



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS “NDT”

MONOGRAFÍA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO INDUSTRIAL**

P R E S E N T A

HUGO ALBERTO SÁNCHEZ AMADOR

DIRECTOR:

Ing. Adrian Meneses Figueroa

Pachuca, Hgo. Mayo 2009

AGRADECIMIENTOS

Durante el proceso de elaboración del presente trabajo, fue posible abundarlo con cursos, practicas e importantes comentarios de compañeros que se desenvuelven en el ámbito de las pruebas no destructivas, agradezco a el Ingeniero Jesús Coronilla Valdez (Instructor nivel III ASNT 95645), de igual manera, agradezco a el Ingeniero Adrián Meneses Figueroa quien me proporciono las bases para la elaboración de este proyecto de titulación. También doy gracias a importantes personas que creyeron en mi como mi familia padres y hermanos, amigos, pero sobre todo a una gran mujer la cual le dedico este trabajo que aunque ya no está entre nosotros fue y será muy importante en mi vida tanto laboral como social, QEPD “Margarita Núñez Martínez”. Una Mujer la cual en su momento me ayudo y es muy importante en mi vida, si a ti te doy gracias por todo este apoyo. Por último, doy gracias a dios por todo este tiempo que me ha permitido elaborar y llevar acabo mis actividades cotidianas.

**ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS
“NDT”**

INDICE

Pagina

Introducción.....	1
Definiciones.....	3
Justificación.....	6
VISUAL	7
LIQUIDOS PENETRANTES.....	10
Definición.....	10
Clasificación de penetrantes.....	11
Propiedades físicas de penetrantes.....	13
Reveladores y Emulsificadores.....	15
Reveladores.....	16
Requisitos de la Inspección por Líquidos Penetrantes.....	23
Aplicaciones.....	24
Métodos de aplicación.....	25
Inspección.....	27
Ventajas y Limitaciones.....	28
PARTICULAS MAGNETICAS.....	29
Definición.....	29
Requisitos de la Inspección por Partículas Magnéticas.....	30
Secuencia de Inspección y Corriente de Magnetización.....	31
Aplicaciones.....	33
Ventajas y Limitaciones.....	34

RADIOGRAFIA.....	35
Definición.....	35
Requisitos y Secuencia.....	39
Aplicaciones	41
Ventajas y Limitaciones.....	42
ULTRASONIDO.....	43
Definición.....	43
Onda Ultrasónica.....	45
Modos de Onda.....	47
Requisitos y secuencia de la Inspección por Ultrasonido Industrial.....	48
Ventajas y Limitaciones.....	53
CORRIENTES INDUCIDAS (EDDY CURRENT).....	54
Definición.....	54
Aplicación	57
Objetivos	57
Principios	58
Ventajas y Limitaciones.....	61
GLOSARIO.....	62
TABLAS.....	63
BIBLIOGRAFIA.....	65

INTRODUCCION

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.

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.)

DEFINICIÓN

¿Qué son las pruebas no destructivas o ensayos no destructivos?

La aplicación de métodos físicos indirectos como la transmisión del sonido, la opacidad al paso de la radiación, etc., y tienen la finalidad de verificar la sanidad de las piezas examinadas.

Por definición una prueba no destructiva es la prueba que se realiza a un material para determinar si existen discontinuidades en su configuración, interna o superficial, sin intervenir en forma alguna con la integridad del material y sin afectar su utilidad futura.

Las pruebas no destructivas no son solo métodos para rechazar material que no cumpla con un criterio de aceptación; si no que es también un método para asegurar que “lo supuestamente bueno es bueno”. La técnica utiliza una gran variedad de principios, no existe un método único con el cual se pueda crear una “caja negra” para satisfacer todos los requerimientos en todas las circunstancias.

Los Ensayos No Destructivos, **END** o pruebas no destructivas **PND** (**NDT** en inglés), son un campo de la ingeniería que se desarrolla rápidamente. Las técnicas como la digitalización de imágenes, la radiografía por neutrones, el electromagnetismo o la emisión acústica, que eran relativamente desconocidas hasta hace pocos años, se han convertido en herramientas de uso cotidiano en las industrias que desean mantenerse en la vanguardia del mercado ofreciendo calidad en sus productos.

Las actividades que revisten mayor importancia para los fines de esta introducción son las pruebas e inspecciones que normalmente se practican a los materiales y que se pueden dividir de diferentes formas. Una de las clasificaciones más usuales es la siguiente:

- Pruebas Destructivas (**PD**).
- Pruebas No Destructivas (**PND**).

PRUEBAS DESTRUCTIVAS:

El objetivo principal de las pruebas destructivas es determinar cuantitativamente el valor de ciertas propiedades de los materiales, como resistencia mecánica, la tenacidad o la dureza. La ejecución de las pruebas destructivas involucra el daño del material, la destrucción de la probeta o la pieza empleada en la determinación correspondiente, por lo que se puede concluir que los ensayos destructivos son la aplicación de métodos físicos directos que alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material, parte o componente sujeto a inspección.

Este tipo de pruebas siempre ha sido necesario para comprobar si las características de un material cumplen con lo especificado durante el diseño. Debe observarse que estas pruebas no se pueden aplicar a todas las partes o componentes, ya que serían destruidos y perderían su utilidad.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS:

Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los productos o los requisitos de seguridad, como es en la industria aeroespacial, la núcleo eléctrica o la petroquímica, impusieron también nuevas condiciones de inspección, en las cuales se estableció la necesidad de verificar hasta en un 100% los componentes críticos, lo que planteó una severa dificultad a los departamentos de calidad, hasta que iniciaron el empleo de otras técnicas de inspección, diferentes a la visual, con las cuales se medía la integridad de los componentes sin destruirlos. Esto fue posible al medir alguna otra propiedad física del material y que estuviera relacionada con las características críticas del componente sujeto a inspección; es decir, se inició la aplicación de las pruebas no destructivas.

Las pruebas no destructivas **PND** son la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la **opacidad** al paso de la radiación, etc., y que tienen la finalidad de verificar la sanidad de las piezas examinadas. No obstante, cuando se aplica este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas, sino verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo tanto, estas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos, sino que más bien los complementan.

JUSTIFICACIÓN:

Ensayos No Destructivos (END) - Non destructive Testing (NDT)

Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. Por ello no inutilizan las piezas que son sometidas a los ensayos y tampoco afectan de forma permanente las propiedades de los materiales que las componen.

El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas.

Los materiales que se pueden inspeccionar son muy diversos, entre metálicos y no - metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones.

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.

Inspectores calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) según los requisitos de la Práctica Recomendada.

Todos nuestros procedimientos de ensayo son aprobados y firmados por un Nivel III calificado por la ASNT, según la técnica requerida.

Y de acuerdo con su aplicación, los Ensayos no Destructivos (nombre más comúnmente usado para las pruebas no destructivas) se dividen en:

- Técnicas de Inspección Superficial.
- Técnicas de Inspección Volumétrica.
- Técnicas de Inspección de la Integridad o hermeticidad.

VISUAL:

La Inspección Visual es de los métodos No-Destructivos el más importante y el más usado. Es fácil de realizar, rápido, barato, no se requiere de equipo especial y proporciona información muy importante con respecto a la concordancia general de la soldadura de acuerdo a las normas.

La práctica de la Inspección Visual, se realiza antes, durante y después de soldar. El inspector debe de estar familiarizado con los documentos aplicables al caso, a los estándares de manufactura y a todas las fases de las prácticas de taller.

Por lo general para realizar la Inspección Visual, el inspector se auxilia de una lámpara de mano, una lupa, espejos pequeños y calibradores adecuados.



Inspección visual de soldadura

La Inspección Visual en el pre-soldado empieza con el material a soldarse, en donde cualquier condición superficial dañina deberá detectarse; las laminaciones serias en placa se pueden detectar sobre las orillas que han sido cortadas, las dimensiones de las partes a soldarse se deberán verificar y en general se debe considerar lo siguiente antes de soldar:

1. La preparación de la junta, dimensiones y acabados.
2. La separación y dimensiones del anillo o placa de respaldo.
3. Alineación y posicionamiento de las piezas a soldarse.
4. Verificación de la limpieza.



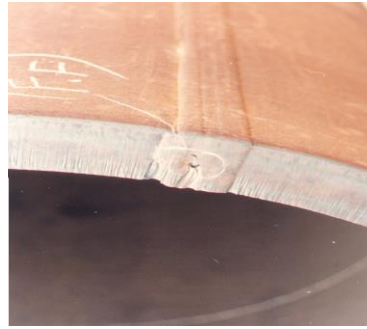
Inspección Visual en el pre-soldado

La Inspección Visual durante la ejecución de los cordones de soldadura, comprende la verificación de los siguientes puntos:

1. El proceso de soldadura.
2. Limpieza.
3. Precalentamiento y temperatura entre pasos.
4. Preparación de la junta.
5. El metal de aporte.
6. El fundente o gas de protección.
7. Pulido, desbaste, etc.
8. Control de la distorsión.
9. Tratamiento térmico.

