

## **Ensayos No Destructivos (END) - Nondestructive Testing (NDT)**

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

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.

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

### **Ensayos no destructivos más comunes que pueden aplicarse en la detección de fallas en materiales.**

Los END, más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo al alcance que poseen en cuanto a la detección de fallas, por lo que se dividirán los mismos de acuerdo a los siguientes parámetros:

#### **Discontinuidades Superficiales:**

- Ensayo de líquidos penetrantes
- Ensayo de partículas magnéticas

**Discontinuidades Internas:**

- Ensayo Radiográfico
- Ensayo ultrasónico

Ensayos aplicables para la detección de discontinuidades del material o de los procesos de soldaduras superficiales abiertos al exterior y para la detección de discontinuidades internas del material, abiertas o no al exterior

## **Ensayo Radiográfico**



La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que esta 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.

## **Rayos-X**

Se trata de una radiación electromagnética penetrante, con una longitud de onda menor que la luz visible, producida bombardeando un blanco generalmente de wolframio, con electrones de alta velocidad.

Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. A pesar de que el tubo estaba dentro de una caja de cartón negro, Roentgen vio que una pantalla de platinocianuro de bario, que casualmente estaba cerca, emitía luz fluorescente siempre que funcionaba el tubo. Tras realizar experimentos adicionales, determinó que la fluorescencia se debía a una radiación invisible más penetrante que la radiación ultravioleta. Roentgen llamó a los rayos invisibles "rayos X" por su naturaleza desconocida. Posteriormente, los rayos X fueron también denominados rayos Roentgen en su honor.

### **Naturaleza de los rayos-X**

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a  $10^{-9}$  m). Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos X duros. Los rayos X formados por una mezcla de muchas longitudes de onda diferentes se conocen como rayos X 'blancos', para diferenciarlos de los rayos X monocromáticos, que tienen una única longitud de onda. Tanto la luz visible como los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a transiciones de electrones internos.

Los rayos X se producen siempre que se bombardea un objeto material con electrones de alta velocidad. Gran parte de la energía de los electrones se pierde en forma de calor; el resto produce rayos X al provocar cambios en los átomos del blanco como resultado del impacto. Los rayos X emitidos no pueden tener una energía mayor que la energía cinética de los electrones que los producen. La radiación emitida no es monocromática, sino que se compone de una amplia gama de longitudes de onda, con un marcado límite inferior que corresponde a la energía máxima de los electrones empleados para el bombardeo.

### **Tubo de rayos-X**

Carcasa protectora: el tubo de rayos X, siempre está montado en una carcasa protectora, formada de plomo, y diseñada para controlar los serios peligros que afectaron a la radiología en sus principios, (exposición excesiva a la radiación, descarga eléctrica). La carcasa protectora proporciona también un soporte mecánico al tubo de rayos X, y lo protege frente al posible daño producido por la manipulación descuidada. Cuando se producen, los rayos X son emitidos con la misma intensidad en todas las direcciones, pero nosotros solo empleamos los emitidos a través de una sección especial del tubo de rayos X, llamada ventana. Los rayos X emitidos a través de la ventana se conocen como haz útil, los restantes que se escapan a través de la carcasa protectora son, la radiación de fuga.

La carcasa protectora, alrededor de algunos tubos de rayos X, contiene aceite que actúa como aislante técnico y refrigerador.

Envoltura de cristal: el de rayos X, es un tipo especial de tubo de vacío, los componentes del tubo se encuentran dentro de una envoltura de cristal. Esta envoltura, que debe de ser fabricada de un vidrio que pueda soportar el

tremendo calor generado, mantiene el vacío, lo cual hace posible una producción más eficaz de rayos X, y prolonga la vida del tubo. Si estuviera lleno de gas, disminuiría el flujo de electrones que van del cátodo al ánodo, se producirían menos rayos X y se crearía más calor. La ventana del tubo es de un cristal mas fino que deja filtrar los rayos X. Es un segmento que permite una máxima emisión de rayos X con absorción mínima por la envoltura de cristal.

Cátodo: parte negativa del tubo de rayos X, tiene dos partes principales: el filamento y la copa de enfoque.

