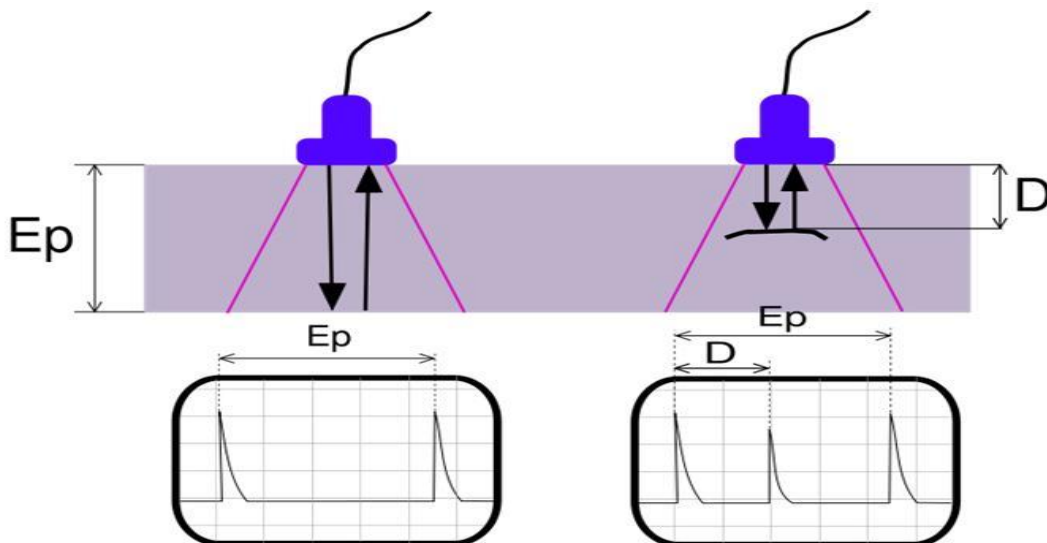


Figura 14. Imperfección detectada por ultrasonido

Generación de ultrasonido

Existe un gran número de métodos para generar ultrasonidos; en principio sirven ya los mismos procedimientos que se emplean para generar sonidos audibles. Si los dispositivos capaces de oscilar se construyen con una frecuencia propia correspondientemente alta. Sin embargo, estos procedimientos mecánicos, y algunos otros principios, no se utilizan en el ensayo no destructivo de materiales, recurriéndose por el contrario a otros efectos físicos, a saber: el efecto magnetoestrictivo, y sobre todo el efecto piezoeléctrico.

Efecto magnetoestrictivo

Los materiales ferro magnéticos (muy especialmente el níquel, además del acero), tienen la propiedad de contraerse o expandirse por efecto de un campo magnético. Inversamente, en una barra de acero ferro magnético se produce un campo magnético si es expuesta a un esfuerzo de tracción o compresión.

Efecto piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico reviste una importancia mucho mayor, siendo aprovechado casi universalmente para el ensayo no destructivo de materiales. Ciertos cristales naturales o sintetizados tienen la propiedad de que en presencia de un esfuerzo de tracción o compresión se originan cargas eléctricas en su superficie. La carga cambia de signo si se invierte la dirección del esfuerzo. Así es que en las superficies de un cristal expuesto alternativamente a un esfuerzo de tracción y un esfuerzo de compresión existe un potencial alternativamente positivo y negativo (tensión alterna). El efecto piezoeléctrico es reversible, es decir, cuando se aplica una carga eléctrica a la superficie del cristal, esta se contrae o se expande según el signo de la carga eléctrica.

Procedimiento de ensayo ultrasónico.

Como se sabe, una onda ultrasónica incidente, en parte se refracta y en parte se refleja si existe una variación de la resistencia a la onda sonora, como en el caso en que exista un defecto dentro del material. De ello se derivan dos procedimientos de ensayo, basados respectivamente, en la evolución de la parte transmitida de la onda o de la parte reflejada de la misma.

Procedimiento de transmisión

En este procedimiento se evalúa la parte del ultrasonido que ha sido transmitido a través de la pieza que se ensaya. A un lado de la pieza se aplica un emisor de sonido y al otro lado, un receptor. En presencia de un defecto, la intensidad sonora en el receptor disminuye a causada la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total (Fig. 10). Lo mismo da que se emplee sonido continuo o impulsos de sonido para el ensayo, pues el emisor y el receptor eléctricamente están separados entre sí. En este ensayo no se puede determinar la profundidad a la que está localizado el defecto de la pieza. Cuando existen daños en el material, deformaciones o variaciones en las forma de este se producen impedancias de onda diferentes a la normal que producen reflexión de la onda ultrasónica.

Aplicaciones

El Ultrasonido Industrial es un ensayo no destructivo ampliamente difundido en la evaluación de materiales metálicos y no metálicos.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas y forjadas, laminadas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales como son los metalcerámicos y los materiales compuestos, ha tenido una gran aceptación, por lo sencillo y fácil de aplicar como método de inspección para el control de calidad de materiales, bien en el estudio de defectos (internos, subsuperficiales y superficiales) y en la toma de mediciones como: medición de espesores (recipientes de acero, capa de grasa en animales, etc.), medición de dureza, determinación del nivel de líquido, etc.

Ventajas del Ultrasonido Industrial

- Se puede aplicar esta técnica en una gran gama de materiales y a un gran número de productos conformados como: chapas, ejes, vías, tubos, varillas, etc., y a procesos de fabricación tales como: soldadura, fundición, laminación, forja, mecanizado, etc.
- Es aplicable a otras ramas tales como: la medicina, navegación, pesca, comunicación, entre otras.
- Permite detectar discontinuidades tanto superficiales, subsuperficiales e internas.
- Puede aumentarse la sensibilidad del equipo al realizar un cambio conveniente de palpador.
- Los equipos pueden ser portátiles y adaptables a un gran número de condiciones.

Limitaciones del Ultrasonido Industrial

- El equipo y los accesorios son costosos.
- Deben emplearse vario tipos de palpadores a fin de determinar todas las discontinuidades presentes en la pieza, preferiblemente cuando se trata de piezas que o han sido ensayadas anteriormente.
- El personal destinado a realizar los ensayos debe poseer una amplia experiencia y calificación en el manejo de la técnica y los equipos.

EA – EMISIÓN ACÚSTICA

Hoy en día, uno de los métodos de pruebas no destructivas más recientes y, que ha venido teniendo gran aplicación a nivel mundial en la inspección de una amplia variedad de materiales y componentes estructurales, es sin duda el método de Emisión Acústica (EA).

Este método detecta cambios internos en los materiales o dicho de otra manera, detecta micro-movimientos que ocurren en los materiales cuando por ejemplo: existe un cambio micro-estructural, tal como lo son las transformaciones de fase en los metales, el crecimiento de grietas, la fractura de los frágiles productos de corrosión, cedencia, deformación plástica, etc. La detección de estos mecanismos mediante EA, se basa en el hecho de que cuando ocurren, parte de la energía que liberan es transmitida hacia el exterior del material en forma de ondas elásticas (sonido), es decir, emiten sonido (emisión acústica). La detección de estas ondas elásticas se realiza mediante el uso de sensores piezo-eléctricos, los cuales son instalados en la superficie del material. Los sensores, al igual que en el método de ultrasonido, convierten las ondas elásticas en pulsos eléctricos y los envía hacia un sistema de adquisición de datos, en el cual se realiza el análisis de los mismos (ver figura abajo).

La figura de abajo muestra un cuerpo, con una discontinuidad inicial, sometido a esfuerzo de tensión. Si la discontinuidad crece o se desarrolla, sus señales de emisión acústica asociadas revelarán su existencia durante su crecimiento. Esta es una de las principales ventajas de la técnica de emisión acústica *“Monitoreo en Tiempo Real”*.



Figura 15. Método de emisión acústica

Aplicaciones

La Emisión Acústica es una de las nuevas técnicas que ha tenido un gran desarrollo, especialmente con la aceptación del empleo de computadoras para el proceso de datos como medio de interpretación de los resultados. Se emplea en el estudio de estructuras sujetas a esfuerzos cíclicos, como es el caso de las estructuras aeronáuticas, los recipientes a presión y edificios o puentes. Otra aplicación es la evaluación del comportamiento de nuevos materiales, como es el caso de los tejidos a base Kevlar; de las fibras de elementos cerámicos y los materiales compuestos a base de cerámicos y metales y de plásticos reforzados con fibras.

Ventajas de la Emisión Acústica

- Permite detectar un defecto o fractura durante su desarrollo, aun antes de que sea posible detectarla por algún otro tipo de ensayo no destructivo.
- Permite tener un patrón del comportamiento de la estructura sujeta a prueba, la cual puede ser tomada como referencia para evaluar su comportamiento después de haber estado en servicio y conocer si ha subido algún daño o debilitamiento.

Limitaciones de la Emisión Acústica

- La interpretación de los resultados; ya que para una evaluación completa en campo se requiere de procesadores que tengan alta velocidad y gran capacidad de memoria y almacenamiento; motivo por el cual un trabajo de

inspección por AET puede realizarse rápidamente pero a un costo relativamente elevado.

- El personal que realiza este tipo de pruebas debe tener una gran capacidad y experiencia en la interpretación de señales y en la disposición de los transductores de inspección; quien se especializa en esta técnica requiere de por lo menos un año de trabajo previo antes de ser calificado como Nivel 1 y necesita casi dos años para poder ser calificado como Nivel II.

12.4.3 Pruebas no destructivas de hermeticidad

Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de PND de hermeticidad son:

- Pruebas de Fuga
- Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática)
- Pruebas de Burbuja
- Pruebas por Espectrómetro de Masas
- Pruebas de Fuga con Rastreadores de Halógeno

PRUEBAS DE FUGA

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

La detección de fugas es de gran importancia, ya que una fuga puede afectar la seguridad o desempeño de distintos componentes y reducen enormemente su confiabilidad. Generalmente, las pruebas de detección de fugas se realizan:

- Para prevenir fugas de materiales que puedan interferir con la operación de algún sistema.
- Para prevenir fuego, explosiones y contaminación ambiental, o daño al ser humano.
- Para detectar componentes no confiables o aquellos en donde el volumen de fuga exceda los estándares de aceptación.

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío. Los componentes o sistemas a los cuales generalmente se les realiza pruebas de detección fugas son:

- *Recipientes y componentes herméticos:* Para prevenir la entrada de contaminación o preservar internamente los fluidos contenidos. Por ejemplo: dispositivos electrónicos, circuitos integrados, motores y contactos sellados.
- *Sistemas herméticos:* Para prevenir la pérdida de los fluidos contenidos. Por ejemplo: sistemas hidráulicos y de refrigeración; en la industria petroquímica: válvulas, tuberías y recipientes.
- *Recipientes y componentes al vacío:* Para asegurar si existe un deterioro rápido del sistema de vacío con el tiempo. Por ejemplo: tubos de rayos catódicos, artículos empacados en vacío y juntas de expansión.
- *Sistemas generadores de vacío:* Para asegurar que las fugas se han minimizado y mejorar su desempeño.