La Inspección Visual después de soldar, comprende lo siguiente:

1. La precisión dimensional de la pieza soldada.
2. La concordancia con los requerimientos de dibujo.
3. Aceptación de las soldaduras con respecto a su apariencia.
4. La presencia de socavaciones, roturas, traslapes, etc.
5. Evidencia de pulido excesivo, mal manejo o algunas otras marcas.



Inspección Visual después de soldar

Otra parte muy importante de la Inspección Visual, es el marcado correcto de las áreas a repararse, que deberá de ser:

1. Positivo y claro.
2. De acuerdo con el método establecido y entendible por todos los inspectores y por el personal encargado de las reparaciones.
3. De un color distintivo de tal manera que no se confunda con otras marcas.
4. Suficientemente permanente hasta después de que la inspección se realice e inspeccione nuevamente.

En conclusión se puede asegurar, que si el inspector sabe que el metal base está libre de laminaciones, que la preparación del bisel es la correcta, que las dimensiones de la raíz son las adecuadas, que el cordón de fondeo se ejecutó correctamente, que el soldador es calificado y el procedimiento de soldadura se ha seguido cuidadosamente, se podrá juzgar seguramente la totalidad de la unión soldada, con base en los resultados de la Inspección Visual.

LIQUIDOS PENETRANTES (PT):

Los Líquidos Penetrantes pueden ser definidos como:

“Un procedimiento de inspección no destructiva diseñado para detectar y exponer discontinuidades superficiales en materiales de ingeniería”

Es una de las primeras pruebas no destructivas considerada para inspección de productos en la industria, gracias a que:

- Su costo es bastante económico
- Puede aplicarse en gran variedad de materiales, objetos, formas, tamaños, ubicaciones y condiciones del medio ambiente

El ensayo por líquidos penetrantes es un método desarrollado especialmente para la detección de discontinuidades esencialmente superficiales, y que estén abiertas a la superficie. Se presta para detectar discontinuidades como grietas y poros. Es muy utilizado en materiales no magnéticos como aluminio, magnesio, aceros inoxidable austeníticos, aleaciones de titanio y zirconio, también materiales magnéticos. Es aplicado en cerámicas vitrificadas, vidrios y plásticos

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido (limpiador) el cual su función es la de mantener la superficie a examinar libre de impurezas, un líquido (penetrante) coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox.), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

Clasificación de penetrantes:

Por sensibilidad:

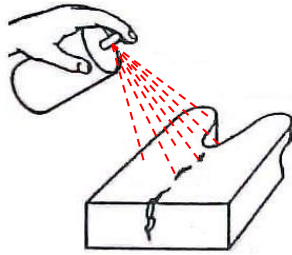
- GRUPO I** —————> Penetrante con tinte visible removible con solvente.
- GRUPO II** —————> Penetrante con tinte visible post-Emulsificable.
- GRUPO III** —————> Penetrante con tinte visible lavable con agua.
- GRUPO IV** —————> Penetrante con tinte fluorescente lavable con agua (Baja sensibilidad).
- GRUPO V** —————> Penetrante con tinte fluorescente post-Emulsificable (Media sensibilidad)
- GRUPO VI** —————> Penetrante con tinte fluorescente post-Emulsificable (Alta sensibilidad)
- GRUPO VII** —————> Juego de penetrante con tinte fluorescente removible con solvente (consiste de penetrante del Grupo VI, solvente y un revelador húmedo en suspensión no acuosa)

Por tipo de tinte:

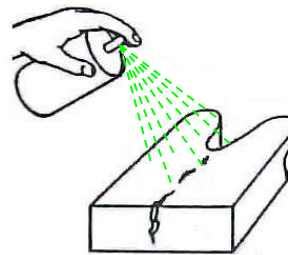
El penetrante debe ser visible después de haber entrado y subsecuentemente haber salido de una discontinuidad

Para cumplir con esto, se agrega un tinte al penetrante, para proporcionar un color que contraste con el fondo.

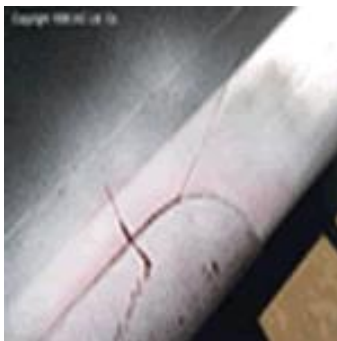
1. Penetrantes con tinte visible (color contrastante).
2. Penetrantes con tinte fluorescente (brillantez contrastante).



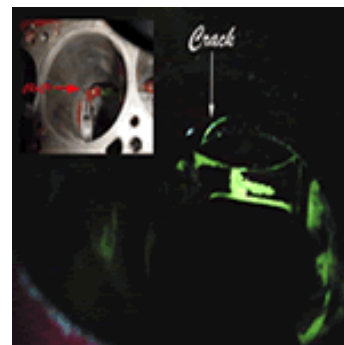
Coloridos



Fluorescentes



Coloridos



Fluorescentes

PROPIEDADES FISICAS DE LOS PENETRANTES

La habilidad de un material penetrante para penetrar, es función de las propiedades del líquido o vehículo del penetrante.

- Viscosidad
- Adhesión
- Cohesión
- Humectabilidad
- Ángulo de contacto
- Tensión superficial
- Gravedad específica
- Volatilidad
- Flamabilidad
- Actividad química

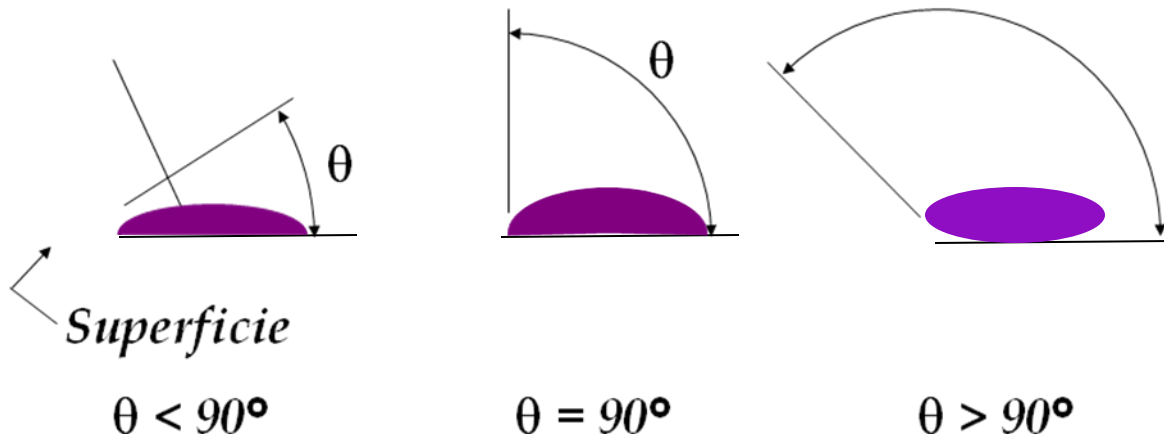
Viscosidad: Propiedad de los líquidos de oponerse al flujo, debido a la fricción molecular o interna, y como efecto combinado de la adhesión y la cohesión. Depende de la temperatura y composición de la mezcla. La viscosidad determina la velocidad de penetración.

Adhesión: Fuerza de atracción entre moléculas de sustancias diferentes.

Cohesión: Fuerza que mantiene a las moléculas de un líquido a distancias cercanas unas de otras.

Humectabilidad: Propiedad de los líquidos de “mojar” la superficie de un sólido. Afecta las características de penetrabilidad y sangrado del penetrante. Es controlada por el ángulo de contacto y la tensión superficial.

Ángulo de contacto (θ): Corresponde al ángulo de contacto en la interfase líquido–sólido. Se considera que cualquier combinación penetrante–material que produzca un ángulo de contacto de 5° o menor producirá resultados satisfactorios durante una inspección.



Tensión superficial: El trabajo que un líquido debe realizar para llevar moléculas en número suficiente hasta su superficie, para crear una nueva unidad de superficie. Es la fuerza que se opone a la deformación de una gota de un líquido.

Gravedad específica: Comparación entre la densidad de un penetrante y la densidad del agua destilada a 4°C . El penetrante debe tener una gravedad específica menor que 1 para asegurar que el agua no flote por arriba del penetrante.

Volatilidad: Propiedad de los líquidos de convertirse en vapor, definida por la presión de vapor y el punto de ebullición de un líquido.

Flamabilidad: Capacidad de algunos líquidos de producir flama, de incendiarse. Se relaciona principalmente con el punto de inflamación (flashpoint), que corresponde a la temperatura más baja a la cual un líquido desprende vapores sobre su superficie, suficientes para producir la combustión.

Especificaciones requieren una temperatura mínima del punto de inflamación de 51.6 °C (125 °F), y los fabricantes consideran 57.2 °C (135 °F) como la temperatura mínima.

Actividad química: Penetrantes que contienen cloro, flúor o azufre son frecuentemente restringidos para usarse en aceros austeníticos, aleaciones de titanio y aceros con alto contenido de níquel. Esto se debe a que esos elementos son químicamente muy activos y se pueden combinar y reaccionar fácilmente con otras sustancias, lo cual puede producir fragilidad del material y agrietamiento. El contenido residual de estos elementos está restringido al 1% en peso (de acuerdo a ASTM E-165).