Filamento: es una espiral de alambre que emite electrones al ser calentado. Cuando la corriente que atraviesa el filamento es lo suficientemente intensa, de aproximadamente 4 a 5 Ampere o superior, los electrones de la copa externa del filamento entran en ebullición y son expulsados del filamento, este fenómeno se conoce como emisión termoiónica. Los filamentos suelen estar formados por Tungsteno Tórico, el Tungsteno proporciona una emisión termoiónica mayor que otros metales. Su punto de fusión es de 3410 °C, de forma que no es probable que se funda con el calor, además no se evapora, puesto que si lo hiciera el tubo se llenaría rápidamente de gas. La adición de un uno a un dos por ciento de Torio al filamento de Tungsteno, incrementa la eficacia de la emisión de electrones y prolonga la vida del tubo. La copa de enfoque es un refuerzo metálico del filamento, condensa el haz de electrones en un área pequeña del cátodo. La efectividad de la copa de enfoque depende de tres factores:

1- La corriente del filamento que regula la cantidad de rayos X de salida.

2- El tamaño del filamento impone el tamaño del foco efectivo que se produce en el ánodo. Los tubos de rayos X suelen llevar dos filamentos de

diferente tamaño, que proporcionan dos puntos focales; el punto focal de tamaño pequeño se asocia con el filamento menor y se emplea cuando se necesitan imágenes de alta resolución. El punto focal de tamaño grande se asocia con el filamento mayor y se emplea cuando se necesitan técnicas que produzcan gran cantidad de calor.

3- La situación de uno u otro suele hacerse con el selector que se encuentra en la consola de control

Ánodo: es el lado positivo del tubo de rayos X, existen dos tipos: estacionarios y rotatorios

El ánodo tiene tres funciones en el tubo de rayos X:

1- Es un conductor eléctrico

2- Proporciona soporte mecánico al blanco.

3- Debe ser un buen conductor térmico, cuando los electrones chocan con el ánodo, más del 99% de su energía cinética se convierte en calor, que debe ser eliminado rápidamente antes de que pueda fundir el ánodo. El cobre es el material más utilizado en el ánodo.

Punto focal: es el área del blanco desde la que se emiten los rayos X.

Constituye la fuente de radiación.

Blanco: es el área del ánodo con la que chocan los electrones procedentes del cátodo. En los tubos de ánodo estacionario, el blanco consiste en una pequeña placa de tungsteno que se encuentra encastrado en un bloque de cobre. En los tubos de ánodo rotatorio, el disco que gira es el blanco,

normalmente esta formado por una aleación de Tungsteno mezclada con Torio, que proporciona una resistencia adicional para soportar el esfuerzo de la rotación rápida.

El Tungsteno es el material elegido para el blanco.

Equipo de rayos-X utilizado en la práctica

En la figura 3 se observa el dispositivo utilizado para la realización de la práctica radiográfica.



figura 3 – Equipo de generación de rayos-X

### **Rayos Gamma.**

Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados. El espectro de difracción de la luz se observa en la figura 1.

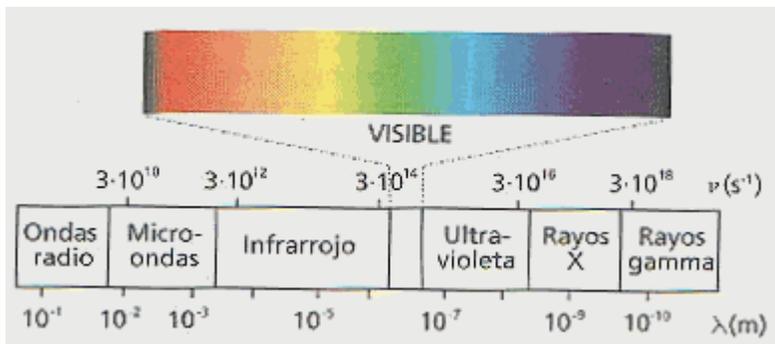


fig. 1 – Espectro de difracción de la luz

## Radiación Gamma

Las emisiones alfa y beta suelen ir asociadas con la emisión gamma. Los rayos gamma no poseen carga ni masa; por tanto, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante. Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta.

La partícula alfa o beta primaria y su rayo gamma asociado se emiten casi simultáneamente. Sin embargo, se conocen algunos casos de emisión alfa o beta pura, es decir, procesos alfa o beta no acompañados de rayos gamma; también se conocen algunos isótopos que emiten rayos gamma de forma pura. Esta emisión gamma pura tiene lugar cuando un isótopo existe en dos formas diferentes, los llamados isómeros nucleares, con el mismo número atómico y número másico pero distintas energías.