Tipos de pruebas de fugas

Ultrasonido: Este ensayo comúnmente se aplica en la detección de fugas de gas en líneas de alta presión. Dependiendo de la naturaleza de la fuga, el gas al escapar, produce una señal ultrasónica que puede detectarse con una sensibilidad aproximada de 10-3 cm³/s.

Por Burbujeo: Este ensayo se basa en el principio de generación o liberación de aire o gas de un contenedor, cuando este se encuentra sumergido en un líquido. Se emplean frecuentemente en instrumentos presurizados, tuberías de proceso y recipientes. Es una prueba más bien cualitativa que cuantitativa, ya que es difícil determinar el volumen de la fuga.

Por Tintas Penetrantes: Consiste en rociar tintas penetrantes en las zonas de alta presión donde se desea detectar fugas. Si existe alguna fuga, la presión diferencial del sistema hará filtrar la tinta hacia el lado de baja presión del espécimen ensayado.

Por Medición de Presión: Este tipo de prueba se utiliza para determinar si existen flujos de fuga aceptables, determinar si existen condiciones peligrosas y para detectar componentes y equipo defectuoso. Se puede obtener una indicación de fuga relativamente exacta al conocer el volumen y presión del sistema y los cambios de presión respecto al tiempo que provoca la fuga.

Algunas ventajas de este método son que se puede medir el flujo total de la fuga independientemente del tamaño del sistema y que no es necesario utilizar fluidos trazadores.

Por Detección de Halógenos (Diodo de Halógeno): Este tipo de prueba es más sensitivo que los anteriores. Fugas tan pequeñas como 10-5 cm³/s pueden detectarse con facilidad. Las dos limitantes de este ensayo son que se necesitan gases de trazado especiales y el uso de calentadores de alta temperatura, lo cual resulta inconveniente en ambientes peligrosos.

Por Espectrómetro de Helio: Se considera la técnica de detección de fugas, tanto industrial como de laboratorio, más versátil. Tiene las mismas limitantes que el ensayo por detección de halógenos porque se requiere de helio como gas de trazado y, el tubo del espectrómetro se mantiene a alta temperatura mediante filamentos calefactores. Sin embargo, el helio es completamente inerte y menos caro que los gases halógenos. La sensibilidad es del orden de 10-11 cm³/s.

Con Radioisótopos trazadores: En esta técnica se utilizan radioisótopos de vida corta como fluidos trazadores para probar cavidades selladas herméticamente y circuitos cerrados de tubería. La pérdida de flujo o la detección del gas trazador en sitios no esperados son la evidencia de fuga. Esta técnica tiene la misma sensibilidad que el ensayo por Espectrómetro de Helio, aunque es más caro y es necesario establecer medidas de seguridad adecuadas debido a la radiación.

PRUEBAS POR CAMBIO DE PRESIÓN (NEUMÁTICA O HIDROSTÁTICA)

Es la aplicación de una presión o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios brindados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo, o el aire comprimido. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión ya sea hidrostática o neumática.

Características de la prueba hidrostática

La prueba hidrostática es una prueba no destructiva mediante el cual se verifica la integridad física de una tubería o sistema en donde el agua es bombeada a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión por un tiempo establecido previamente el cual varía según la longitud del tramo a probar. La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes, nos permite:

- Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo.

- Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.
- Detectar fugas.
- Verificar la resistencia mecánica.
- Probar la hermeticidad de los accesorios.

La presión utilizada en la prueba de presión hidrostática es siempre considerablemente mayor que la presión de trabajo para dar al cliente un margen de seguridad. Normalmente, la prueba se realiza en un 150 por ciento del diseño o la presión de trabajo. Por ejemplo, si una tubería fue calificado con una presión de trabajo de 2000 PSI, que se pondrá a prueba a 3000 PSI.

El agua es el medio de prueba más utilizada porque es menos caro que el aceite y un juego más fácil hasta que el aire, por lo que el costo de las pruebas es menor. END no destructivos de prueba técnicos prueba de tubos, tuberías y bobinas de presión hasta 10.000 PSI, en muchos casos. Todas las pruebas de presión hidrostática se realiza de acuerdo a los requerimientos del cliente y / o especificaciones de la industria.

Características de las pruebas neumáticas

La prueba neumática es un procedimiento que utiliza la presión del aire para testear las tuberías de fuga. Este método no solo sirve para identificar fugas, sino también para limpiar y secar el sistema de tuberías, permitiendo que la tubería quede lista al final del testeo. La prueba neumática se utiliza cuando otros métodos no son factibles; por ejemplo en caso de congelamiento el testeo con agua se ve imposibilitado

PRUEBAS DE BURBUJA

En esta prueba se utiliza la presurización del elemento a evaluar con aire que al sumergirse en agua, para ver donde salgan burbujas de aire e indicar el lugar de la fuga. Si esto no es posible, entonces la presurización de aire será realizada, cubriendo la zona de prueba con una solución de jabón, y de esta forma ver si se forman burbujas, lo que indicará la fuga.



Figura 16. Medidor de Hermeticidad Burst

Punto burbuja (Vídeo)

PRUEBAS POR ESPECTRÓMETRO DE MASAS

Es una técnica experimental que permite la medición de iones derivados de moléculas. El espectrómetro de masas es un instrumento que permite analizar con gran precisión la composición de diferentes elementos químicos e isótopos atómicos, separando los núcleos atómicos en función de su relación masa-carga (m/z). Puede utilizarse para identificar los diferentes elementos químicos que forman un compuesto, o para determinar el contenido isotópico de diferentes elementos en un mismo compuesto. Con frecuencia se encuentra como detector de un cromatógrafo de gases, en una técnica híbrida conocida por sus iniciales en inglés, GC-MS.

El espectrómetro de masas mide razones carga/masa de iones, calentando un haz de material del compuesto a analizar hasta vaporizarlo e ionizar los diferentes átomos, el haz de iones produce un patrón específico en el detector, que permite analizar el compuesto. En la industria es altamente utilizada en el análisis elemental de semiconductores, biosensores y cadenas poliméricas complejas. Drogas, fármacos, productos de síntesis química, pesticidas, plaguicidas, análisis forense, contaminación medioambiental, perfumes y todo tipo de analitos que sean susceptibles de pasar a fase vapor e ionizarse sin descomponerse.

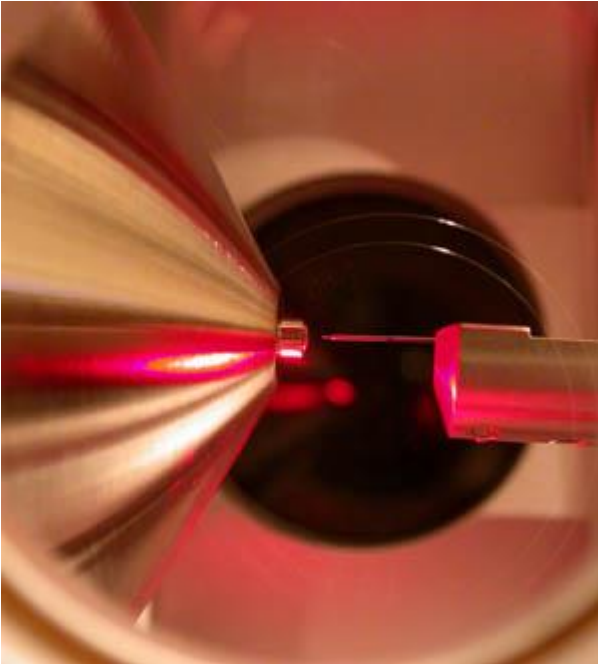


Figura 17. Haz de iones por electrospray en un espectrómetro de masa.

Prueba con espectrómetro de masas (Vídeo)

12.5 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS COMUNES:

12.5.1 TERMOGRAFÍA

Aplicaciones

- Detección de agua en el sándwich de honeycomb
- Detección de corrosión
- Detección de laminación

Ventajas

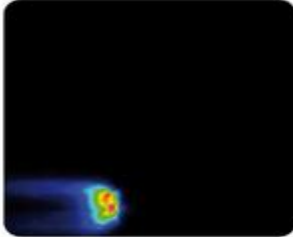
- Capacidad de captar imágenes
- No hay contacto directo
- Método rápido
- Bueno para detectar agua en el material compuesto

Desventajas

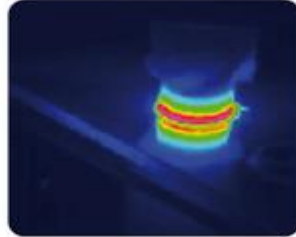
- Necesita ser suministrado de agua caliente, lámparas, mantas térmicas, etc.
- El tratamiento superficial o la pintura pueden influir en el resultado.
- No se puede repetir en un corto período de tiempo.
- Tiene limitada la profundidad de inspección.

Proceso de soldadura

Soldadura láser



Soldadura por fricción (FSW)



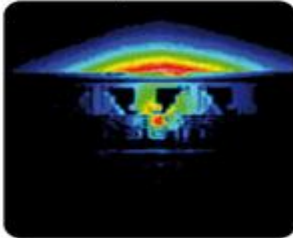
Aerotransportado

Visión térmica CO₂ de ciudad

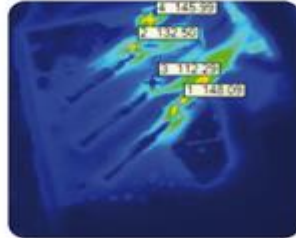


Electrónica

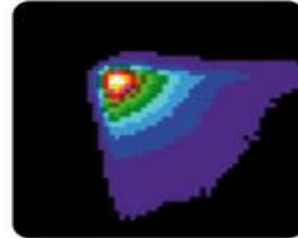
CC chips memoria



Transistor alta potencia

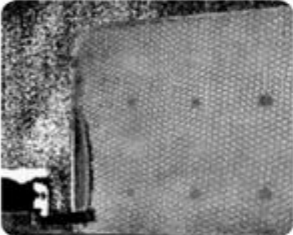


Fabricación de CIs



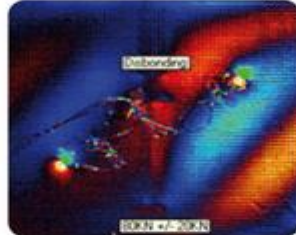
Evaluación de materiales

Termomecánica composite



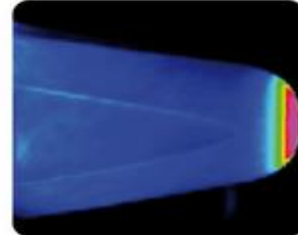
Industria Aeroespacial

Modelado en C-C wing

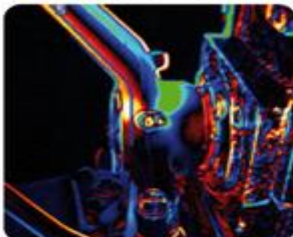


Laboratorios universidad

Ensayo túnel de viento

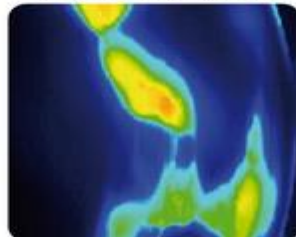


Análisis de fatiga



Industria Automoción

Ensayo freno de disco



Neumáticos

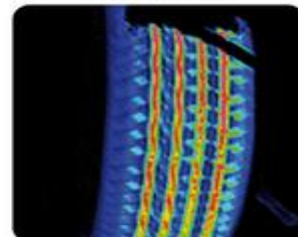


Figura 18. Muestras termográficas en variables campos

La TIR es una técnica de ensayo no destructivo (END) sin contacto que obtiene la temperatura de la superficie de un cuerpo a través de la captación de la radiación infrarroja que ésta emite. El mapa térmico de la superficie obtenido es llamado termograma.