REVELADORES Y EMUSIFICADORES

Emulsificadores

Su función es hacer al penetrante lavable con agua.

Existen dos opciones disponibles:

1. Emulsificadores lipofílicos: Son un tipo de jabón líquido, base aceite, mezclados con ciertos constituyentes que les proporcionan algunas propiedades. Una de estas es el color, para que contraste con el color del penetrante y muestre que todo el penetrante sobre la superficie ha sido cubierto por él.

Debe difundirse o interactuar con el penetrante a una velocidad un poco lenta para permitir su manejo durante el proceso y proporcionar el tiempo necesario para controlar el lavado.

Los emulsificadores lipofílicos tienen tres propiedades que deben ser balanceadas para asegurar sus características de lavado: (1) actividad, (2) viscosidad, y (3) tolerancia al agua.

2. Emulsificadores hidrofílicos: Agentes tenso-activos o detergentes. La palabra “hidrofílico” significa afecto o soluble en agua.

Tienen tolerancia infinita al agua y son suministrados como concentrados que deben mezclarse con agua para obtener la dilución deseada. Para diferentes aplicaciones son usadas diferentes diluciones.

Una ventaja es el rango amplio de tiempos de emulsificación, por lo que se tiene menos dependencia en el control del tiempo.

REVELADORES

La mayoría de procedimientos requieren el uso de revelador, pero existe la posibilidad de no usarlos.

El propósito principal de un revelador es formar una indicación que sea detectada a simple vista, para lo cual realiza cuatro funciones básicas:

- Extraer una cantidad suficiente de penetrante para formar una indicación.
- Expandir el ancho de la indicación lo suficiente para hacerla visible.
- Incrementar la brillantez del tinte fluorescente.
- Incrementar el espesor de la indicación

El primer requisito del revelador para que cumpla con las cuatro funciones es su habilidad para adherirse a la superficie, y la rugosidad de la pieza influye en la adhesión del revelador.

Mecanismo de revelado:

El revelado se lleva a cabo por:

Calor: Expande el penetrante y reduce su viscosidad para ayudar en la función de revelado.

Acción capilar: El revelador proporciona un recubrimiento poroso con muchos caminos para la acción capilar del penetrante, actúa como papel secante que extrae.

Todas las funciones del revelador son parcialmente completadas por acción capilar, la cual:

- a. Dispersa el penetrante lateralmente sobre la superficie, ensanchando la indicación.
- b. Expande el tinte en capas delgadas alrededor de las partículas del revelador para resaltar su brillantez.
- c. Trabaja verticalmente a través del revelador para incrementar el espesor del tinte.

Solventes

Los solventes del revelador en suspensión no acuosa y de película plástica disuelven el penetrante atrapado en las discontinuidades, actúan sobre el penetrante reduciendo su viscosidad y expandiendo su volumen, por lo cual, el penetrante fluye hacia la superficie, dentro del revelador, para formar una indicación por acción capilar.

Su función principal es remover el penetrante.

Son usados solventes de grado comercial y clorinados. También son usados como agente de limpieza para remover aceite, grasa y suciedad.

Los solventes de grado comercial son altamente inflamables por lo que no deben usarse cerca de flamas abiertas.

Los solventes remueven aceites naturales de la piel, por lo que se recomienda usar guantes cuando se tenga contacto prolongado.

Existen dos características de las indicaciones producidas por penetrantes que son grandemente controladas por los reveladores:

- **Sensibilidad:** Es la capacidad del revelador para formar una indicación con un volumen pequeño de penetrante atrapado.
- **Resolución:** Es la habilidad del revelador para mostrar dos o más indicaciones cercanas entre sí, sin formar una sola indicación grande.

Existen cinco tipos de reveladores usados:

- I. Polvo seco. Suspendido en agua (húmedo acuoso).
- II. Suspendido en solvente (húmedo no acuoso).
- III. Soluble en agua (solución acuosa).
- IV. Película plástica.
- V. Cada uno tiene diferentes características y procedimientos de aplicación.

Cada uno produce sensibilidad diferente usado con un mismo penetrante. Se ha establecido la sensibilidad de diferentes sistemas basándose en el tipo de revelador y su método de aplicación:

Sensibilidad	Tipo de revelador	Aplicación
Menor sensibilidad	1. Seco	Inmersión
	2. Seco	Nube
	3. Seco	Cama
	4. Seco	Nube
	5. Húmedo acuoso	Inmersión
	6. Soluble al agua	Inmersión
	7. Húmedo acuoso	Aspersión
	8. Soluble al agua	Aspersión
	9. Película plástica	Aspersión
Mayor sensibilidad	10. Húmedo no acuoso	Aspersión

Revelador Seco

Polvo ligero y suave, una mezcla de un tipo de talco y otros polvos; no es tóxico, de baja densidad y debe mantenerse seco.

En piezas con superficies rugosas no necesita estar en contacto durante largos periodos de tiempo.

Proporciona una película fina y delgada, siendo ventaja sobre los reveladores húmedos que dejan una capa continua de mayor espesor.

Limita el sangrado lateral y el tamaño de la indicación, lo que proporciona una mayor resolución que los reveladores húmedos.

Revelador Suspendido en Agua

Normalmente es suministrado como un polvo seco que debe ser mezclado con agua, también está disponible en mezclas preparadas.

Contiene tenso-activos que ayudan a humedecer la superficie de las piezas y a cubrirlas completamente. Además, contiene inhibidores de corrosión para proteger a las piezas, los tanques y el equipo para su aplicación. También, contiene un dispersante para reducir la aglomeración del polvo en suspensión.

Suministrado como un polvo cristalino.

Después que el agua se evapora el polvo vuelve a cristalizar, por lo que no contiene partículas suspendidas. Se les agrega agentes humectantes, inhibidores de corrosión y fungicidas para evitar la generación de bacterias.

Debe ser aplicado después del lavado y antes del secado. Se usa en una variedad de concentraciones y tiene buena adherencia superficial.

No se recomienda utilizar con penetrantes lavables con agua. Su aplicación es casi nula actualmente.

Revelador Suspendido en Solvente

Usado principalmente con penetrantes visibles para proporcionar un fondo uniforme de contraste blanco.

La alta volatilidad y flamabilidad del solvente en el que está suspendido el revelador requiere que sea suministrado en botes sellados, gracias a lo cual, es la selección natural para suministrarse en juegos de penetrantes portátiles.

La razón por la que cuenta con una alta sensibilidad es porque tiene una doble acción:

1. Reacciona con el penetrante en la discontinuidad diluyéndolo, reduciendo su viscosidad y expandiendo su volumen.
2. La acción del solvente esencialmente fuerza al penetrante hacia la capa de polvo lo cual proporciona muchos espacios capilares dentro de los cuales puede expandirse y, una vez iniciada, la acción capilar continúa extrayendo el penetrante para formar una indicación.

Se suministra en botes aspersores o en barriles.

Debido a la flamabilidad y rápida evaporación del solvente no es práctico o económico almacenarlo o usarlo en tanques abiertos.

Contiene agentes tenso-activos para ayudar en la adherencia con las superficies de las piezas inspeccionadas.

Se le agregan dispersantes para evitar la aglomeración del polvo.

Revelador de película plástica

Consiste de una laca clara o resina, y es usado para aplicaciones con penetrantes visibles.

El mecanismo efectivo de la acción del revelador se cree que es porque el penetrante es disuelto en la película plástica debido a la acción del solvente que es altamente volátil y evapora en segundos.

Este revelador no proporciona acción capilar, esencialmente fija la indicación como una línea fina con poco sangrado dentro de la propia película.

Su sensibilidad y resolución son muy altas; sin embargo, es muy caro y no es práctico usarlo en piezas grandes.

Sus desventajas incluyen el costo alto y la necesidad de técnicas de aplicación especiales, además, su remoción es costosa debido a que debe ser removido con solventes especiales.

Para los efectos del método de inspección por líquidos penetrantes, el penetrante líquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio que se exponga ante él. Sin embargo, se requiere mucho más que la habilidad de esparcirse y penetrar para que realice una buena función. El penetrante ideal para fines de inspección deberá reunir las siguientes características:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Habilidad para permanecer en aberturas amplias.
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- Resistencia a la evaporación.
- De fácil remoción de la superficie.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- Atoxico, inodoro, no corrosivo, anti inflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

Para cumplir los requisitos anteriores, deberán combinarse diferentes ingredientes que posean adecuadas propiedades, entre las cuales las más importantes son la tensión superficial, el poder humectante, la viscosidad, volatilidad, tolerancia a la contaminación, gravedad específica, punto de inflamación, inactividad química y capacidad de disolución. En cuanto a estas propiedades se tendrá:

Tensión superficial: es una de las propiedades más importantes. Se requiere una tensión superficial baja para obtener buenas propiedades de penetración y mojado.

Poder humectante: el penetrador debe ser capaz de mojar completamente la superficie del material y es una de las propiedades más importantes. Esto se refiere al ángulo de contacto del líquido con la superficie, el cual debe ser lo más bajo posible.