La emisión de rayos gamma acompaña a la transición del isómero de mayor energía a la forma de menor energía. Un ejemplo de esta isomería es el isótopo protactinio 234, que existe en dos estados de energía diferentes, y

en el que la emisión de rayos gamma indica la transición de uno al otro. En la figura 4 se observa la generación de radiación gamma.

ENCICLOPEDIA MICROSOFT ENCARTA 98

Componentes Opciones Buscar Portada Diccionario

Más información acerca de este artículo

## Radiactividad

Esquema

Introducción

Tipos de radiación

- Partículas alfa
- Desintegración beta
- Rayos gamma**

La hipótesis nuclear

Radiación gamma

Periodo de semidesintegración

Series de desintegración radiactiva

Radiactividad artificial

### Rayos gamma

Núcleo

Rayos gamma

Pie de foto

#### Tipos de radiación

##### Tipos de radiación

- Partículas alfa
- Desintegración beta
- Rayos gamma**

Rutherford descubrió que las emisiones radiactivas contienen al menos dos componentes: partículas alfa, que sólo penetran unas milésimas de centímetro en el aluminio, y partículas beta, que son casi 100 veces más penetrantes. En experimentos posteriores se sometieron las emisiones radiactivas a campos eléctricos y magnéticos, y estas pruebas pusieron de manifiesto la presencia de un tercer componente, los rayos gamma, que resultaron ser mucho más penetrantes que las partículas beta. En un campo eléctrico, la trayectoria de las partículas beta se desvía mucho hacia el polo positivo, mientras que la de las partículas alfa lo hace en menor medida hacia el polo negativo; los rayos gamma no son desviados en absoluto. Esto indica que las partículas beta tienen carga negativa, las partículas alfa tienen carga positiva (se desvían menos porque son más pesadas que las partículas beta) y los rayos gamma son eléctricamente neutros.

El descubrimiento de que la desintegración del radio produce radón demostró de forma fehaciente que la desintegración radiactiva está acompañada de un cambio en la naturaleza química del elemento que se desintegra. Los experimentos sobre la desviación de partículas alfa en un campo eléctrico demostraron que la relación entre la carga eléctrica y la masa de dichas partículas es aproximadamente la mitad que la del ion

Figura 4 – Generación de radiación gamma

### Indicadores de Calidad de imagen (penetramentos)

Los indicadores de calidad de imagen consisten en alambres o plaquetas escalonadas del mismo material que el objeto a radiografiar, cuyos diámetros o espesores representan por ej. el 1%, 2%, 3% del espesor máximo del objeto, permitiendo evaluar por comparación la calidad radiográfica.

El indicador se coloca sobre la cara del objeto que enfrenta la radiación en la parte más alejada del film (zona de mayor espesor) y en la posición

geométricamente más desfavorable, por ejemplo, en el extremo más alejado respecto del punto en que la radiación incide normalmente.

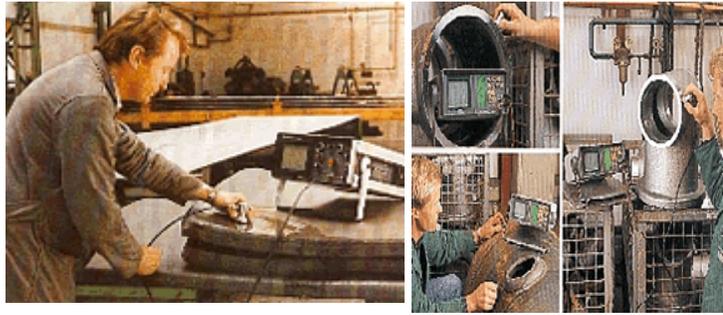
El espesor del hilo o escalón más delgado que sea visible en la radiografía, es el que permite evaluar la calidad de la técnica radiográfica cesada.

En el desarrollo del ensayo se utilizarán dos tipos de indicadores de calidad de imagen:

INDICADORES DIN (1): De acuerdo a la norma DIN 54.109, la calidad de imagen se caracteriza por el alambre más delgado de una serie de alambres de diversos diámetros que varían según la progresión geométrica adoptada por el I.I.W. / I.I.S.. Estos van embutidos en un material plástico transparente.