Cuando el flujo de calor en un material es alterado por la presencia de anomalías o defectos provoca contrastes de temperatura en su superficie. El uso de la TIR como método no destructivo de inspección está basado en la obtención y el análisis de las imágenes de esos patrones térmicos.

Técnicas de TIR

Las principales ventajas de las técnicas de TIR son las siguientes: es un método de inspección rápido y sin contacto que sirve para localizar defectos por debajo de la superficie, la interpretación de termogramas es muy sencilla (imágenes) y la radiación infrarroja no es nociva (al contrario que los rayos-x). Además puede ser aplicado a un amplio rango de materiales (tanto metálicos como compuestos) y áreas relativamente amplias pueden ser inspeccionadas en un único ensayo.

No obstante, su principal desventaja es que es efectivo únicamente en la detección de defectos poco profundos. También resulta complicado producir un calentamiento uniforme al aplicar las técnicas activas y pueden existir variaciones de emisividad en diferentes partes del cuerpo estudiado.

Termografía pasiva

La TIR pasiva se refiere a aquellos casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrado en un proceso (industrial) que produce calor. Unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto muestran un comportamiento inusual. La TIR es capaz de capturar esta información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin ninguna interacción con el objeto.

La TIR pasiva se usa, por ejemplo, para la monitorización del producto en procesos de fabricación, monitorización de procesos de soldadura o comprobación de la eficiencia de los discos de freno de automóviles. También puede ser usada en mantenimiento predictivo, como en rodamientos, turbinas y compresores, instalaciones eléctricas, tuberías enterradas o fugas de gas. Existen otras muchas aplicaciones no industriales como son las de tipo medicinal en detección de cáncer

de pecho o desordenes vasculares, detección de fuegos, detección de objetivos (militar) o localización de pérdidas de calor y humedades en edificios.

Termografía activa

En termografía activa se usa una estimulación externa para provocar un flujo de calor interno en el objeto estudiado. Un defecto interno afectaría al flujo calorífico produciendo un contraste térmico en la superficie. Las técnicas de TIR activas principales son: TIR pulsada, step heating y TIR lock-in.

La TIR pulsada (Pulsed Thermography) consiste en aplicar un pulso corto de calor sobre el objeto (de 3 ms. a 2 s. dependiendo del material) y grabar el enfriamiento del espécimen. El frente térmico aplicado se propaga en el material y cuando encuentra un defecto el ratio de difusión es reducido produciendo un contraste de la temperatura sobre ese punto. De esta manera, el contraste de defectos más profundos aparecerá más tarde y con menor diferencia de temperaturas (ver figura 2.2 La TIR pulsada es usada, por ejemplo, en la inspección de componentes estructurales de aviones, control de calidad de soldadura por puntos, álabes de turbina, detección de desencolados, de laminaciones, grietas o corrosión.

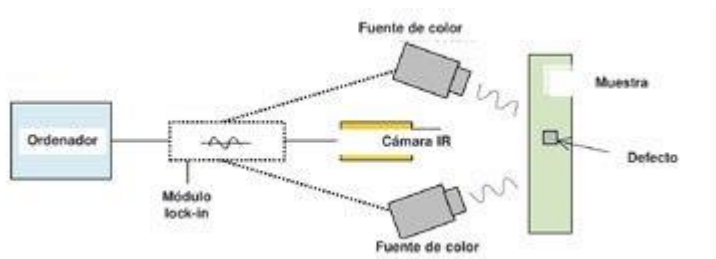


Figura 19. Configuración de típica de TIR activa (módulo Lock-in solo para la técnica de TIR lock-in)

En la técnica de Step Heating o termografía de pulso largo, el objeto es calentado continuamente a baja potencia y se monitoriza el incremento de temperatura de la superficie. Aplicaciones del step heating son, por ejemplo, la evaluación de espesores de recubrimientos y de uniones de recubrimiento a sustrato en estructuras compuestas y también la detección de corrosión oculta en el fuselaje de aviones.

La TIR lock-in está basada en la generación de ondas de calor dentro del espécimen inspeccionado (por ejemplo, depositando periódicamente calor en el cuerpo por medio de una lámpara modulada) y monitorizando de forma sincronizada el campo de temperaturas oscilante obtenido mediante una computadora o un amplificador lock-in. Por transformación de Fourier se obtienen las imágenes de fase y amplitud de la temperatura. Las imágenes fase están menos afectadas por

inhomogeneidades del calentamiento y de la emisividad, y son más sensibles en profundidad que otras técnicas de TIR. Sin embargo, requiere como mínimo la observación de un ciclo de modulación y cada ensayo es realizado para una frecuencia estudiando una profundidad cada vez, lo que aumenta el tiempo de inspección.

La TIR lock-in es usada, por ejemplo, en inspecciones de componentes estructurales, detección de remaches sueltos, investigación de estructuras de absorción de radar y detección de grietas, descolados, etc. Si en lugar de realizar un calentamiento mediante lámparas de luz modulada se usa una vibración mecánica inducida externamente como excitación se hablaría de vibro-termografía.

Una alternativa es la utilización de un transductor piezoeléctrico como fuente de estimulación, que sería el caso de la denominada TIR lock-in ultrasónica. Estas dos últimas técnicas están dirigidas a la detección rápida de grietas en materiales metálicos, laminados y cerámicos, corrosión en planchas metálicas remachadas o de laminaciones en laminados. Otra variación es la TIR lock-in termoinductiva que excita corrientes de Eddy en materiales conductores mediante una bobina de inducción y la resistencia de los materiales genera un calentamiento local. La mayor densidad de corriente en las grietas provoca una temperatura mayor que es detectada por la cámara termográfica. Esta técnica ha sido probada en detección de grietas longitudinales en barras y tochos de acero aparecidas durante su moldeado en caliente y en álabes de compresores.

La TIR de fase pulsada (Phase Pulsed Thermography) es una mezcla entre la TIR lock-in y TIR pulsada. La aplicación del ensayo es la misma que en termografía pulsada pero la adquisición de datos es tratada mediante transformada de Fourier para obtener la amplitud y la fase de la imagen a diferentes frecuencias con un único ensayo, con la consecuente rapidez de ensayo. De igual manera, se puede conseguir una variación de la termografía lock-in ultrasónica utilizando un pulso ultrasónico en vez de una excitación continua. Esta técnica es denominada Ultrasound Burst Phase Thermography.

El siguiente caso, mostrado, es el de la localización de dos grietas en un componente de una aeronave de aluminio con su recubrimiento de pintura original. Al principio del enfriamiento) se pueden apreciar las grietas entre las indicaciones térmicas producidas por la textura de la pintura en esa zona. Posteriormente se aprecia la respuesta típica de las grietas ante ensayos de este tipo se produce un salto de temperatura entre ambos lados de la grieta, ya que la grieta actúa como barrera al flujo de calor.

A continuación se muestra un ejemplo simple de la capacidad de un adecuado tratamiento de los datos de temperatura capturados en un ensayo de TIR para

mejorar la visualización de los defectos, e incluso permitir localizar defectos invisibles en los termogramas originales.

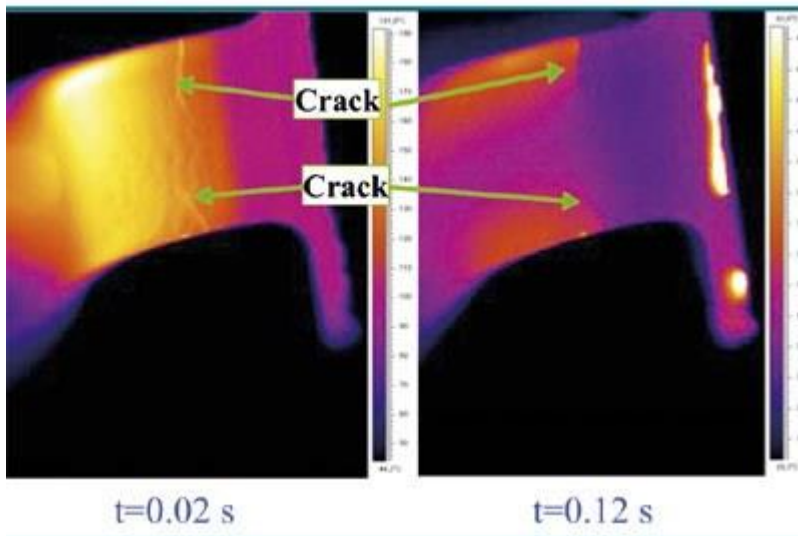


Figura 20. Termogramas en diferentes tiempos de enfriamiento de dos grietas en una pieza de aluminio.

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/11149-Termografia-infrarroja-ensayo-no-destructivo-deteccion-defectos-componentes-aerospaciales.html>

12.5.2 ACFM (Alternative Current Field Measurement)

Es una técnica electromagnética de ensayo no destructivo que permite detectar y medir grietas superficiales en componentes metálicos sin necesidad de eliminar el recubrimiento de éste, como la pintura o cualquier otra capa de protección existente.

En esta técnica se induce una corriente eléctrica en el material de estudio y se miden valores absolutos del campo magnético en el mismo.

Uso

El sistema fue desarrollado originalmente en la década de 1990 por los submarinos y la parte superior inspecciones de estructuras costa afuera y sin la necesidad de quitar la capa protectora artículo. Desde entonces se ha aplicado con éxito a las plantas de proceso en tierra. Las aplicaciones incluyen la inspección en servicio de los elementos soldados y detección de fisuras en los vasos.

Método

La sonda ACFM induce un uniforme de corriente alterna en el área bajo prueba y detecta el campo magnético de la corriente resultante a cerca de la superficie.