Viscosidad: Esta propiedad no produce efecto alguno en la habilidad de un líquido para “penetrar”, aunque afecta la velocidad de penetración. Los penetrantes de alta viscosidad penetran lentamente, en tanto que los de baja viscosidad se escurren muy rápido y tiene la tendencia a no ser retenidos en los defectos de poca profundidad; por tanto se recomienda una viscosidad media.

Volatilidad: Los líquidos penetrantes no deben ser volátiles. Si existe una evaporación excesiva de los productos del penetrante, se verá afectada la sensibilidad de todo el proceso, debido tanto al desequilibrio de la fórmula, como a la pérdida del poder humectante.

Gravedad específica o densidad relativa: No juega un papel directo sobre el comportamiento de un penetrante dado; sin embargo, con densidades bajas se facilita el transporte y los materiales extraños tenderán a sedimentar en el fondo cuando se usan tanques abiertos. La mayoría de los líquidos penetrantes tienen densidades relativas que varían entre 0.86 y 1.06 a 16 °C, y por lo general la densidad es menor que 1.

Punto de inflamación: Como medida de seguridad práctica los líquidos penetrantes deberán poseer un punto de inflamación elevado con el fin de deducir los peligros de incendio. Generalmente el punto de inflamación es mayor de 95 °C, y en recipientes abiertos no debe ser menor de 65 °C.

Inactividad química: Los productos usados en la formulación de los líquidos penetrantes deben ser inertes y no corrosivos con respecto a los materiales a ser ensayados y a los recipientes que los contienen.

Capacidad de disolución: El penetrante debe tener una elevada capacidad para contener grandes concentraciones de los pigmentos coloreados o fluorescentes usados, y para mantener dichos componentes en solución.

REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES.

Antes de iniciar las pruebas de Líquidos Penetrantes, es conveniente tener en cuenta la siguiente información:

1. Es muy importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar, ya que si son relativamente grandes o se quiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles; pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible emplear los penetrantes fluorescentes.
2. Otro factor de selección es la condición de la superficie a inspeccionar; ya que si es una superficie rugosa o burda, como sería el caso de una unión soldada o una pieza fundida, se debe emplear un penetrante líquido removible con agua. Pero si la superficie es tersa y pulida, es preferible emplear un penetrante removible con solvente. Finalmente cuando se requiere una inspección de alta calidad o con problemas de sensibilidad, se puede emplear un penetrante post-Emulsificable.
3. Si el material a examinar es acero inoxidable, titanio o aluminio (para componentes aeronáuticos, por ejemplo) o aleaciones de níquel (monel), entonces los penetrantes deberán tener un control muy rígido de contaminantes, como son los compuestos halogenados (derivados del flúor, cloro, bromo, iodo) o de azufre (sulfatos o sulfuros), ya que si quedan residuos de ellos, pueden ocasionar fracturas o fragilidad del material. Todos los proveedores de productos de alta calidad proporcionan un certificado de pureza de sus productos sin cargo adicional.

4. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Belí, Pran & Whitney o GE), los líquidos deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellos. En caso necesario, se solicitará al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías cubren sus productos.

Una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deberán mezclar sus productos; como por ejemplo, emplear el revelador del proveedor A con un penetrante del proveedor B o un penetrante de una sensibilidad con un revelador de otra sensibilidad, aunque ambos sean fabricados por el mismo proveedor.

APLICACIONES.

Las aplicaciones de los Líquidos Penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde la inspección de piezas críticas, como los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

Muchas de las aplicaciones descritas son sobre metales, pero esto no es una limitante, ya que se pueden inspeccionar otros materiales, por ejemplo cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos, etc.

Una vez que la pieza se haya limpiado y secado debidamente, los penetrantes se aplican por inmersión, rociado, con un cepillo o brocha, vertiendo el líquido sobre la pieza o cualquier otro método que cubra completamente la zona que se inspecciona.

MÉTODOS DE APLICACIÓN

Las piezas a inspeccionar deben ser cubiertas completa y homogéneamente por el penetrante. En algunos casos puede que sea necesario cubrir solo un área pequeña en una pieza muy grande.

TIEMPO DE PENETRACIÓN

El tiempo de penetración es muy importante, corresponde al tiempo transcurrido desde la aplicación del penetrante hasta su remoción. El objetivo es que el penetrante llene las posibles discontinuidades en la superficie inspeccionada. Los tiempos de penetración son proporcionados en muchas fuentes, por ejemplo, especificaciones de contrato, normas.

REMOCIÓN DEL EXCESO DEL PENETRANTE

Después de transcurrido el tiempo de penetración el exceso de penetrante sobre la superficie inspeccionada debe ser removido. La remoción del exceso de penetrante es un paso crítico en el proceso de inspección, una remoción errónea puede producir malas interpretaciones o resultados incorrectos. Todo el penetrante de la superficie debe ser removido (incluyendo filetes, esquinas y huecos) sin que la remoción sea excesiva como para reducir o eliminar totalmente el penetrante atrapado en las discontinuidades. También, una remoción incompleta puede producir un contraste residual que puede interferir con una interpretación adecuada. Si el penetrante atrapado en irregularidades superficiales no es removido, formará un efecto de fondo visible o fluorescente que reduce el contraste, que puede ocultar indicaciones de discontinuidades significativas o que interfiera.

REVELADO

Durante la preparación de las piezas para la inspección es necesario sacarlas después de la aplicación del revelador húmedo o eliminar el agua remanente antes del uso del polvo revelador seco.

TIEMPO DE REVELADO

El revelador debe permanecer sobre la superficie de la pieza inspeccionada durante un periodo de tiempo antes de realizar la inspección, a este se le conoce como “tiempo de revelado”. El tiempo requerido para que una indicación sea revelada es inversamente proporcional al volumen de la discontinuidad. En una discontinuidad más grande el penetrante más rápidamente será extraído por el revelador, y al contrario, es importante permitir el tiempo suficiente para la aparición de indicaciones diminutas de discontinuidades finas.

Para usar el tiempo necesario para el revelado de indicaciones, como una medición de la extensión de la discontinuidad, deben controlarse las siguientes variables:

- Tipo de penetrante
- Sensibilidad de la técnica.
- Temperatura de la pieza.
- El tiempo de penetración.
- Las condiciones de la inspección

El tiempo de revelado inicia inmediatamente después de la aplicación del revelador seco y tan pronto como los reveladores húmedos (acuosos y no acuosos) se han secado.

El documento ASTM E-165 recomienda que el tiempo de revelado no sea menor de 10 minutos, y establece que el tiempo máximo de revelado permitido es de 2 horas para reveladores acuosos y de 1 hora para reveladores no acuosos.

INSPECCIÓN

Después de la aplicación del revelador comienza el proceso de inspección visual. El tiempo de revelado depende del tipo de penetración, del revelador y del defecto, pero deberá permitirse tiempo suficiente para que se formen las indicaciones. La inspección se realiza antes de que el penetrante comience a exudar sobre el revelador hasta el punto de ocasionar la pérdida de la definición y bajo condiciones de iluminación que sean compatibles con los colorantes de los penetrantes.

El proceso de inspección se compone de 3 etapas:

- a. Inspección
- b. Interpretación
- c. Evaluación

REGLA PRÁCTICA

El tiempo de revelado es generalmente la mitad del tiempo de penetración.

El tiempo de revelado nunca debe ser menor de siete minutos.

INDICACIONES NO RELEVANTES O FALSAS

Son verdaderas indicaciones de penetrante en la superficie de la pieza, causadas por discontinuidades que están generalmente presentes en el diseño.

Son el resultado de alguna forma de contaminación con penetrante, estas indicaciones no pueden referirse a ningún tipo de discontinuidad.

FINAL

La limpieza final debe llevarse a cabo en razón de que los productos usados en el ensayo pueden interferir con los procesos siguientes o tener efecto nocivo para las piezas en servicio.

VENTAJAS GENERALES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES.

- La inspección por Líquidos Penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
- La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.
- Son relativamente fáciles de emplear.
- Brindan muy buena sensibilidad.
- Son económicos.
- No requiere suministro de energía eléctrica.
- Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.
- Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.

LIMITACIONES GENERALES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES.

- Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.
- Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
- La inspección es difícil en superficies rugosas.
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.
- Los Inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.
- No se puede determinar la profundidad de las discontinuidades.
- Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.
- Es difícil quitarlo de roscas, ranuras, huecos escondidos y superficies ásperas.

PARTICULAS MAGNETICAS (MT):

Definición

La inspección por Partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales en materiales ferro magnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferro magnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce polos. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta. La figura 3 muestra el principio del método por Partículas Magnéticas.

Actualmente existen 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. En este caso, antes de seleccionar alguna de las variantes, es conveniente estudiar el tipo de piezas a inspeccionar, su cantidad, forma y peso, a fin de que el equipo a emplear sea lo más versátil posible; ya que con una sola máquina es posible efectuar al menos 16 de las variantes conocidas.

REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Antes de iniciar la inspección por Partículas Magnéticas, es conveniente tomar en cuenta los siguientes datos:

1. La planificación de este tipo de inspecciones se inicia al conocer cuál es la condición de la superficie del material y el tipo de discontinuidad a detectar. Así mismo deben conocerse las características metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar; ya que de esto dependerá el tipo de corriente, las partículas a emplear y, en caso necesario, el medio de eliminar el magnetismo residual que quede en la pieza.
2. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), las partículas a emplear 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.