INDICADORES ASME (2): Este indicador de calidad de imagen responde a las especificaciones de la American Society of Mechanical Engineers. El espesor normal del indicador es igual al 2 % del espesor a radiografiar, este espesor se indica con números de plomo cuya altura no ha de ser inferior a 3/32" (2,4 mm.).

## **Ensayo Por Ultrasonido.**



### **Ultrasonido:**

El aprovechamiento del ultrasonido ha ganado espacio importante entre las técnicas de Ensayos No-destructivos. Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama audible (ésto es, superior a 20 000 Hz).

El equipamiento utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida.

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo, en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es introducido en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

## **Definición y naturaleza de las ondas ultrasónicas**

Son ondas mecánicas vibratorias o sea para que sea propague el ultrasonido, se requiere que las partículas del medio ya sea líquido, aire o sólido oscilan alrededor de sus posiciones de equilibrio.

## **Diferencia entre sonido y ultrasonido**

Son de la misma naturaleza, lo que las diferencia es su frecuencia así:

- ondas sónicas: frecuencia entre 16 y 20000 ciclos por segundos.
- ondas ultrasónicas: frecuencias mucho mayores de 20000 ciclos por segundos.

Para materiales metálicos: se opera entre 1 y 5 mhz pero se pueden trabajar con frecuencias mucho mayores.

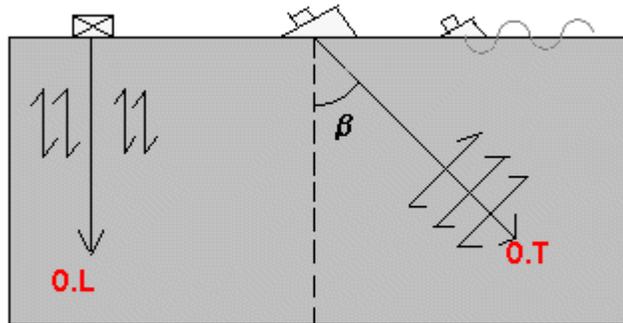
Para materiales no metálicos: ej: cerámicos, trabajan con frecuencias menores de 1mhz ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  mhz).

## **Tipos de ondas ultrasónicas**

Se clasifican en:

- Ol. Onda longitudinal: se propaga en tres medios.
- OT. Onda transversal: se propaga en sólidos únicamente.
- OR. Onda Rayleigh: se propaga en sólidos únicamente.

palpador normal palpador angular ondas de rayleigh



## Impedancia acústica

Resistencia del medio a la vibración acústica de las partículas.

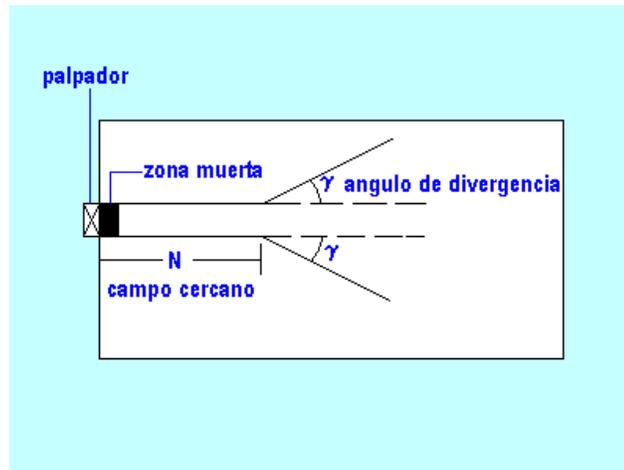
## Generación de ondas ultrasónicas

Para generar existen varios métodos. Para el ultrasonido se hace uso de cristales piezoeléctricos o de materiales cerámicos ferro eléctrico.

Piezoelectricidad: propiedad de algunos cristales como el cuarzo de convertir energía eléctrica en energía mecánica vibratoria y viceversa. Cuarzo para altas frecuencias, mayores de 10 mhz.

Ferro electricidad: propiedad de algunos materiales cerámicos previamente polarizados de comportarse como los cristales piezoeléctricos. ej: titanato de bario, sulfato de litio.

## Forma y característica del haz



$$n = \frac{d^2}{4l} = \frac{d^2 f}{4v}$$

$$\text{sen } g = 1.22 \frac{v}{f d}$$

d: diámetro del cristal.

v: velocidad.

f: frecuencia.

l: longitud de onda.