Esta corriente no se altera si la zona está libre de defectos. Una grieta vuelve a dirigir la corriente alrededor de los extremos y las caras de la grieta. El instrumento mide ACFM estas perturbaciones en el campo y utiliza modelos matemáticos para estimar el tamaño de grieta. Se analizan los componentes laterales y verticales del campo magnético; alteraciones indican una grieta está presente, y el tamaño y la profundidad de la grieta puede haber calculado.

Capacidades

El método detecta tanto las grietas y las estimaciones de su tamaño y longitud. Se puede inspeccionar cualquier material eléctricamente conductor. Los datos se registran electrónicamente para la evaluación fuera de línea necesaria y proporciona un registro permanente de las indicaciones. Las pruebas se pueden repetir y se compararon con el tiempo de seguimiento continuo.

El método no es invasivo y puede llevar a cabo la inspección sin quitar ninguna capa protectora de pintura. Con sondas adecuadas, el método se puede utilizar sobre superficies calientes.

Limitaciones

- No se recomienda para tramos cortos o pequeños objetos.
- Ubicaciones de soldadura y reparaciones localizadas de molienda pueden causar falsas indicaciones.
- Longitud de la grieta tiene que ser más largo que 5 mm. Múltiples defectos reducen la capacidad para estimar la profundidad del defecto.
- Equipo más voluminosos que en MT y las indicaciones pueden ser más difíciles de interpretar.

La probabilidad de detección y falsa tasa de detección es generalmente buena, pero depende de la aplicación.

Preparación

Protección no adherente como el aislamiento debe ser eliminado. El sistema puede operar a través de revestimientos adherentes no conductores, pero puede haber una necesidad de eliminar pesada o sueltas escala y salpicaduras.

12.5.3 RESONANCIA

Procedimiento de resonancia

Se utiliza para comprobar la zona de unión de dos materiales de distinta naturaleza.

Utiliza una onda longitudinal continua.

Se posiciona el transductor sobre una superficie de la pieza en una parte sin defecto. Se regula la frecuencia para obtener la resonancia en el material (onda estacionaria).

Al colocar el transductor sobre la discontinuidad; es como si la onda estuviera en una zona de menor espesor y la longitud demasiado larga, no obteniéndose la onda estacionaria.

Aplicaciones

- Detección de laminaciones, roturas del núcleo en materiales compuestos y huecos

Ventajas

- Puede ser realizada desde una superficie
- Tiene una lectura directa
- No requiere preparación de la superficie ni remover la pintura

Desventajas

- Pierde sensibilidad con el incremento de espesor del material
- Requiere corriente externa

12.5.4 ANÁLISIS DE ACEITE

Es un conjunto de procedimientos y mediciones aplicadas al aceite usado en las máquinas y equipos, que facilitan el control tanto del estado del lubricante, como de manera indirecta permiten establecer el estado de los componentes.

El objetivo primordial y final es suministrar información para adelantarse a tomar acciones y buscar la reducción de los costos de operación y mantenimiento a través de la preservación de las máquinas y la extracción de la mejor vida de los lubricantes.

Los procedimientos de análisis se pueden realizar en un laboratorio especializado, pero también pueden hacerse en el campo con ayuda de herramientas simples. Es la actividad de monitorear y reportar lo observado en las condiciones del lubricante para alcanzar las metas propuestas de mantenimiento a través de las buenas prácticas de lubricación.

Es una herramienta que sirve para documentar los procesos de mantenimiento, siempre y cuando, se tenga un buen entrenamiento y conocimiento de la interpretación de los resultados de laboratorio.

12.5.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Consiste en el estudio del tipo la propagación de ondas elásticas en un material homogéneo y la determinación de los efectos producidos y el modo de propagación. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica.

Aplicaciones

El análisis de vibraciones se puede utilizar para calcular los módulos elásticos (módulo de Young, módulo de cizallamiento) y el coeficiente de Poisson a partir de las frecuencias naturales de vibración de la muestra, que no debe sufrir ningún daño por el llamado método dinámico (ensayos no destructivos) a través de la velocidad del sonido, llamado pulso-eco.

Existe una relación unívoca entre las frecuencias naturales de vibración con las dimensiones y la masa de la muestra, parámetros fáciles de medir con un pie de rey y una balanza. Conociendo el tamaño, la masa y las frecuencias naturales de vibración, los módulos de elasticidad se pueden calcular fácilmente utilizando herramientas matemáticas.

El módulo de Young se calcula a partir de las vibraciones longitudinales o flexionales mientras que el módulo de cizallamiento y el coeficiente de Poisson se pueden obtener mediante las vibraciones de torsión. De acuerdo con la norma ASTM E-18751 e E-18762 las pruebas pueden ser:

- **Excitación por impulso:** cuando la muestra se somete a un ligero golpe que genera vibraciones que son detectadas por un transductor y se convierten en señales eléctricas para que estas frecuencias de resonancia se puedan leer.
- **Barrido de frecuencia:** cuando el modelo recibe un estímulo de frecuencia variable.

12.5.6 CORRIENTES INDUCIDAS

Aplicaciones

•Detección de discontinuidades en superficies metálicas, grietas, corrosión intergranular y tratamientos térmicos

- Medida de la conductividad para determinar áreas dañadas por el fuego

Ventajas

- Útil para chequeo de taladros de unión para la localización de grietas
- Sistema rápido, sensible y portable

Desventajas

- Sensible a combinaciones y variaciones en el material
- Requiere de probetas especiales para cada aplicación

El método de corrientes inducidas llamado también “Corrientes EDDY”, opera bajo el principio de la inducción electromagnética, donde un campo magnético alternante induce corriente sobre la pieza de ensayo si es de un material conductor. Es un método de ensayo no destructivo ya que su aplicación no altera de ninguna manera las propiedades del objeto bajo estudio. Es una prueba netamente superficial, detectando defectos sub-superficiales cercanos a la superficie. El patrón de corrientes inducidas y el campo magnético que necesariamente está asociado a ellas, están influenciados por diferentes características del material bajo prueba. Estas características pueden agruparse en tres grupos: Detección de discontinuidades, medición de propiedades de los materiales y mediciones dimensionales.

A: Detección de discontinuidades:

La detección de discontinuidades se refiere a la localización de grietas, corrosión, erosión y/o daños mecánicos en la superficie de las piezas.

B. Propiedades de materiales:

Utilizando las corrientes inducidas, se pueden determinar propiedades de materiales, se incluyen mediciones de conductividad, permeabilidad, dureza, clasificación de aleaciones y otras condiciones metalográficas que requieren junto con las propiedades ya mencionadas equipos y arreglos de bobinas especiales.

C. Mediciones dimensionales:

Las mediciones dimensionales comúnmente realizadas mediante la aplicación de corrientes inducidas, son la medición de espesores, con buena exactitud para espesores pequeños teniendo la desventaja de no ser precisos en espesores

grandes, medición de espesores de revestimientos como pinturas o películas aislantes.

Calibración e inspección con corrientes Eddy en tubería

Calibración con corrientes inducidas para tubería de acero inoxidable con un diámetro exterior de 19mm y un espesor de 2.1mm con una bobina de 14mm de diámetro exterior, lo cual obtendría un factor de llenado del 82%. (es la relación que existe entre el diámetro de la bobina y el diámetro interior de la tubería. Donde, $n = d_{\text{bobina}} / d_{\text{material}}$) Calculando la frecuencia con $f = 3p/t^2$

Donde,

p es la resistividad del acero inoxidable ($72\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
t es el espesor del material

Se obtiene una frecuencia de 48KHz

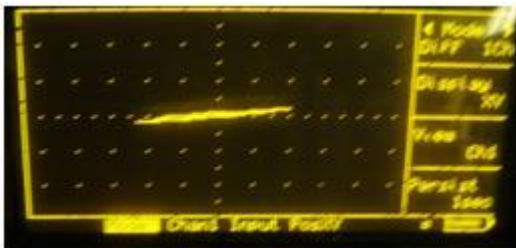


Figura 21. Muestra de gráficas obtenidas

Equipo Hocking phasec 2200

Equipo hocking phasec 2200 calibración del lift-off. El acoplamiento entre la bobina de inspección y la pieza bajo prueba varía con el espacio existente entre ellas. Este espaciado se denomina separación o lift-off. Realizado por el Ing. Roberto Copete Pinilla, Ingeniero Aeronáutico Nivel II en Corrientes inducidas según SNT-TC-1A

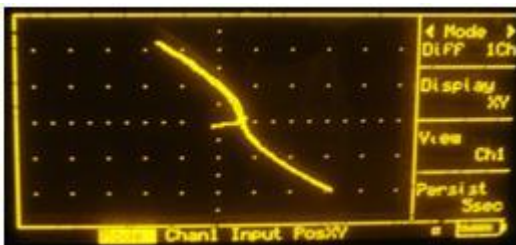


Figura 22. Muestra de gráficas obtenidas

Equipo Hocking phasec 2200

Calibración de un pitting del 100% de pérdida de material calibrando a un ángulo de 45 grados. Realizado por el Ing. Roberto Copete Pinilla, Ingeniero Aeronáutico Nivel II en Corrientes inducidas según SNT-TC-1A



Figura 23. Muestra de gráficas obtenidas

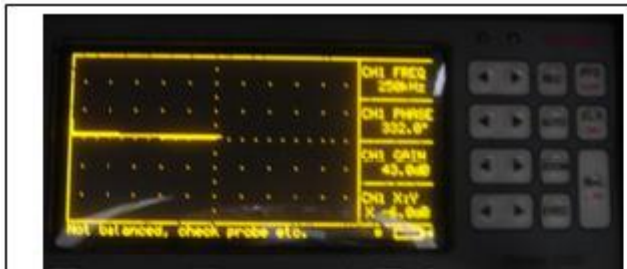
NOTA: Con una calibración adecuada se logra una alta confiabilidad de la inspección ya que las corrientes inducidas son una técnica comparativa. Los patrones deben ser exactos en sus entallas a la hora de realizar una buena calibración.



Figura 24. Muestra de inspección

Calibración e inspección de corrientes Eddy (Defectología)

La calibración para defectología se debe realizar con patrones certificados estas inspecciones son ampliamente utilizadas por el sector aeronáutico o materiales no ferro magnéticos como el aluminio.



Equipo hocking phasec 2200.

Calibración del lift-off.
acoplamiento entre la bobina de inspección y la Pieza bajo prueba varia con el espacio existente Entre ellas. Este espaciamento se denomina Separación o lift-off.

Realizado por Ing. Roberto Copete Pinilla Ingeniero Acronáutico Nivel II en corrientes inducidas según SNT-TC-1A.



Equipo hocking phasec 2200

Calibración de las entallas del patrón de calibración en los difeentes notchs



Realizado por Ing. Roberto Copete Pinilla Ingcniero Acronáutico Nivel II en corrientes Calibración de discontinuidad en diámetro

Figura 25. Muestra de gráficas obtenidas

<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=54>

NOTA: En la aviación los manuales de NDT de las aeronaves señalan los parámetros de calibración del equipo y que patrón se debe utilizar.