Al igual que en el caso de los líquidos penetrantes, una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deben mezclar sus productos, como puede ser el caso de emplear las partículas del proveedor A con un agente humectante del proveedor B o las partículas de diferentes colores o granulometrías fabricadas por el mismo proveedor.

SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.

Es importante destacar que con este método sólo pueden detectarse las discontinuidades perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético. De acuerdo al tipo de magnetización, los campos inducidos son longitudinales o circulares. Además, la magnetización se genera o se induce, dependiendo de si la corriente atraviesa la pieza inspeccionada, o si ésta es colocada dentro del campo generado por un conductor adyacente.

CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN.

Se seleccionará en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades sub superficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y sub superficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que ésta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza, permitiendo la detección de discontinuidades por debajo de la superficie. Sin embargo, es probable que se susciten dificultades para desmagnetizar las piezas.

Magnetización lineal. - La forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo sólo se permite para la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tienen poca penetración.

Otra técnica de magnetización lineal es emplear una bobina (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina; problema que se elimina al enredar el cable de magnetización alrededor de la pieza. Entre mayor número de vueltas (espiras) tenga una bobina, presentará un mayor poder de magnetización.

Magnetización circular.- Cuando la pieza es de forma regular (cilíndrica), se puede emplear la técnica de cabezales, que produce magnetización circular y permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza. Una variante de esta técnica es emplear contactos en los extremos de la pieza, que permiten obtener resultados similares. Otra forma de provocar un magnetismo circular es emplear puntas de contacto, pero sólo se recomienda su empleo para piezas burdas o en proceso de semi-acabado.

Se deben utilizar puntas de contacto de aluminio, acero o plomo para evitar los depósitos de cobre, que pudieran iniciar puntos de corrosión. Esta técnica permite cierta movilidad con los puntos de inspección, pudiéndose reducir la distancia hasta 7 cm entre los polos o aumentarse hasta 20 cm, con lo cual es factible inspeccionar configuraciones relativamente complicadas.

Para la inspección de piezas con alta permeabilidad y baja retentividad, como es el caso de los aceros al carbono o sin tratamiento térmico de endurecimiento, es recomendada la técnica de magnetización continua; esto es, mantener el paso de la energía eléctrica mientras se efectúa la inspección. Cuando las piezas son de alta retentividad, se acostumbra emplear el campo residual (magnetismo residual). En este caso se hace pasar la corriente de magnetización y posteriormente se aplican las partículas.

Cualquiera que sea la técnica seleccionada, siempre se debe procurar que la inspección se realice con dos magnetizaciones aproximadamente perpendiculares entre sí; por ello, en la práctica es común combinar dos o más métodos.

APLICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS

Tipo de partículas: Por término general, se prefieren las partículas secas cuando se requiere detectar discontinuidades relativamente grandes. Las partículas en suspensión se emplean preferentemente para detectar discontinuidades muy pequeñas y cerradas.

Color de las partículas: Dependerá de contraste de fondo. De este modo se emplearán partículas de color oscuro (negras o azules) para piezas recién maquinadas y partículas de colores claros (grises o blancas) para piezas con superficies oscuras.

Las partículas de color rojo están en un punto intermedio y fueron desarrolladas para que su observación se facilite empleando una tinta de contraste blanco; esta tinta tiene un color y consistencia parecidos al del revelador no acuoso de los PT, pero con mayor poder de adherencia.

Cuando se desea una mayor sensibilidad en un método, es necesario emplear las partículas fluorescentes.

Las partículas se aplican conforme se realiza la inspección, para lo que existen dos prácticas comunes que son:

- Si se emplean partículas secas, primero se hace pasar la corriente de magnetización y al mismo tiempo se rocían las partículas.
- Si se emplean partículas en suspensión, primero se aplica la solución sobre la superficie a inspeccionar e inmediatamente se aplica la corriente de magnetización.

Generalmente se recomienda que la corriente de magnetización se mantenga durante el tiempo de aplicación de las partículas, ya que es cuando el campo magnético es más intenso y permite que las partículas sean atraídas hacia cualquier distorsión o fuga de campo, para así indicar la presencia de una posible discontinuidad.

VENTAJAS DE LA PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

Con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este método tiene las siguientes ventajas:

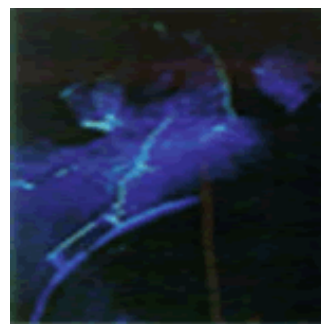
- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Generalmente es un método más rápido y económico.
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.
- Tiene una mayor cantidad de alternativas.

LIMITACIONES DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

- Son aplicables sólo en materiales ferro magnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.



Secas



Húmedas

RADIOGRAFIA (RT):

Definición

La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada. Esa variación en la cantidad de radiación absorbida, detectada mediante un medio, nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una falla interna o defecto en el material.

La radiografía industrial es entonces usada para detectar variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina, en otras palabras, la radiografía es un método capaz de detectar con buena sensibilidad defectos volumétricos.

El caso de la Radiografía Industrial, 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.

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.

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 desarrollos 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.
- Radiografía con rayos gamma.



Rayo-X



Gammagrafía

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 radioactivos 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.

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

1. Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
2. Controles de la fuente.
3. Película radiográfica.
4. Pantallas intensificadoras.
5. Indicadores de calidad de la imagen.
6. Accesorios.

REQUISITOS y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.

El procedimiento que normalmente se sigue para obtener una radiografía se describe de la siguiente forma:

Inicialmente, deben conocerse algunas características del material que se va a examinar, como son: tipo del metal, su configuración, el espesor de la pared a ser radiografiada, etc. Todo ello con el fin de seleccionar el radioisótopo o el kilo voltaje más adecuado.

Una vez establecida la fuente de radiación, se deben calcular las distancias entre ésta, el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada. Igualmente, se selecciona la película con ciertas características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima.

Esta se coloca dentro de un porta película que sirve como protección para evitar que la luz dañe la emulsión fotográfica, y que además contiene las pantallas intensificadoras que sirven para reducir el tiempo de exposición, mejorando con esto la calidad de la imagen. Este último proceso se efectúa en el laboratorio.

Una vez realizado lo anterior, se procede a poner en práctica las medidas de seguridad radiológica en la zona en la que se va a efectuar la radiografía con el fin de evitar una sobredosis al personal que pueda estar laborando cerca de la zona de inspección.

A continuación, se hace el arreglo para colocar la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiográfica del otro lado de éste para registrar la radiación que logre atravesar al material sujeto a inspección.

Esta radiación provoca la impresión de la película radiográfica, que corresponde al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad de radiación que incida sobre la película, más se ennegrecerá ésta. Con el objeto de determinar la sensibilidad y la calidad de una radiografía, se emplean indicadores de calidad de imagen, mal llamados penetrámetros. Al realizar la inspección, los indicadores de calidad de imagen se eligen normalmente de manera que el espesor de éstos represente aproximadamente el 2% del espesor de la parte a inspeccionar y, siempre que sea humanamente posible, se colocarán del lado de la fuente de radiación.

La exposición se realiza, bien sea sacando la cápsula que contiene al radioisótopo o encendiendo al aparato de rayos X; esto se lleva a cabo durante el tiempo previamente calculado para realizar la exposición. Una vez terminada la exposición, se recupera la cápsula o se apaga el instrumento de rayos X y la película se lleva a revelar.

Si se comprueba que la imagen es satisfactoria, entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes; las cuales posteriormente serán evaluadas para conocer su nivel de severidad y su posible efecto en el material que se inspecciona.

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 procesos 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 luz 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 microscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc.

VENTAJAS DE LA RADIOGRAFIA 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 RADIOGRAFIA 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.

ULTRASONIDO INDUSTRIAL (UT):

Definición

La examinación por Ultrasonido Industrial (UT) se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa 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.

La historia del Ultrasonido Industrial como disciplina científica pertenece al siglo XX. En 1924, El Dr. Sokolov desarrolló las primeras técnicas de inspección empleando ondas ultrasónicas. Los experimentos iniciales se basaron en la medición de la pérdida de la intensidad de la energía acústica al viajar en un material. Para tal procedimiento se requería del empleo de un emisor y un receptor de la onda ultrasónica.

Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los ingenieros alemanes y soviéticos se dedicaron a desarrollar equipos de inspección ultrasónica para aplicaciones militares. En ese entonces la técnica seguía empleando un emisor y un receptor (técnica de transparencia) en la realización de los ensayos.

No fue sino hasta la década de 1940 cuando el Dr. Floyd Firestone logró desarrollar el primer equipo que empleaba un mismo palpador como emisor y receptor, basando su técnica de inspección en la propiedad característica del sonido para reflejarse al alcanzar una interface acústica. Es así como nace la inspección de pulso eco; esta nueva opción permitió al ultrasonido competir en muchas ocasiones superar las limitaciones técnicas de la radiografía, ya que se podían inspeccionar piezas de gran espesor o de configuraciones que sólo permitían el acceso por un lado.