## Palpadores o transductores

Tipos:

- a. incidencia normal.
- b. incidencia angular.

Palpadores con:

1. un solo cristal emisor y receptor.

2. doble cristal, uno emisor y otro receptor.
3. múltiples cristales para aplicaciones especiales.

### **Agentes acoplantes**

Es un medio fluido que permite que el ultrasonido pase del palpador al material de ensayo.

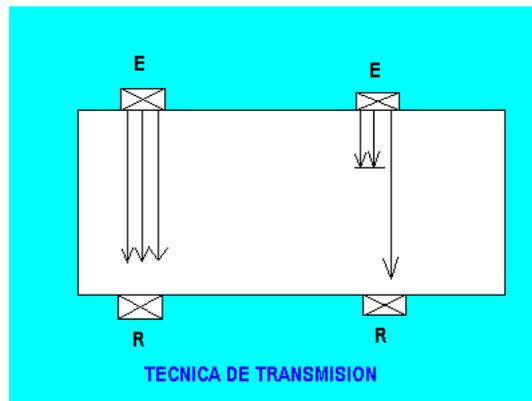
Los medios de acople pueden ser: grasa, aceite, vaselina, agua.

A mayor rugosidad mayor viscosidad del acoplante.

### **Técnicas de ensayo**

- transmisión.
- resonancia.
- pulso - eco.

### **Transmisión**



### **Ventaja:**

Puede detectar discontinuidades muy cercanas a la superficie.

### **Desventajas:**

No ubica la discontinuidad.

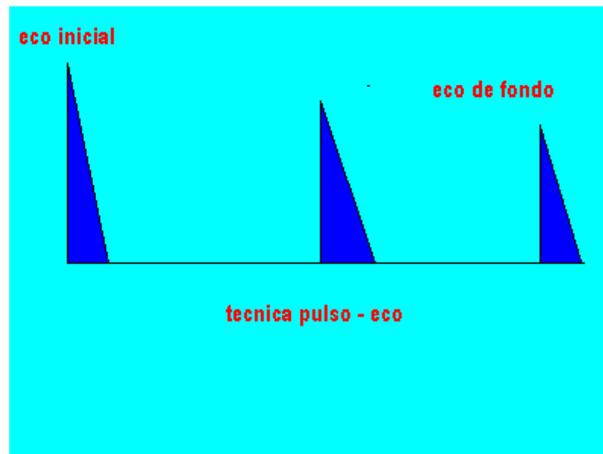
Requiere acceso a las dos superficies.

### **Resonancia:**

Se consigue que haya resonancia entre un material y el palpador. El palpador es de frecuencia variable, la cual se varía hasta hallar la de resonancia.

Es utilizado para la detección de discontinuidades externas del material, también para la medición de espesores.

### **Pulso - eco**



Se emiten pulsos de ultrasonido y se esperan reflexiones las cuales pueden proceder de superficies posteriores (palpadores normales) o de discontinuidades, por lo tanto en un osciloscopio mediante el principio piezoeléctrico aparecen ecos de fondo para cada reflexión.

### **Ventajas:**

Requiere acceso a una superficie únicamente

Ubica la discontinuidad.

### **Desventaja:**

No detecta discontinuidades muy cercanas a la superficie.

## **Aplicaciones**

Medición de espesores.

Detección de fallas:

1. examen de piezas fundidas.
2. examen de piezas forjadas.
3. examen de soldaduras.
4. caracterización de materiales.

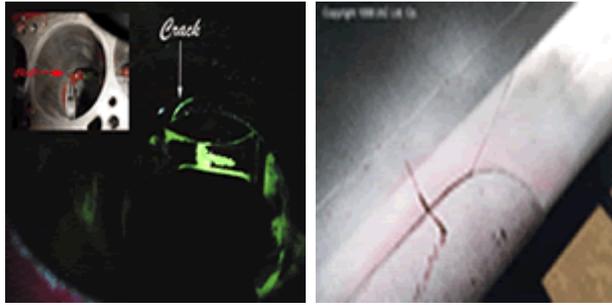
## **Ventajas del ensayo ultrasónico**

1. mayor poder de penetración.
2. acceso a una superficie.
3. ausencia del peligro para el operario.
4. portátil.