Corrientes inducidas de campo remoto (RFT)

Una variante dentro de las Corrientes Inducidas, se llama Corrientes inducidas de campo remoto.

Con esta técnica podemos inspeccionar los materiales ferromagnéticos penetrando todo el espesor del objeto a inspeccionar.

Es una técnica muy adecuada para la inspección de Calderas, así como intercambiadores ferromagnéticos, aeroenfriadores, reactores y líneas de fluidos ferromagnéticas.

En los aeroenfriadores con aletas muy cercanas, el campo remoto decae fuertemente, por lo que se utilizan bobinas de saturación parcial del material.

Cuando un campo magnético excita un material ferromagnético, este se distribuye de la siguiente manera:

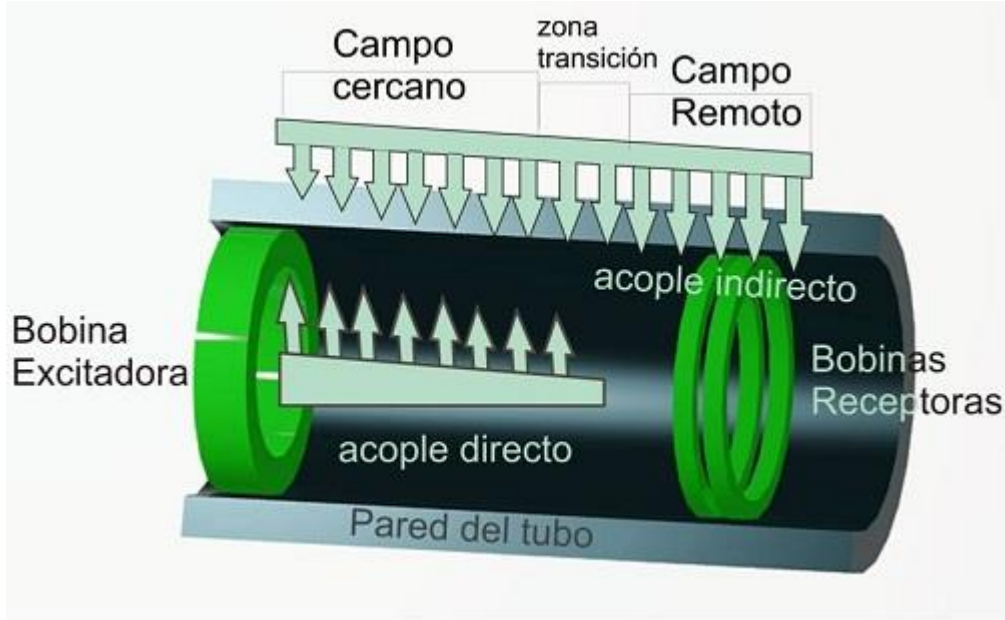


Figura 26. Muestra gráfica del principio

En la zona de acople directo, debido a la alta permeabilidad magnética del acero y demás materiales ferromagnéticos se forman muy fácilmente las corrientes inducidas, que actúan como barrera impidiendo la penetración del campo primario (de la bobina excitadora). No obstante ubicando una bobina a una distancia de 2.5 veces el diámetro interior de la tubería, se logra captar un campo más débil resultado de la interacción del campo primario, con el de las corrientes inducidas en el tubo (secundario) el campo magnético en esta zona (zona de campo remoto) ha atravesado 2 veces la pared del tubo, por lo cual se logra una inspección completa del espesor.

A medida que el espesor disminuye, la atenuación en el campo magnético es menor tanto en amplitud como en fase permitiendo obtener información del área y profundidad de la discontinuidad.

Esta técnica permite detectar defectos tales como grietas, picaduras, pérdidas por corrosión generalizada o localizada y erosión antes y después de alcanzar tamaños críticos, por lo cual se vuelve una herramienta indispensable para el diagnóstico temprano de equipos críticos.

Aplicaciones

1. Tuberías de Calderas.
2. Fuselaje de aviones

3. Trenes de aterrizajes
4. Turborreactores
5. Cascos de Barco
6. Intercambiadores de Calor ferromagnéticos

Objetivos

1. Evaluar daños micro estructurales.
2. Detección de defectología en tubería de calderas e intercambiadores
3. Detección de defectología en componentes y equipos de acero ferromagnético.

Beneficios

1. Elimina la subjetividad en la toma de decisiones.
2. Los costos de aplicación son muy inferiores comparados con los beneficios
3. Se puede actuar a tiempo y de forma precisa
4. Muy sensible a defectos pequeños
5. Detecta fácilmente fisuras.

Inspección de una caldera acuatubular en Cali –Colombia por ISOTEC S.A.S

Referencias Normativas:

ASTM E-2096 – 05 Standard Practice for In Situ Examination of Ferromagnetic Heat-Exchanger Tubes Using Remote Field Testing.

<http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=54>

10.5.7 PND EN SOLDADURA

Ya que las soldaduras son elementos demasiado importantes se dedica todo una parte de la categoría a los ensayos no destructivos para soldaduras. Las piezas y elementos soldados requieren una verificación sobre la manera como se realizó dicho proceso. También dentro del mantenimiento preventivo se requiere una revisión permanente de estas, pues la presencia de grietas, nudos, escoria y en general imperfecciones y defectos en la soldadura, visibles o no, pueden causar nuevamente el rompimiento o fractura de las piezas.

A continuación se explican los diferentes tipos de ensayos no destructivos aplicados a la soldadura, su importancia, herramientas de uso, ventajas y desventajas y todas las características principales.

Es el proceso por medio del cual dos piezas metálicas, o dos partes de la misma pieza, se unen sólidamente. Esta unión se produce con el calentamiento de las superficies a soldar, y pueden ser puestas en contacto con o sin aportación de una sustancia igual o semejante a las piezas a unir. La fuente de calor puede ser una llama, un plasma, un arco eléctrico, un haz de electrones o un haz láser.

El proceso de calentamiento de las superficies a soldar puede implicar que se fundan las zonas por donde debe realizarse la unión, o una de ellas o que no se fundan ninguna de las partes, sino que se unan mediante presión.

La soldadura se utiliza también para la construcción de piezas con formas complicadas y se puede realizar elevando la temperatura, o únicamente con presión. Los procedimientos de soldadura de metales se pueden clasificar como **SOLDADURA HETEROGÉNEA** y **SOLDADURA HOMOGÉNEA**.

La soldadura heterogénea se realiza para materiales de distinta naturaleza, puede desarrollarse con o sin metal de aportación o cuando los metales son iguales y el metal de aportación es distinto. Esta puede ser Blanda como en el caso de la soldadura de Estaño (Sn) y Plomo (Pb), o fuerte en el caso de la soldadura amarilla como el cobre (Cu) y la plata (Ag)

La soldadura homogénea se lleva a cabo cuando tanto los materiales como el metal de aportación son iguales o de la naturaleza. Cuando la soldadura se hace sin metal de aportación se le conoce como autógena y se puede hacer por forja, aluminotérmica (por fusión, por presión, por fusión y presión), ultrasónica, por frotamiento y eléctrica. La soldadura eléctrica se puede realizar por arco o resistencia.

Soldabilidad

Se usa ampliamente para referirse a la facilidad con que se puede soldar una aleación. Para evaluar esta característica debe tenerse en cuenta la compatibilidad metalúrgica de un metal o aleación con un proceso específico de soldadura, esto implica que el metal base y el de aportación puedan ser combinados con el grado de dilución (soldabilidad química) sin la producción de constituyentes o fases indeseables.

También es importante la aptitud del metal para ser soldado mediante un proceso de soldadura dado con cierta seguridad mecánica cumpliendo con los requerimientos y normas de ingeniería. Aparte de lo anterior se debe conocer la capacidad de las juntas soldadas que permitan cumplir los requerimientos estructurales especiales como resistencia a impacto a bajas temperaturas, estabilidad a altas temperaturas. Así la soldabilidad depende de las condiciones de

preparación de la superficie, de las características químicas de los metales a soldar y de las propiedades mecánicas de la unión soldada.

La influencia de la composición química en la soldabilidad de los aceros es muy importante, los aceros al carbono (no aleados) sueldan bien en general, sobre todo aquellos de baja aleación (menos del 5% en total), y mucho mejor entre menor contenido de carbono.

Los aceros buenos para soldar son los aleados al Mo, Cr-Mo, Cr-Ni, Cr-V, Cr-Mn, pero siempre y cuando contengan bajos contenidos en carbono (C) y azufre (S).

En los aceros de alta aleación, la soldabilidad es buena en aceros austeníticos, pero no en el caso de los aceros ferríticos y martensíticos.

Fenómenos metalográficos de los aceros causantes de defectos e imperfecciones de soldadura

Junto a la región soldada, queda una zona de metal base afectada térmicamente que no llega a fundirse, pero que sí se calienta a temperaturas muy elevadas por la operación de soldadura, y se enfría rápidamente después. Esta zona es bastante estrecha aunque en ella la temperatura aumenta desde la temperatura ambiente hasta la de soldadura (1500°C en aceros).

Se distinguen diferentes zonas desde la soldadura hasta la estructura del metal original:

- Zona de grano grueso, de austenización y crecimiento del grano.
- Zona de grano fino, de austenización completa y recrystalizarían.
- Zona de transición, parcialmente transformada, de austenización incompleta.
- Zona afectada térmicamente o zona de influencia donde se produce re cristalización, crecimiento del grano, justo en la frontera con el metal de base sin afectar.

Estas zonas no están muy bien delimitadas, sino que se forman a causa de un gradiente continuo de temperatura y por ello su estructura trata de ser más similar a la original a medida que se separa del punto de soldadura.

Por lo anterior se genera una estructura heterogénea en las zonas contiguas a la unión soldada que empeoran sus propiedades mecánicas respecto a la del metal base, por eso entre más reducida sea la zona afectada térmicamente por la soldadura, mejor será la calidad de ésta (se tolera aproximadamente 12 mm con arco eléctrico y 30 mm con soplete). Para eliminar las tensiones inducidas por la soldadura se procede a un tratamiento localizado de la misma.

A continuación se muestra esquemáticamente, el perfil de temperatura obtenido en un acero con contenido de 0.15% de Carbono después de ser sometido a un proceso de soldadura, en donde se aprecian las fases obtenidas en las partes sometidas al calentamiento por la soldadura.

Estas imperfecciones naturales del material y las dificultades cuando se realiza la soldadura en condiciones difíciles, posiciones incómodas, sumadas a las discontinuidades que se puedan presentar en los trabajos, requieren un análisis y estudio que se realiza mediante los ensayos no destructivos. En los últimos años han tenido gran auge, pues permiten evaluar y calificar la calidad del procedimiento realizado. A continuación se explicaran los ensayos no destructivos más comunes y aplicados en la evaluación de soldaduras.