El perfeccionamiento del instrumento de inspección por ultrasonido se debe principalmente a los investigadores alemanes Josef y Herbert Krautkramer, quienes desde 1948 se han dedicado a desarrollar y mejorar el equipo de inspección ultrasónica.

Los equipos de ultrasonido que empleamos actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, sub superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un ámbito de 0.25 hasta 25 MHz.

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico dentro del palpador; este elemento, que llamaremos transductor, tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente, y por el efecto piezoeléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias (lo que genera ultrasonido); estas vibraciones son transmitidas al material que se desea inspeccionar. Durante el trayecto en el material, la intensidad de la energía sónica sufre una atenuación, que es proporcional a la distancia del recorrido. Cuando el haz sónico alcanza la frontera del material, dicho haz es reflejado. Los ecos o reflexiones del sonido son recibidos por otro (o por el mismo) elemento piezoeléctrico y su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio de rayos catódicos, en donde la trayectoria del haz es indicada por las señales de la pantalla; también puede ser transmitida a un sistema de graficado, donde se obtiene un perfil acústico de la pieza a una pantalla digital, donde se leerá un valor o a una computadora, para el análisis matemático de la información lograda.

En muchos aspectos la onda de ultrasonido es similar a las ondas de luz; ambas son ondas y obedecen a una ecuación general de onda.

ONDA ULTRASONICA

La propagación del ultrasonido se caracteriza por vibraciones periódicas, comúnmente representadas por movimientos ondulatorios.

Las características de la onda ultrasónica son:

- Longitud de Onda.
- Frecuencia.
- Velocidad.

Longitud de onda: Distancia de viaje de un ciclo; distancia desde un punto en un ciclo al mismo punto en el siguiente ciclo.

Se identifica con la letra " λ "

Frecuencia: Número de ciclos completos que pasan por un punto en la unidad de tiempo, normalmente un segundo.

Se identifica con la letra " f "

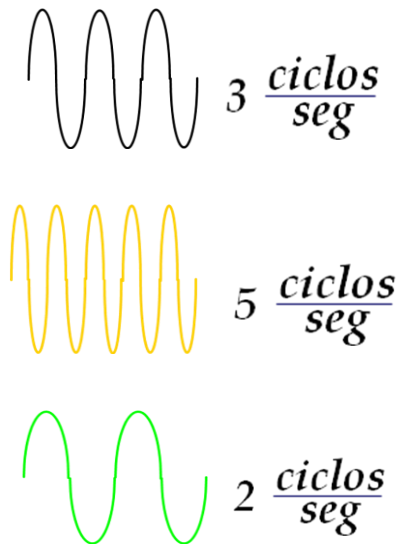
1 Ciclo/seg = 1 Hertz (Hz)

1,000 Ciclos/seg = 1 Kilo hertz = 1 KHz

1, 000,000 Ciclos/seg = 1 Megahertz = 1 MHz

Ejemplo:

5, 000,000 Ciclos/seg = 5.0 Megahertz = 5.0 MHz



Representación de onda ultrasónica con respecto al tiempo

Velocidad Acústica: Distancia de viaje por tiempo que se identifica con la letra “v” o “C”

La velocidad acústica está determinada por:

- El módulo de elasticidad del material.
- La densidad del material

La velocidad es afectada también por:

- La temperatura del material.
- El modo de onda

Por definición, la velocidad es independiente de la frecuencia

Relación entre Longitud de onda, Frecuencia y Velocidad, la expresión establece que la longitud de onda es directamente proporcional a la velocidad e inversamente proporcional a la frecuencia.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

MODOS DE ONDAS

La energía ultrasónica se propaga por medio de vibración de las partículas del material. La dirección en la que vibran las partículas con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica depende del Tipo de Onda.

Los modos de vibración o de ondas son:

- Ondas Longitudinales o de Compresión.
- Ondas de Corte o Transversales.
- Ondas Superficiales o de Rayleigh.

ONDAS LONGITUDINALES: Estas ondas provocan que las partículas vibren en dirección “Paralela” con respecto a la dirección de propagación de la onda. Son llamadas “Ondas de Compresión”, por las zonas donde los planos de las partículas se encuentran cercanos entre sí.

ONDAS DE CORTE: Las partículas vibran en dirección “Perpendicular” con respecto a la dirección de propagación de la onda. También conocidas como “Ondas Transversales”. Su velocidad es de aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas longitudinales. Esta forma de onda solo se puede propagar a través de sólidos.

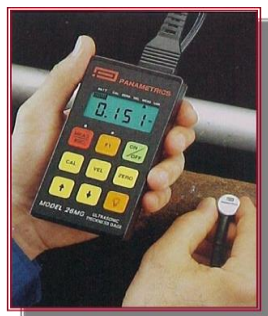
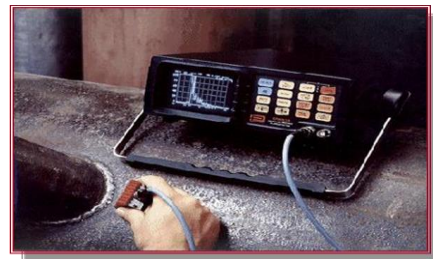
ONDAS SUPERFICIALES: Las partículas de la superficie o cercanas a ella, es vibran en forma “elíptica”. Su energía decae rápidamente por debajo de la superficie hasta una profundidad de una longitud de onda. También conocidas como “Ondas de Rayleigh”. Su velocidad es de aproximadamente 90% de la velocidad de las ondas de corte. Sólo se propagan en sólidos.

REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL.

Antes de iniciar una inspección por UT, es necesario definir los siguientes parámetros, a fin de hacer una correcta selección del equipo de trabajo:

- Cuál es el tipo de discontinuidad que puede encontrarse.
- Qué extensión y orientación puede tener en la pieza.
- Qué tolerancias se pueden aplicar para aceptar o rechazar la indicación.

En la inspección de soldaduras se utiliza generalmente el método de pulso-eco en la presentación SCAN-A. Este sistema (SCAN-A) utiliza un tubo de rayos catódicos que muestra la información del ensayo.



Tipo de equipos utilizados en el método **UT**, (según el tipo de material a inspeccionar)

Todas las normas exigen que el instrumento de inspección ultrasónica sea revisado y, en caso necesario, re calibrado por un taller de servicio autorizado por el fabricante.

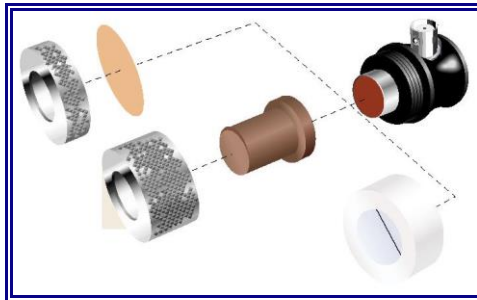
Este último punto es de vital importancia si se está trabajando bajo códigos o normas de aceptación internacional como AWS o ANSI/ASME. Con base en lo anterior, antes de adquirir un equipo, es recomendable visitar al proveedor y comprobar que cuenta con la licencia por parte del fabricante para dar el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo al equipo.

A continuación se deben seleccionar el palpador y el cable coaxial a ser empleados:

Los cables son del tipo coaxial para prevenir problemas de interferencia eléctrica y sus conexiones deben ser compatibles con las del instrumento y el palpador a emplear.

Los factores a ser tomados en cuenta para la selección de un palpador son:

- Número de cristales piezoeléctricos.
- El tipo de inspección (contacto, inmersión, alta temperatura).
- El diámetro del elemento piezoeléctrico.
- La frecuencia de emisión.
- En su caso, el ángulo de refracción.
- El tipo de banda.
- El tipo de protección de anti desgaste.

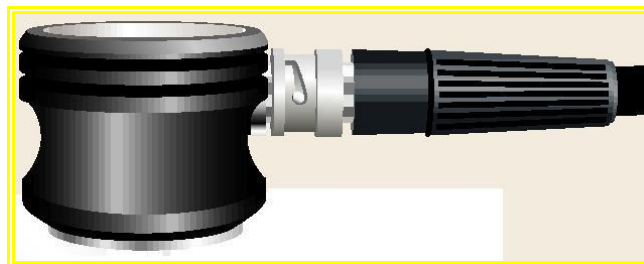


Composición de palpadores

Por lo común, las normas establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los palpadores.

En la inspección por ultrasonido se utiliza por lo general ondas longitudinales (haz recto) u ondas transversales (haz angular). Las frecuencias más comúnmente utilizadas son de 1 a 5 MHz con haces de sonido o ángulos de 0° , 45° , 60° y 70° .

En la inspección con haz recto; el sonido transmitido perpendicularmente a la superficie de entrada del sonido.