## **Desventajas**

Tiene problemas con piezas de geometría complicada.

## Ensayo de Líquidos Penetrantes.



Existen dos tipos básicos de líquidos penetrantes, fluorescentes y no fluorescentes.

La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

- a. los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que flouresce bajo la luz negra o ultravioleta.
- b. los líquidos penetrantes no flourescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.

Para los efectos del método de inspección por líquidos penetrantes, el penetrante liquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio que se exponga ante el. 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, incoloro, no corrosivo, antiinflamable, 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 mas importantes son la tensión superficial, el poder humectante, la viscosidad, volatilidad, tolerancia a la contaminación, gravedad especifica, punto de inflamación, inactividad química y capacidad de disolución. en cuanto a estas propiedades se tendrá:

Tensión superficial: es una de las propiedades mas 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 mas importantes. esto se refiere al Angulo de contacto del liquido con la superficie, el cual debe ser lo mas bajo posible.

Viscosidad: esta propiedad no produce efecto alguno en la habilidad de un liquido 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 poco profundidad; por tanto se recomienda una viscosidad media.

Volatilidad: los líquidos penetrantes no deben ser volátiles. si existe un a evaporación excesiva de los productos del penetrante, se vera afectada la sensibilidad de todo el proceso, debido tanto al desequilibrio de la formula, como a la perdida 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 practica 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.

En la producción de los penetrantes debe tenerse en cuenta los factores anteriores y algunos otros; por lo tanto, en muchos casos algunas de las propiedades deben ser sacrificadas en parte, para lograr una “buena formula”.

## **Sistemas penetrantes**

Los sistemas penetrantes generalmente se identifican por el método empleado en la remoción del exceso del líquido penetrante. Estos sistemas son:

- a. removible con agua
- b. post-emulsificable lipofílico
- c. removible con solventes
- d. post-emulsificable hidrofílico

Estos sistemas son comunes tanto a los tipos de penetrante fluorescente como a los de colorante visible.

En el caso de penetrantes removibles con agua, el exceso de penetrante es removido con un simple lavado con agua.

En el caso de penetrantes post-emulsificables, se requiere una etapa adicional separada, que consiste en la aplicación de un emulsificador que hace que el penetrante pueda ser removido posteriormente con un lavado con agua.

En el caso de penetrantes removibles con solvente, el exceso de penetrante se remueve utilizando trapos o papeles absorbentes impregnados con solventes especialmente formulados para este fin.

### **Sistema penetrante removible con agua**

Este sistema consiste en un líquido penetrante lavable con agua, que al ser aplicado a la superficie de la pieza y después de haberlo dejado un

tiempo de penetración suficiente se retira de la superficie de la pieza mediante lavado con agua. los penetrantes empleados en los procesos lavables con agua no son soluciones simples sino formulas que contienen ciertos ingredientes tales como aceites penetrantes, colorantes, agentes emulsificadores y agentes estabilizadores. el objetivo de la formulación es producir un liquido único que contiene características de buena penetrabilidad y solubilidad del colorante con propiedades de lavado bajo la acción del agua y que mantenga su estabilidad bajo condiciones variables de temperatura y otras variables de operación.

### **Sistema penetrante post-emulsificable lipofilico**

Este método consiste en la aplicación de un líquido penetrante post-emulsionable a la superficie de la pieza. Después de un periodo de penetración adecuado, al penetrante se hace lavable con agua mediante la aplicación de un emulsificador lipofilico, o sea de base oleosa, el cual se mezcla con el penetrante por ser mutuamente solubles. en este sistema se requiere un tiempo de emulsificación muy exacto y se debe tener mucho cuidado para que el penetrante no sea sobre emulsificado y pueda ser removido de las discontinuidades en el lavado posterior con agua.

Generalmente los tiempos de emulsificación están comprendidos entre segundos y cinco minutos.

### **Sistemas penetrantes removible con solventes**

Los líquidos penetrantes removibles con solventes solo deberán emplearse para inspección puntual y cuando por razón del tamaño de la pieza, masa y condición de la superficie el método de lavado con agua no es factible o práctico. En este método, el exceso de penetrante se elimina en

dos etapas. Primero, se elimina todo el penetrante posible limpiando la superficie de la pieza con un paño limpio y absorbente, exento de pelusa. la capa superficial de penetrante que queda se elimina después pasando por la pieza un paño ligeramente impregnado de un disolvente apropiado. es necesario tener cuidado de no emplear demasiado disolvente con el fin de minimizar la posibilidad de eliminar el penetrante contenido en las discontinuidades.