1) ENSAYO VISUAL (VT) para soldadura

Es una de las pruebas no destructivas más utilizadas, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo evaluados ya que permite observar muchas características de una unión soldada, algunas relacionadas con las dimensiones y otras acerca de la presencia de discontinuidades dentro de las piezas soldadas.

Como su nombre lo dice, el ensayo o inspección visual consiste en recorrer detenidamente la superficie, en este caso de la soldadura y con la ayuda de una lupa, linterna, espejo tipo odontológico, galgas e instrumentos de medición como flexómetros y reglas, e identificar discontinuidades y determinar si dicha unión tiene una calidad adecuada para su aplicación. Para definir esto el inspector comparara lo observado con las características y criterios de aceptación de calidad en soldadura, los cuales provienen de diversas fuentes, como dibujos de fabricación que muestren el tamaño de los cordones permitido, su longitud precisa y ubicación requerida. Estos requisitos dimensionales han sido establecidos a través de cálculos tomados de diseños que cumplen los estándares de la unión soldada.

Dentro del proceso de inspección visual, el tamaño de la soldadura es muy importante, ya que afecta directamente la resistencia mecánica de la unión y sus relativas consecuencias en caso de no ser adecuado. Las discontinuidades en los cordones son muy importantes ya que son las imperfecciones interiores o adyacentes a la soldadura las que disminuyen la resistencia para la cual fue diseñada. Las discontinuidades, de inaceptables dimensiones y localización, se denominan defectos de soldadura, y pueden ser causas falla prematura.

Quien realiza este ensayo debe ser un inspector de soldadura formalmente calificado, con conocimientos y experiencia para llevar a cabo dicha inspección. A nivel internacional existe un programa, para el entrenamiento, capacitación y

certificación de inspectores de soldadura, el cual fue creado en Estados Unidos y es administrado y avalado por la American Welding Society (AWS). También es importante añadir que la inspección visual de toda la soldadura, comienza por el mismo soldador.

A pesar de que este ensayo sea practicado por personal altamente calificado, por ser de tipo visual solo permite reconocer discontinuidades que aparecen sobre la superficie por lo tanto muchas veces requiere técnicas de ensayos no destructivos complementarias.



Figura 27. Inspecciones Visuales con la ayuda de elementos de medida.

http://www.cyti.com.mx/inspeccion_visual.asp

2) LIQUIDOS PENETRANTES (PT) para soldadura

Este tipo de ensayo es empleado para detectar e indicar discontinuidades abiertas a la superficie en materiales sólidos no porosos y se puede aplicar perfectamente para la examinación de los acabados de soldadura.

El método o prueba de líquidos penetrantes es basado en el principio físico conocido como capilaridad, el cual consiste en los fluidos gracias a su tensión superficial originan una cohesión entre las moléculas superficiales y resisten una determinada tensión. De esta manera, un primer líquido con baja tensión superficial penetra los poros y es retenido en las discontinuidades y fisuras. Como dato importante la penetración ocurre independientemente de la orientación de las grietas, ya que no es la gravedad la que hace introducirse el líquido en la discontinuidad.

Posteriormente se limpia y se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador que es de color diferente al líquido penetrante, de esta manera se incrementa la evidencia de las discontinuidades, tal que puedan ser vistas ya sea directamente o por medio de una lámpara o luz negra.

Los diferentes parámetros que se deben tener en cuenta al momento de la realización de este ensayo son inicialmente la limpieza. Consiste en eliminar de la zona a inspeccionar cualquier resto de contaminante que dificulte, tanto la entrada del penetrante en las discontinuidades como la posterior eliminación del que queda sobre la superficie. La limpieza se puede realizar con detergente, disolvente, vapor desengrasante, limpiadores alcalinos, ultrasonidos, decapantes, ataque ácido o mediante medios mecánicos.

Posteriormente se lleva a cabo la aplicación del líquido cubriendo la superficie a inspeccionar, dependiendo de la forma y el tamaño de la pieza, el penetrante se puede aplicar por inmersión, brocha o pincel o por pulverización. Hay un tiempo de penetración necesario para que dicho líquido pueda llenar por capilaridad las discontinuidades.

Después se limpia el exceso de líquido. Existen penetrantes lavables con agua, penetrantes post-emulsionables y penetrantes eliminables con disolvente. Se procede a secar la superficie evaluada y se aplica el revelador en forma seca o finamente pulverizado en una suspensión acuosa o alcohólica de rápida evaporación. Existen varias técnicas recomendadas para una aplicación eficaz de los distintos tipos de reveladores. Estas son mediante espolvoreado, inmersión, lecho fluido y pulverización. La fina capa de revelador absorbe el líquido penetrante retenido en las discontinuidades llevándolo a la superficie para hacerlo visible, pudiendo así registrar y evaluar las indicaciones. Hay diferentes técnicas de interpretación y evaluación según sea el tipo de líquido penetrante utilizado, así como métodos de fijado y registro de las indicaciones obtenidas.

Finalmente se limpia la superficie, tratando de eliminar los restos de todos los agentes químicos empleados, para prevenir posibles daños de la pieza cuando vuelva a ser utilizada.

Entre las piezas metálicas que se pueden ensayar con esta técnica, se encuentran principalmente los metales no ferromagnéticos como aceros inoxidables, aluminio y sus aleaciones, cobre, bronce, latones, etc.

Los metales ferromagnéticos, como el acero al carbono y los aceros aleados, también se pueden inspeccionar por líquidos penetrantes, aunque suele ser más ventajosa su inspección por partículas magnéticas.

Video 2. Ejemplo de procedimiento con líquidos penetrantes

La favorabilidad de este tipo de ensayo no destructivo es debido a que esta técnica permite ensayar toda la superficie de la pieza. La geometría y el tamaño de la pieza a inspeccionar no es un factor crítico, no se destruye la pieza ni siquiera parcialmente y se obtiene resultados inmediatos y permite identificar defectos más profundos que los superficiales. Se pueden agregar ventajas como su economía, inspección a simple vista, su técnica razonablemente rápida y fácil de emplear que no necesita equipos complejos o caros y se puede realizar de forma automatizada o manual, en taller o en obra. En cuanto al personal se requieren pocas horas de capacitación de los inspectores, pero si es importante para una mejor confiabilidad de los resultados, examinadores con amplia experiencia.

Las limitaciones generales del ensayo son que sólo se puede aplicar a defectos superficiales y a materiales no porosos. La superficie a ensayar tiene que estar completamente limpia. No se puede utilizar en piezas pintadas o con recubrimientos protectores.

3) PARTÍCULAS MAGNETICAS (MT) para soldadura

La prueba de partículas magnéticas es un método de prueba no destructivo para la detección de imperfecciones sobre o justamente debajo de la superficie de metales ferrosos que también se puede aplicar en soldadura. Es una técnica rápida y confiable para detección y localización de grietas superficiales.

Un flujo magnético es enviado a través del material y en el lugar de la imperfección se forma un campo de fuga que atrae el polvo de hierro que se rocía sobre la superficie, así la longitud de la imperfección puede ser determinada de forma muy confiable.

La prueba de Partícula magnética no indica la profundidad de la imperfección y los criterios de aceptación definen si la indicación es o no aceptable, es decir si se trata de un defecto o no.

En el ensayo no destructivo de partículas magnéticas inicialmente se somete a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y se espolvorea partículas finas de material ferromagnético. Así es posible detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Cuando un material ferromagnético se magnetiza, aplicando a dos partes cualesquiera del mismo los polos de un imán, se convierte en otro imán, con sus polos situados inversamente respecto del imán original. La formación del imán en la pieza a ensayar implica la creación en su interior de unas líneas de fuerza que van desde el polo del imán inductor al otro, pasando por una zona inerte denominada línea neutra. Estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme, si el material es uniforme. Sin embargo, cuando existe alguna alteración en el interior del material, las líneas de

fuerza se deforman o se producen polos secundarios. Estas distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas que se aplican en forma de polvo o suspensión en la superficie a inspeccionar y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

Es importante conocer que las líneas de fuerza de un campo magnético inducido siguen la orientación de la regla de la “mano derecha” de forma que si se agarra con dicha mano una varilla orientando el dedo pulgar en el sentido de la corriente, los demás dedos indican la dirección de las líneas de fuerza. Esto quiere decir que cuando se aplica una corriente a una barra magnética, se generan corrientes circulares transversales muy apropiadas para detectar defectos longitudinales. Esto es debido a que el descubrimiento de las heterogeneidades del material se produce cuando dichos defectos son perpendiculares a las líneas del campo magnético. Si por el contrario, la barra tuviese grietas transversales sería necesario inducir campos magnéticos transversales. Esto indica que para hacer una buena inspección, se deben aplicar dos campos magnéticos, perpendiculares entre sí, para asegurarse de que se atraviesan todas las heterogeneidades del material.

La profundidad del campo magnético inducido por una corriente eléctrica es tanto mayor cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente. Por tanto, con corriente continua se pueden llegar a detectar discontinuidades de hasta 6mm de profundidad, mientras que con corriente alterna (50Hz) sólo se lograrán detectar discontinuidades que se encuentren a una profundidad inferior a 0,5mm. Sin embargo, la corriente alterna presenta un mejor comportamiento para la detección de heterogeneidades superficiales, debido a que la alternancia de los campos magnéticos somete a las partículas magnéticas a una intensa agitación que facilita su atracción por los campos de fuga. En lo que se refiere a corrientes rectificadas, la corriente monofásica rectificada conserva la alternancia de intensidad sometiendo a las partículas a una intensa agitación mientras que la corriente trifásica rectificada se comporta prácticamente como si fuera corriente continua.

La corriente de cada ensayo debe determinarse en el procedimiento correspondiente. La intensidad de la corriente eléctrica debe ser la adecuada para permitir la detección de todas las heterogeneidades superficiales y subsuperficiales relevantes. Debe tenerse en cuenta que una intensidad excesiva produce sobresaturación magnética, dando lugar a indicaciones erróneas; mientras que una intensidad baja genera campos de fuga débiles incapaces de atrapar las partículas.

Como partículas magnéticas se utilizan limaduras u óxidos de hierro, de tamaño comprendido entre 0,1 y 0,4mm, con colores que ayuden a mejorar el contraste como son el negro, rojo y verde. También se utilizan partículas fluorescentes, que suelen proporcionar una posibilidad de localización de hasta 100 veces más que las

visibles, si se aplican por vía húmeda. Normalmente se emplean partículas de varios tamaños mezcladas en una proporción idónea teniendo en cuenta que las más pequeñas y alargadas aumentan la sensibilidad y las más gruesas y redondas ayudan a detectar grandes discontinuidades y arrastran a las más pequeñas evitando que se formen falsas indicaciones.