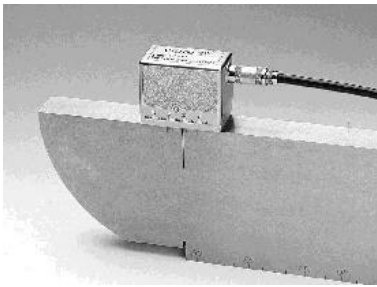


Palpador recto

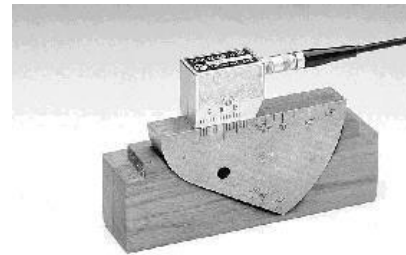


Tipos de palpadores de haz recto.

Utilizando un block de referencia el cual cuenta con una discontinuidad artificial o natural de tamaño conocido, es posible calibrar el equipo y así calcular aproximadamente el tamaño de las discontinuidades detectadas.



Block de calibración tipo 1.



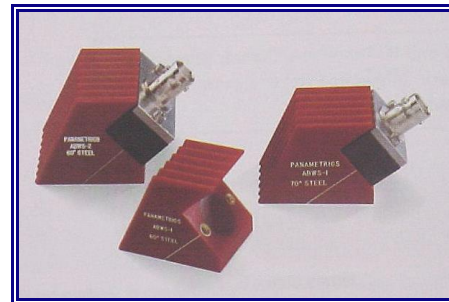
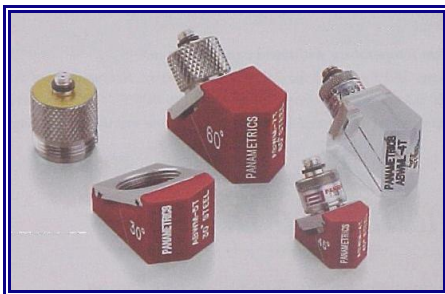
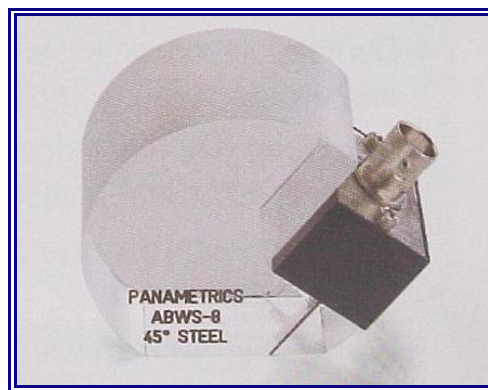
Block de calibración tipo 2.



Block de calibración tipo escalón.

En la mayoría de las inspecciones de soldaduras, que se efectúan utilizando la técnica de haz angular, Idealmente solamente aparecerán en el TRC señales originadas por discontinuidades durante la inspección.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas forjadas, roladas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales como son los metal cerámicos 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. Las nuevas tendencias indican que su campo de aplicación se mejorará con el apoyo de las computadoras para el análisis inmediato de la información obtenida.



Tipos de palpadores con zapatas de haz angular.

VENTAJAS DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.

- Se detectan discontinuidades superficiales y sub superficiales.
- Puede delinarse claramente el tamaño de la discontinuidad, su localización y su orientación.
- Sólo se requiere acceso por un lado del material a inspeccionar.
- Tiene alta capacidad de penetración y los resultados de prueba son conocidos inmediatamente.

LIMITACIONES DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.

- Está limitado por la geometría, estructura interna, espesor y acabado superficial de los materiales sujetos a inspección
- Localiza mejor aquellas discontinuidades que son perpendiculares al haz de sonido.
- Las partes pequeñas o delgadas son difíciles de inspeccionar por este método.
- El equipo puede tener un costo elevado, que depende del nivel de sensibilidad y de sofisticación requerido.
- El personal debe estar calificado y generalmente requiere de mucho mayor entrenamiento y experiencia para este método que para cualquier otro de los métodos de inspección.
- La interpretación de las indicaciones requiere de mucho entrenamiento y experiencia de parte del operador.
- Requiere de patrones de referencia y generalmente no proporciona un registro permanente.

CORRIENTES INDUCIDAS (EDDY CURRENT)

Definición

Las corrientes Inducidas del inglés Eddy Current, son también llamadas Corrientes Parásitas o Corrientes de Foucault, las cuales se producen al acercar una bobina por la cual pasa una corriente pulsante a un metal. La densidad de estas corrientes varía entre otros factores por la homogeneidad del material. Cualquier defecto presente en el material alterará la distribución de las corrientes parásitas. La densidad de las corrientes parásitas afecta la impedancia de la bobina empleada en la inspección. Estos cambios de impedancia producen una caída de potencial que puede ser observada a través de equipos de metro o con plano de impedancia.

Está basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferro magnéticas y no ferro magnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras.

Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que está siendo inspeccionada.

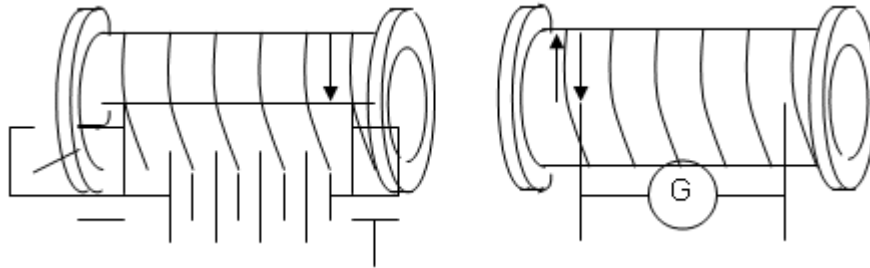
Corrientes Inducidas Remotas:

Una variante entro de las Corrientes Inducidas, se llama Corrientes inducidas de campo remoto. El principio de las Corrientes Inducidas Remotas es el mismo de las convencionales, pero con esta técnica podemos inspeccionar los materiales ferro magnéticos penetrando todo el espesor del objeto a inspeccionar. Es muy adecuada para la inspección de Calderas, así como intercambiadores ferro magnéticos y aerofriadores. En los aerofriadores con aletas muy cercanas, el campo remoto decae fuertemente, por lo que se utilizan bobinas de saturación parcial del material.

Corrientes Inducidas

Esta técnica consiste en generar corriente eléctrica en un material conductor

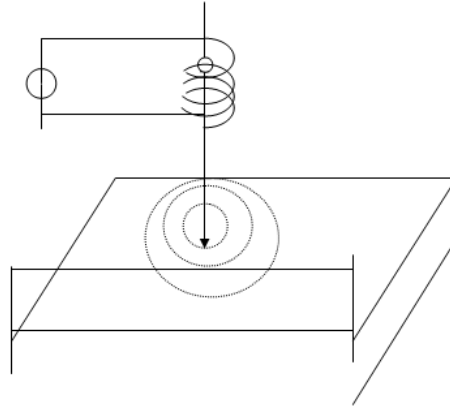
La bobina A esta conectada a una batería a través de un interruptor. Una segunda bobina B conectada a un galvanómetro, está colocada cerca cuando se cierra el interruptor produciendo una corriente en la bobina A. Una corriente momentánea es inducida en la bobina B.



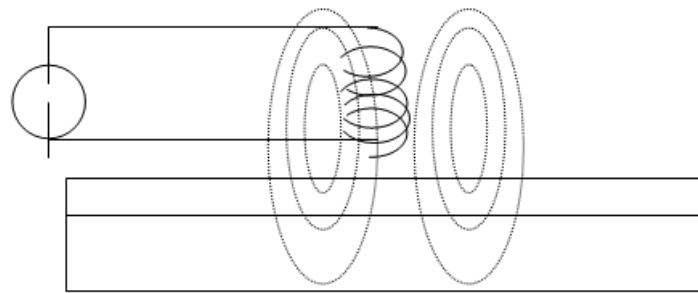
El principio de la prueba se basa en el proceso de inducción electromagnética. El cual incluye una bobina de prueba a través de la cual se hace pasar una corriente alterna. El flujo de la corriente variante en una bobina de prueba produce un campo magnético variante alrededor de la bobina, el cual es conocido como campo primario.

Cuando un objeto de prueba eléctricamente conductor es colocado en el campo primario, una corriente eléctrica será inducida en el objeto.

Las corrientes de Eddy son corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno en un conductor aislado. También se le conocen como corrientes parásitas o corrientes de Foucault.



En un material aislante no se induce las corrientes de Eddy sin embargo el campo magnético de la bobina atraviesa dicho material no conductor.



El campo producido en la bobina es directamente proporcional a la magnitud de la corriente aplicada, a la frecuencia y a los parámetros de la bobina como:

- a. Inductancia
- b. Diámetro.
- c. Longitud.
- d. Espesor (ancho de la bobina)
- e. Numero de vueltas del alambre.
- f. Metal del corazón de la bobina.

APLICACIONES DE LAS CORRIENTE EDDY

- Medir o identificar condiciones o propiedades tales como: conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, tamaño de grano, condición de tratamiento térmico, dureza y dimensiones físicas de los materiales.
- Detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, como costuras, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones.
- Detectar irregularidades en la estructura del material.
- Medir el espesor de un recubrimiento no conductor sobre un metal conductor, o el espesor de un recubrimiento metálico no magnético sobre un metal magnético.
- Estructuras de parques de diversiones.
- Tuberías de Calderas.
- Fuselaje de aviones, Alas de aviones, Trenes de aterrizajes.
- Turborreactores.
- Cigüeñales, cilindros, pistones.
- Cascos de Barco.
- Intercambiadores de Calor

OBJETIVOS

1. Evaluar daños micro estructurales en partes y estructuras.
2. Evaluación de corrosión y separación de cladding y material base.
3. Detección de defectología en tubería de calderas e intercambiadores
4. Detección de defectología en componentes y equipos de acero ferromagnético.