### **Sistema penetrante post-emulsificable hidrofílico**

al igual que en el caso del sistema post-emulsificable lipofílico, después de transcurrido el tiempo de penetración, se aplica un emulsificador, en este caso de base acuosa, el cual no se mezcla con el penetrante por no ser estos mutuamente solubles, sino que actúa en la intercara rompiendo la cadena de carbono de la base oleosa del penetrante, emulsificando gradualmente capa por capa.

## **Ensayo por Partículas Magnéticas**



La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales y sub. Superficiales en materiales ferromagnéticos.

Limitaciones que deben tenerse en cuenta, por ejemplo, las películas delgadas de pintura y otros recubrimientos no magnéticos tales como los galvanostegicos, afectan adversamente la sensibilidad de la inspección.

Además el método solo es útil en materiales ferromagnéticos.

### **Campos magnéticos**

Este método de inspección utiliza campos magnéticos para revelar discontinuidades.

Este efecto se debe al giro del electrón sobre si mismo y a la manera como esos electrones se organizan en los átomos, haciendo que el átomo mismo sea un pequeño imán.

Campo magnético es el espacio exterior del imán donde se ejerce la fuerza de inducción y esta conformado por el conjunto de líneas de fuerza cuyo número y forma dependen del foco magnético o fuente que genera el campo.

El campo magnético está caracterizado por el vector de inducción magnética, Biot y Savart establecieron que todo elemento de corriente eléctrica genera a cierta distancia de él un campo magnético que es proporcional a la corriente e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y que depende además de las propiedades magnéticas del medio que circunda al conductor.

Esas propiedades son la permeabilidad magnética en el vacío:

$$\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$$

$$\mu = \mu_0 \mu$$

B es la inducción o densidad del flujo, es decir el número de líneas de fuerza por unidad de área y se mide con gauss; además  $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ tesla}$

$\mu$  Representa la facilidad con que un material puede ser magnetizado.

Según su permeabilidad los materiales se dividen en tres grupos principales:

Ferromagnéticos	$\mu > 1$
Diamagnéticos	$\mu < 1$
Paramagnéticos	$\mu = 1$

Los ferromagnéticos son atraídos fuertemente por un campo magnético (hierro, níquel, cobalto, casi todos los aceros, etc.)

Los paramagnéticos son levemente atraídos por un campo magnético (platino aluminio, cromo, estaño, etc.)

Los diamagnéticos son levemente repelidos por un campo magnético (plata, cobre, mercurio, etc.).

## **Campo de fuga**

El método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea los flujos dispersos, provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades que interrumpen el camino de las líneas de fuerza

## **Métodos de imantación**

En la inspección de piezas metálicas (ferromagnéticas) se toma ventaja del campo magnético generado por corrientes eléctricas. Aunque se puede usar imanes permanentes, esto se utiliza poco porque normalmente se requieren campos fuertes.

Las técnicas de ensayo se pueden clasificar según si se mantienen o no las fuerzas magnéticas durante la aplicación del medio de inspección, así se tiene el método residual y el método continuo.

De acuerdo con el carácter del campo utilizado los métodos pueden ser:

- método circular o circunferencial
- método longitudinal
- método paralelo
- método de espiral o campo de distorsión
- combinación de los anteriores

El ensayo por partículas magnetizables es utilizado en la localización de discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales

ferromagnéticos. Puede aplicarse tanto en piezas acabadas como en semi-acabadas y durante las etapas de fabricación.

El proceso consiste en someter la pieza, o parte de esta, a un campo magnético.

En la región magnetizada de la pieza, las discontinuidades existentes, o sea, falta de continuidad de las propiedades magnéticas del material, acusarán un campo de flujo magnético. Con la aplicación de partículas ferromagnéticas, ocurrirá una aglomeración de estas en los campos de fuga, una vez que son atraídas debido al surgimiento de polos magnéticos. La aglomeración indicará un contorno del campo de fuga, forneciendo la visualización del formato y de la extensión de la discontinuidad. <sup>^</sup>