Todos los materiales ferromagnéticos sometidos a un campo magnético conservan, después de cesar la acción del campo, un cierto magnetismo, llamado remanente o residual, que puede ser perjudicial. Existen varios procedimientos para llevar a cabo la desmagnetización, cuyo fundamento se explica mediante el concepto de histéresis y todos ellos operan, de forma general, sometiendo a la pieza a un campo magnético alterno cuya intensidad va gradualmente decreciendo hasta anularse. El método más extendido es el de la desmagnetización con bobina de corriente alterna, que consiste en colocar la pieza en el interior de una bobina por la cual circula corriente alterna alejándola lentamente hasta unos 2m. A esa distancia se considera que la influencia del campo es nula y se corta la corriente.

Con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este nuevo tipo de ensayo puede revelar discontinuidades que no se ven en la superficie. También requiere de un menor grado de limpieza pues no se necesitan condiciones de limpieza excesivamente rigurosas y generalmente es un método más rápido y económico al no precisar equipos electrónicos.

Este ensayo se puede aplicarse a piezas de tamaño y forma variables así como en superficies con acabados soldados y en todo tipo de metales ferrosos, tales como acero al carbono, acero de baja aleación y hierro fundido. El uso de la prueba en soldaduras y las zonas afectadas calor, así como en superficies relativamente ásperas y sucias es posible pero la sensibilidad disminuye por esto. Cuando se requiere sensibilidad máxima se pueden utilizar partículas fluorescentes.

La gran limitación es que únicamente detecta discontinuidades perpendiculares al campo y únicamente se puede aplicar en materiales ferromagnéticos. La capacidad de penetración sigue siendo limitada. En cuanto al manejo del equipo en campo puede ser costoso y lento.

4) RADIOGRAFÍA Y RAYOS X (RT) para soldaduras

La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la propiedad de los rayos X o Gamma de atravesar materiales opacos a la luz sin reflejarse ni refractarse, produciendo una impresión fotográfica de la energía radiante transmitida. Dichas radiaciones X o Gamma inciden sobre la pieza a inspeccionar, que absorberá una cantidad de energía radiante que depende de la densidad, la estructura y la composición del material. Estas variaciones de

absorción son detectadas y registradas como se menciona anteriormente en una película radiográfica obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza.

Las radiaciones electromagnéticas de los rayos X se propagan a la velocidad de la luz ($300.000 \text{ km s}^{-1}$), aunque tienen menor longitud de onda, mayor energía y más penetración no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos ya que no son partículas cargadas, ni sus espines están orientados por lo cual se propagan por tanto en línea recta y excitan la fosforescencia e impresionan una placa fotográfica.

Gracias a este tipo de ensayo no destructivo, los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía. Para facilitar la labor se usan colecciones de radiografías patrón, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura

Para realizar el ensayo radiográfico se pueden utilizar fundamentalmente dos tipos de fuentes. La primera mediante generadores de rayos x que constan de un cilindro de alimentación donde se ha hecho el vacío previamente y que presentan un cátodo que al calentarse emite electrones. Estos electrones se aceleran por medio de un campo eléctrico hacia el ánodo sobre el que inciden con una alta energía. Solamente el 1% de esta energía se transforma en rayos X, transformación que tiene lugar en el foco térmico. También se pueden obtener los rayos X mediante fuentes isotópicas las cuales están constituidas fundamentalmente por una fuente radiactiva, un dispositivo para exponer dicha fuente y un blindaje. La fuente radiactiva consta de una determinada cantidad de isótopo radiactivo que se descompone de forma natural dando lugar a la radiación gamma.

TENSION FILAMENTE	TIEMPO DE EXPOSICION	PENETRACION		
		ACERO	COBRE	LATON
150 KV	1Hora	50	30	20
300 KV	1Hora	100	65	40
1000 KV	1Hora	200	150	150
2000 KV	1Hora	300	250	250

Tabla 1. Capacidad de penetración en diferentes materiales de los rayos X.

Depende de la disposición de los equipos que intervienen en la obtención de una radiografía se puede hacer referencia a dos técnicas de ensayo diferentes, con variantes específicas:

La primera llamada técnica de pared simple que recibe este nombre debido a que solamente realiza la interpretación de aquella pared que se encuentra más próxima

a la película fotográfica. Es la técnica más empleada en la inspección radiográfica además de ser la de más fácil interpretación.

La segunda llamada técnica de exposición panorámica constituye una variante de la técnica de pared simple en la cual la fuente de radiación se debe colocar en un punto equidistante de la superficie y de la película radiográfica.

También se puede realizar la técnica de pared doble vista simple en la cual el haz de radiación atraviesa dos paredes de la pieza pero solo proyecta sobre la película radiográfica aquella que esté más próxima a dicha película. En la técnica de pared doble vista doble la radiación atraviesa dos paredes de la pieza proyectando ambas paredes sobre la película radiográfica.

Video 4. Prueba mediante radiografía.

Con esta prueba aumenta la posibilidad de evaluar mejor los defectos presentes en la soldadura. Existe una normatividad existente que corresponde a la UNE 14011, la cual describe los tipos 7 de defectos mayormente detectables con los rayos X sobre las uniones soldadas. Los defectos más fácilmente detectables son aquellos cuya máxima dimensión está orientada en la dirección de propagación de los rayos X. Son difícilmente detectables los defectos de poco espesor, aunque sean muy extensos, dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones. Por este motivo el objeto debe ser examinado en distintas direcciones.

a) Cavidades, porosidades o sopladuras: Este tipo de defecto, al tener menor densidad que el metal, se dejan atravesar más fácilmente por la radiación, formando unas impresiones oscuras redondeadas. Se observa que a veces se unen varios poros formando rosarios. En la soldadura las causas pueden provenir del metal base por el elevado contenido en C, S, P. También por la presencia de óxidos y por falta de limpieza en la junta. El electrodo puede calentarse demasiado por una excesiva intensidad de corriente que provoca el despegue del revestimiento. Durante la operación de soldadura se puede crear este defecto por excesiva longitud del arco.

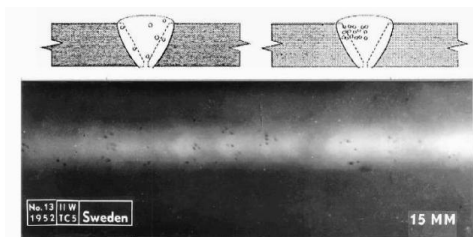


Figura 28. Defecto de porosidad presente en la radiografía.

La fuente de esta y demás imágenes de rayos X para soldadura fueron obtenidas de: OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE SOLDADURA. Ensayos no destructivos.

Inclusiones sólidas de escorias: Estos defectos debido a su baja permeabilidad, debilitan enérgicamente los rayos X, dando unas impresiones inciertas, irregulares y desdibujadas. En algunos casos aparecen alineadas. La importancia del defecto depende del tamaño de la inclusión y la distancia que existe entre ellas, ya que si están próximas, la resistencia del material se reduce mucho. Dado que las escorias provienen del revestimiento y no tienen las propiedades mecánicas del metal base. Las causas de estas apariciones son la falta de limpieza de los cordones en soldaduras en varias pasadas, cordones mal distribuidos, inclinación incorrecta del electrodo y baja intensidad de corriente en el electrodo.

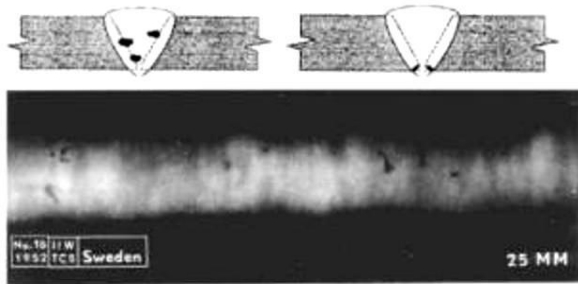


Figura 29. Defecto de escoria presente en la radiografía.

Fisuras o micro grietas: Pueden ocurrir longitudinalmente o transversalmente. Aparecen en la placa como líneas oscuras, onduladas, de grueso variable y ramificadas. Las grietas más peligrosas son las superficiales y orientadas en la dirección perpendicular a la de máxima sollicitación del material. Este defecto inhabilita la soldadura. Puede ser a causa del metal base por excesiva rigidez de la pieza, se da en aceros con excesivo contenido en C, Mn, S, P-: El electrodo puede influir cuando el material de aportación es inapropiado para el metal base que se está soldando. En la operación de soldadura ocurre por enfriamiento demasiado rápido del metal depositado, por insuficiente precalentamiento de la pieza, o por causas externas al proceso de soldadura.

Falta de penetración: Forma impresiones longitudinales en el centro y a lo largo de la soldadura. El espacio interno no ocupado por el metal de aportación, es origen de fuertes tensiones, además de resultar un lugar idóneo para que se inicien procesos de corrosión localizada. Sus causas más frecuentes son separación de bordes incorrecta; diámetro del electrodo demasiado grueso, excesiva velocidad de avance del electrodo, baja intensidad de corriente de soldadura.

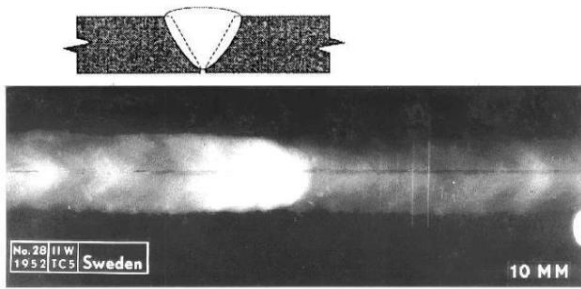


Figura 30. Defecto de falta de penetración presente en la radiografía.

Falta de fusión o despegó: Resulta parecida a las inclusiones de escorias pero alineadas que aparecen como imágenes oscuras de trazo rectilíneo y forma uniforme. La causa física de este tipo de defectos es que no se alcanza la temperatura adecuada para la fusión del metal de aporte con el metal base y por tanto no se consigue el proceso metalúrgico de soldar, quedando afectada la unión. Puede ser causa iniciadora de fisuras que terminen en rotura. Causas: Metal Base: Defectuosa preparación de los bordes; Operación de soldadura: Excesiva velocidad de avance del electrodo, o arco demasiado largo o intensidad muy débil.

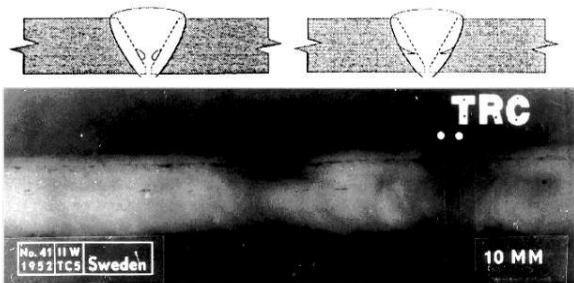


Figura 31. Defecto de falta de despegó presente en la radiografía.