PRINCIPIOS PARA LA GENERACIÓN DE CORRIENTES DE EDDY

- **Conductividad.** La conductividad del material varía de acuerdo a su composición química.
- **Cambios de temperatura.** Cuando aumenta la temperatura la conductividad disminuye.
- **Esfuerzos.** En un material debido al trabajo en frío producen distorsión en la estructura. Este proceso mecánico cambia la estructura la estructura de grano y la dureza del material, cambiando su conductividad eléctrica.
- **Dureza.** La conductividad eléctrica disminuye cuando la dureza aumenta.
- **Permeabilidad.** En cualquier material es la facilidad con la cual pueden establecer líneas de fuerza magnética. El aire tiene una permeabilidad de 1.

La permeabilidad no es una constante para un material y depende del campo magnético que se genere

$$\mu = \frac{B}{H}$$

m = Permeabilidad

B = Flujo magnético (Gauss)

H = Fuerza magnetizante (Oesterd)

- **Efecto pelicular.** Es el resultado de la interacción mutua entre las corrientes de Eddy, la frecuencia de operación la conductividad del objeto de prueba y la permeabilidad.
- **Efecto de borde.** El campo electromagnético producido por una bobina de prueba excitada se extiende en todas las direcciones desde la bobina. A medida que la bobina se aproxima a los límites geométricos del objeto de prueba, estos son detectados por la bobina antes de que ésta llegue al límite.

- **Efecto de extremos.** Este tipo de efecto sigue la misma lógica que el efecto de borde, siendo la señal que se observa cuando la bobina se aproxima al extremo de un producto. Este término es aplicable a la inspección de barras o productos tubulares.
- **Lift-Off.** El campo electromagnético es más fuerte cerca de la bobina y se disipa conforme se aleja de la misma. El acoplamiento electromagnético entre la bobina y el objeto de prueba es muy importante, este acoplamiento varía cuando existe una distancia entre la bobina y el objeto de prueba, esta distancia es conocida como lift-off.
- **Factor de llenado.** Es el término utilizado para describir que también estará electromagnéticamente acoplado un objeto a la bobina de que lo rodea, o a la que está insertado. El factor de llenado puede ser descrito como la relación cuadrática entre los diámetros del objeto y la bobina, que es una ecuación de la relación de áreas.

$$\eta = \frac{d^2}{D^2}$$

h = Factor de llenado

d = diámetro de la bobina

D = diámetro de la pieza

- **Discontinuidades.** Puede ser detectada cualquier discontinuidad que tenga cambios apreciables en el flujo normal de las corrientes de Eddy. Discontinuidades tales como fracturas, picaduras, entalladuras. Daño vibracional y corrosión. Las cuales causan que la conductividad efectiva de un objeto de prueba sea reducido. Las discontinuidades superficiales son más fácilmente detectadas que las subsuperficiales.

- **Relación señal-Ruido.** Se considera como ruido cualquier variación que altere o interfiera la respuesta del sistema. Es la relación entre las señales de interés y las no deseadas. Las fuentes más comunes de ruido son las variaciones en la rugosidad de la superficie, la geometría y la homogeneidad. Otros ruidos pueden ser fuentes externas como, máquinas de soldar, motores eléctricos y generadores.

VENTAJAS DE LAS CORRIENTES INDUCIDAS:

- Se aplica a todos los metales, electro conductores y aleaciones.
- Alta velocidad de prueba.
- Medición exacta de la conductividad.
- Indicación inmediata.
- Detección de áreas de discontinuidades muy pequeñas. (0.0387 mm² – 0.00006in²)
- La mayoría de los equipos trabajan con baterías y son portátiles.
- La única unión entre el equipo y el artículo bajo inspección es un campo magnético, no existe posibilidad de dañar la pieza.

LIMITACIONES DE LAS CORRIENTES INDUCIDAS:

- La capacidad de penetración está restringida a menos de 6 mm.
- En algunos casos es difícil verificar los metales ferro magnéticos.
- Se aplica a todas las superficies formas uniformes y regulares.
- Los procedimientos son aplicables únicamente a materiales conductores.
- No se puede identificar claramente la naturaleza específica de las discontinuidades.
- Se requiere de personal calificado para realizar la prueba.

GLOSARIO

Opacidad: Calidad de opaco

Emulsión: Líquido constituido por dos sustancias no miscibles.

Miscible: Mezcla.

Penetrabilidad: La penetrabilidad o capilaridad de los líquidos es una propiedad complicada que incluye muchas variables que dependen de la condición superficial y el tipo de objeto inspeccionado, el tipo de penetrante, la temperatura y la presencia o ausencia de contaminación.

Es la propiedad física en la que se basa la prueba por líquidos penetrantes.

Capilaridad: La propiedad que tienen los fluidos para ascender y/o descender a través de tubos capilares

Tablas

Propiedades Acústicas

Material	Velocidad Longitudinal		Velocidad de Corte		Impedancia Acústica
	<i>in/μseg</i>	<i>cm/μseg</i>	<i>in/μseg</i>	<i>cm/μseg</i>	
<i>Aceite de motor</i>	0.069	0.174	---	---	0.151
<i>Acero 1020</i>	0.232	0.589	0.128	0.324	4.541
<i>Acero 4340</i>	0.230	0.585	0.128	0.324	4.563
<i>Acero 316</i>	0.23	0.58	0.12	0.31	4.6
<i>Agua</i>	0.058	0.148	---	---	0.148
<i>Aluminio</i>	0.249	0.632	0.123	0.313	1.706
<i>Babbitt</i>	0.091	0.23	---	---	2.32
<i>Berilio</i>	0.508	1.290	0.350	0.888	2.35
<i>Bronce</i>	0.14	0.35	0.088	0.22	3.13
<i>Cobre</i>	0.183	0.466	0.089	0.226	4.161
<i>Estaño</i>	0.131	0.332	0.066	0.167	2.420
<i>Gasolina</i>	0.049	0.13	---	---	0.10
<i>Glicerina</i>	0.076	0.192	---	---	0.242
<i>Hierro</i>	0.232	0.590	0.127	0.323	4.543
<i>Hierro (Gris)</i>	0.19	0.48	0.095	0.24	3.74
<i>Hierro (Nodular)</i>	0.22	0.56	---	---	---
<i>Inconel</i>	0.229	0.582	0.119	0.302	4.947
<i>Latón</i>	0.174	0.443	0.083	0.212	3.730
<i>Lucita</i>	0.106	0.268	0.050	0.126	0.316
<i>Magnesio</i>	0.23	0.58	0.12	0.30	1.06

Propiedades Acústicas

Material	Velocidad Longitudinal		Velocidad de Corte		Impedancia Acústica
	in/ μ seg	cm/ μ seg	in/ μ seg	cm/ μ seg	
Mercurio	0.057	0.145	---	---	1.966
Molibdeno	0.246	0.625	0.132	0.335	6.375
Monel	0.21	0.54	0.11	0.27	4.76
Níquel	0.222	0.563	0.117	0.296	4.999
Oro	0.128	0.324	0.047	0.120	6.260
Perspex	0.107	0.273	0.056	0.143	0.322
Plata	0.142	0.360	0.063	0.159	3.776
Platino	0.156	0.396	0.066	0.167	8.474
Plexiglass	0.11	0.28	0.043	0.11	0.35
Plomo	0.085	0.216	0.028	0.07	2.449
Poliamida (Nylon)	0.102	0.260	0.047	0.120	0.310
Poliestireno	0.092	0.234	---	---	0.247
Polietileno	0.11	0.27	---	---	0.23
PVC	0.094	0.2395	0.042	0.106	0.335
Titanio	0.240	0.610	0.123	0.312	2.769
Tungsteno	0.204	0.518	0.113	0.287	9.972
Uranio	0.133	0.337	0.078	0.198	6.302
Vidrio	0.22	0.57	0.14	0.35	1.45
Zinc	0.164	0.417	0.095	0.241	2.961
Zirconio	0.183	0.465	0.089	0.225	3.013

Bibliografía

- End. Líquidos Penetrantes.
nivel II
Asociación Española de Ensayos no Destructivos.
- End. Ultrasonidos.
nivel II
Fundación ConfeMetal Editorial.
- End. Corrientes Inducidas.
nivel II
Asociación Española de Ensayos no Destructivos.
- NDT Characteristics of Focal Spots Industrial X- Ray For Use in Non-Destructive Testing- part 2: Pinhole Radiographic Method.
- Ensayos No Destructivos. Caracterización del Equipo de Emisión Acústica.
parte 2: Verificación de las Características de Funcionamiento.
- Non-Destructive Testing. Ultrasonic Thickness Measurement.
- "Apuntes para el Laboratorio de Pruebas No Destructivas". UPIICSA-IPN,
Academia de Laboratorio de Control de Calidad, México D.F., 2002