Mordeduras: Forman sobre la placa sombras oscuras a los lados de la costura de trazo rectilíneo y ancho uniforme. Este defecto produce una entalla física que puede dar origen a roturas. Las causas más comunes en el electrodo son cuando este es demasiado grueso, la inclinación inadecuada del electrodo, excesiva intensidad de corriente al soldar

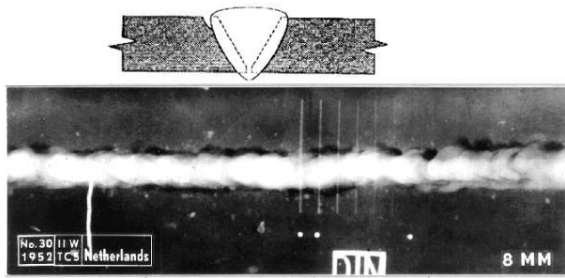


Figura 32. Defecto de mordedura presente en la radiografía.

Exceso de penetración: Forma sobre la placa sombras más blancas longitudinalmente y centradas en la costura. Es el defecto contrario a la falta de penetración y puede ser muy grave cuando circula un líquido por el interior de un tubo y puede chocar con el exceso de metal del descuelgue. Las causas ocurren por separación del borde excesiva, intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz, velocidad muy pequeña de avance de la junta o mal diseño del electrodo

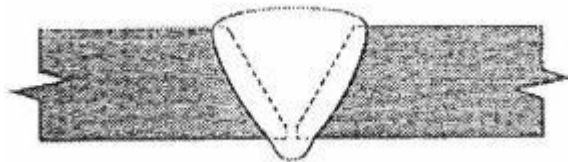


Figura 33. Simbología del exceso de penetración

5) ULTRASONIDO (UT) para soldaduras

El ensayo de ultrasonidos es un método de ensayo no destructivo que se basa en el uso de una onda acústica de alta frecuencia, no perceptible por el oído humano, que se transmite a través de un medio físico, para la detección de discontinuidades internas y superficiales o para medir el espesor de paredes. Para llevarlo a cabo se utiliza un material piezoeléctrico insertado dentro de un palpador. Ese cristal piezoeléctrico transmite a la pieza una onda ultrasónica que se propaga a través de la pieza. Al incidir con una superficie límite, ya sea una discontinuidad o el borde de una pieza, tiene lugar la reflexión de la onda. La onda reflejada es detectada por el mismo cristal, originando una señal eléctrica que es amplificada e interpretado en forma de eco por el equipo de medida. La posición de este eco en la pantalla del equipo es proporcional al tiempo de retorno de la señal y al espacio recorrido por la señal hasta la superficie límite.

Las ondas ultrasónicas que se propagan a través de un cuerpo elástico pueden ser de 3 tipos:

Las ondas longitudinales son ondas cuyas partículas oscilan en la dirección de propagación de la onda pudiendo ser transmitidas en sólidos, líquidos o gases.

Las ondas transversales son aquellas ondas cuyas partículas vibran en dirección perpendicular a la de propagación pudiendo ser transmitidas solamente en sólidos.

Las ondas de superficie o de Rayleigh son ondas transversales que se propagan solamente en la superficie de cuerpos elásticos.

El equipo necesario para llevar a cabo una inspección por ultrasonidos está compuesto por un equipo generador y receptor de impulsos. Existe una gran variedad de equipos dada la amplia diversidad de aplicaciones de los ultrasonidos, pero todos ellos disponen de unos circuitos electrónicos especiales que permiten transmitir al cristal piezoeléctrico una serie de pulsos eléctricos controlados transformados por él mismo en ondas ultrasónicas. Estas señales captadas por el cristal se muestran en una pantalla, en forma de pulsos luminosos (ecos) que deben ser regulados tanto en amplitud como en posición para poder ser interpretados como registro de las discontinuidades.

También los palpadores que están constituidos por un cristal piezoeléctrico insertado en una montura metálica con una parte libre protegida por una membrana de caucho o una resina especial. En la actualidad existe una gran variedad de palpadores, debido a la gran diversidad de técnicas operatorias, entre los que se pueden encontrar están los palpadores por incidencia normal que emiten un impulso ultrasónico que atraviesa el material reflejándose en las superficies límite y generando los ecos. Este tipo de palpadores se emplean en la inspección de piezas con superficies paralelas o para la detección de discontinuidades perpendiculares a la superficie de la pieza. Los palpadores de incidencia angular consisten en un oscilador de ondas longitudinales aplicado a una de las caras de un prisma de plástico, tallado con un ángulo de incidencia adecuado al ángulo de refracción o de penetración que se desee para un determinado material. Se emplean para la inspección de soldaduras y cuando la discontinuidad tiene una orientación perpendicular a la superficie de la pieza.

Los palpadores de doble cristal son palpadores constituidos por dos cristales aislados acústica y eléctricamente de forma que uno de ellos actúa como emisor y el otro como receptor, resolviendo el problema de la zona muerta que presentan los palpadores de un solo cristal. De esta forma es posible la detección de discontinuidades próximas a la superficie de inspección.

Los palpadores "Phases Array" tienen una tecnología especial en la que en un mismo palpador operan decenas de pequeños cristales (de 10 a 256 elementos), cada uno de ellos ligado a un circuito propio capaz de controlar el tiempo de

excitación de forma independiente. El resultado es la modificación del comportamiento del conjunto de ondas sónicas emitidas por el palpador. Por último los palpadores TOFD se trata de una tecnología en desarrollo que emplea palpadores de ondas longitudinales para medir la difracción de los indicadores o defectos, por ejemplo en una soldadura. En conclusión la ventaja además, representar imágenes a colores y de corte transversal de la soldadura para simplificar la interpretación de los resultados. Asimismo, la posibilidad de controlar la angulación y el enfoque dinámico de los haces mejoran la resolución en aplicaciones difíciles. Por si esto fuera poco. El ensayo se realiza calibrando inicialmente el equipo de acuerdo con la pieza. Posteriormente se realiza una preparación de la superficie con el propósito de garantizar un acople perfecto entre el palpador y la pieza. Se cubre la superficie a inspeccionar con el acoplante y el aparato inmediatamente interpreta las inconformidades detectadas y se puede realizar la anotación de los resultados obtenidos y elaborar un informe.

El acoplante es un medio que se interpone entre el palpador y la superficie de la pieza a inspeccionar para mejorar el acoplamiento acústico de forma que la onda generada y la recepcionada por el palpador sufran la menor pérdida de energía posible.

Los ensayos no destructivos son un método ampliamente utilizado para asegurar la integridad de Los ensayos por ultrasonidos efectuados con un detector de defectos portátil y un palpador angular es la manera más usada en la inspección de soldaduras; además, es obligatorio según muchas normas y procedimientos de soldadura. En la industria automotriz, generalmente, la soldadura por puntos es verificada utilizando detectores de defectos y una variedad de pequeños palpadores especializados.

Los ensayos no destructivos de ultrasonidos pueden realizarse según diferentes métodos o técnicas dependiendo de las características geométricas y estructurales de los defectos más probables. Las principales técnicas o métodos son el método del impulso eco. Esta es es un único palpador el responsable de emitir y recibir la onda ultrasónica que se propaga a través del material, lo que permite determinar la profundidad y dimensión de la discontinuidad así como su localización en la pieza. Esta técnica de ensayo es la más utilizada en la práctica por su utilidad y sencillez de aplicación e interpretación.

El método de transparencia o de sombra en donde se emplean dos palpadores, uno emitiendo y otro recibiendo la onda ultrasónica, por lo que es necesario que estén perfectamente alineados. Este método no permite determinar la profundidad, dimensión ni localización de la discontinuidad, siendo solamente un ensayo de control de calidad.

Finalmente el ensayo de inmersión donde el acople acústico entre el palpador y la pieza se realiza a través de un camino previo en agua. En estos casos el eco de superficie se encuentra separado del impulso inicial una distancia que depende de este camino previo en agua que han de recorrer los impulsos.

Las ventajas de este tipo de ensayo son que permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales, pues tiene alta capacidad de penetración, lo que permite detectar discontinuidades a gran profundidad del material. Su nivel de precisión permite determinar el tamaño de la heterogeneidad, su localización y su orientación. Solo se requiere acceso por un lado del material a inspeccionar y el equipo portátil puede automatizarse y registrar permanente los datos a manera de gráficos permitiendo conocer los resultados inmediatamente.

En cuanto a las limitaciones de esta técnica son que localiza mejor aquellas discontinuidades que son perpendiculares al haz del sonido y está limitado por la geometría, espesor y acabado superficial de las piezas a inspeccionar. Para quienes deseen realizar este tipo de ensayo deben contar con personal con mucha experiencia, pues la interpretación de las indicaciones requiere mucho entrenamiento por parte del operador y el equipo puede tener un coste elevado dependiendo del nivel de sensibilidad y sofisticación requerido.

Puede existir una dificultad de inspección en partes soldadas de material delgado, lo que hace difíciles de inspeccionar. Tampoco presenta buena difusión en materiales de grano grueso como en las soldaduras, por eso requiere pulirse muy bien.

CONCLUSIONES:

- Los ensayos no destructivos permiten conocer con anterioridad a que una pieza falle, los posibles defectos e imperfecciones presentes.
- La importancia y gran ventaja de los ensayos no destructivos es que permiten realizar las pruebas sin deteriorar ni maltratar la pieza y arrojando información valiosa de su estado.
- Dentro de la soldadura se practican mucho este tipo de pruebas, ya que permiten evaluar de manera muy precisa los acabados superficiales y subsuperficiales y encontrar los defectos en el procedimiento.
- Los ensayos no destructivos requieren personal calificado y con experiencia, pues no es posible realizar estas pruebas únicamente teniendo disponibilidad de los equipos.

- <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=54>
- <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=54>
- <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=54>
- <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=55>
- <http://es.scribd.com/doc/48175633/Ensayos-No-destructivos>
- <http://www.aireyespacio.com/2009/09/clasificacion-de-los-ensayos-no.html>
- <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=50>
- <http://www.youtube.com/watch?v=1Pq4CvYv1cg>
- <http://www.youtube.com/watch?v=gRupPiluL3k>
- <http://www.youtube.com/watch?v=GF4qUSoqpn8>
- <http://prezi.com/crutuliaanyd/pruebas-no-destructivas-hermaticidad/>
- <http://es.prmob.net/est%C3%A1tica-de-fluidos/presi%C3%B3n/ensayos-no-destructivos-2009592.html>
- ASOCIACION DE PROFESIONALES DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. Ensayos no destructivos. [http://www.aprenda.org.ar/normas_end.htm]
- OBSERVATORIO TECNOLOGICO DE SOLDADURA. Ensayos no destructivos. [http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=181&Itemid=31]
- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS LHQO. Propósito de un programa efectivo de control de calidad [<http://www.eac2009.com.co/files/Ensayos%20no%20destructivos%20LHQO.pdf>]
- ASOCIACION URUGUAYA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. La calidad en la soldadura. [<http://www.aendur.ancap.com.uy/boletin/CaliSolda.pdf>]
- http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/lsoriano/fotos.htm
- <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>