

103
Zej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN METALURGIA

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

present a

JORGE ENRIQUE RODRIGUEZ FERNANDEZ



Director. Ing. ARTURO BARBA PINGARRON

México, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

1 INTRDUCCION

- 1.1 Elementos básicos
- 1.2 Medios típicos utilizados
- 1.3 Propiedades que se pueden detectar
- 1.4 Descripción de los elementos básicos
- 1.5 Costos de las pruebas.

2 LIQUIDOS PENETRANTES

- 2.1 Descripción de la prueba
- 2.2 Limpieza de superficies
- 2.3 Aplicación del penetrante
- 2.4 Revelado
- 2.5 Inspección e Interpretación.

3 RADIOGRAFIA

- 3.1 Descripción de la prueba
- 3.2 Fuentes de radiación
- 3.3 Equipo utilizado
- 3.4 Selección de las características de la onda de radiación
- 3.5 Comparación entre Rayos X y Rayos Gamma
- 3.6 Limitaciones de la inspección radiográfica
- 3.7 Interpretación de resultados.

4 ULTRASONIDO

- 4.1 Descripción de la prueba
- 4.2 Propiedades fundamentales del sonido
- 4.3 Generación de ondas ultrasónicas
- 4.4 Técnicas utilizadas
- 4.5 Interpretación de resultados.

5 CORRIENTES DE EDDY

- 5.1 Principios básicos**
- 5.2 Descripción de la prueba**
- 5.3 Clasificación de los sistemas de prueba**
- 5.4 Interpretación de resultados.**

6 PARTICULAS MAGNETICAS

- 6.1 Descripción de la prueba**
- 6.2 Magnetización**
- 6.3 Ventajas y desventajas de la prueba**
- 6.4 Aplicación de la prueba**
- 6.5 Normas aplicables.**

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

Actualmente el aseguramiento de calidad es uno de los factores que más interesan dentro de los procesos productivos ya que desde la inspección de recibo de la materia prima hasta la inspección final del producto terminado, cualquiera que sea su proceso, se hace necesario conocer en que forma están variando los parámetros críticos de los artículos producidos, -- sean éstos dimensionales, eléctricos, mecánicos o de cualquier naturaleza.

La variación de dichos parámetros se puede deber a procesos de manufactura (torneados, fresados, rectificados, brochados, etc), procesos térmicos (revenidos, templados, relevado de esfuerzos, soldadura, etc)., recubrimientos superficiales (por inmersión, electrolíticos, por depósito electrolítico, etc.) o por algún otro proceso especial que puede ser electroquímico, nuclear, de magnetización o radioactivo.

Cuando el producto que estamos elaborando a través de una serie de procesos carece de aseguramiento de calidad, no es posible saber en qué parte del proceso se está comienciendo un error y por lo mismo estamos generando desperdicios tanto en mano de obra como en materiales directos e indirectos. Lo anterior se reflejará inmediatamente en una elevación de costos y en una disminución de competitividad de nuestro producto.

Por otro lado el aseguramiento de calidad requiere de una cierta inversión de capital que deberá ser tal que no carezca demasiado el producto, pero que pueda en cualquier momento certificar la utilidad del producto para los fines que fué diseñado. Por esta razón debemos estar seguros de cuáles son los parámetros realmente críticos que debemos medir en cada etapa del proceso y definir las tolerancias o límites aceptables dentro de nuestras capacidades de producción.

En la producción de grandes volúmenes de piezas, el aseguramiento de calidad se lleva a cabo por medio de muestreos estadísticos ya que sería imposible realizar mediciones o pruebas sobre toda la producción. También es importante mencionar que dichas mediciones o pruebas deben ser en cierta manera ágiles para no detener el ritmo de producción y al mismo tiempo confiables.

Las dos grandes ramas de pruebas que se realizan son las de carácter destructivo y las de carácter no destructivo, siendo éstas últimas las que nos ocuparán ya que representan un campo que no ha sido suficientemente explotado en nuestro país a nivel comercial.

Por definición una prueba no destructiva es aquella que no afecta al material o producto en su uso final o en su estructura misma.

A diferencia de las pruebas destructivas que inutilizan el espécimen, las pruebas o ensayos no destructivos conservan los materiales y/o componentes de tal manera que es posible -- realizar la medición de la variable requerida y retornar el producto o material, sin marcas visibles o que se ha realizado la prueba.

En cuanto a sus limitaciones podríamos decir que las pruebas no destructivas son específicas, esto es, generalmente sólo revelan los tipos de defectos y condiciones para lo cual fueron diseñadas, en consecuencia, deben ser seleccionadas de acuerdo con los materiales específicos, los parámetros o condiciones a medir o detectar y el trabajo que ha de hacerse.

También se consideran como limitaciones los siguientes puntos:

a) Este tipo de pruebas involucra mediciones indirectas de-

propiedades que no tienen un significado directo en el servicio ó uso real del producto.

- b) Las pruebas son cualitativas y rara vez cuantitativas, lo que quiere decir que, por ejemplo, podríamos saber que una pieza fallará debido a que tiene grietas internas, pero no sabemos cual será el valor de la carga a la que va a fallar.
- c) Se requiere tener experiencia y criterio para relacionar los resultados obtenidos con los factores de servicio del producto.

Como contrapartida mencionaremos las ventajas de este tipo de pruebas y que como se podrá ver, están íntimamente ligadas al aspecto "costos de producción".

- a) Las pruebas se hacen directamente sobre el producto.
- b) Las pruebas se pueden hacer sobre todos los artículos producidos, si se justifica económicamente este tipo de control.
- c) La prueba se puede realizar sobre todo el producto o sobre todas sus regiones críticas.
- d) Es posible aplicar varios tipos de pruebas sobre el mismo producto.
- e) Se pueden aplicar pruebas sobre productos ya ensamblados y sin detener el ritmo de producción.
- f) Las pruebas se pueden efectuar periódicamente sobre el mismo producto y de esta manera correlacionar as pectos de "causa-efecto".

Todo lo anterior se manifiesta en un incremento de productividad, ya que, ahorra tanto material como mano de obra y tiempo productivo.

1.1 ELEMENTOS BASICOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Los elementos básicos de la mayoría de pruebas no destructivas son los siguientes:

- 1) Una fuente que proporciona en forma y distribución adecuada el medio por el cual realizamos la prueba en regiones apropiadas del producto. La fuente será entonces un tubo de rayos X, o una bobina de magnetización, o un isótopo radioactivo o una pistola atomizadora.
- 2) Una modificación del medio o de su distribución dentro del producto a probar, como resultado de discontinuidades o variaciones en las propiedades.
- 3) Un sensor que responda a los cambios de carácter o distribución del medio.
- 4) Un dispositivo que indique o registre las señales del sensor en forma útil.
- 5) Un observador o un dispositivo capaz de interpretar los datos y relacionarlos con las propiedades o discontinuidades del material.

1.2 MEDIOS TÍPICOS USADOS EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Se pueden usar varias formas de fuerza, energía y materia como medios de prueba. Cualquier medio adecuado que sea influenciado por las propiedades del objeto de prueba puede ser usado. A continuación mencionaremos los ejemplos más comunes:

1) Movimientos de materia

- 1,a) Líquidos penetrantes.
- 1,b) Gases penetrantes.
- 1,c) Por presión y fugas.
- 1,d) Visual.

2) Transmisión de energía

- 2,a) Corrientes parásitas.
- 2,b) Sonido y ultrasonido.
- 2,c) Partículas magnéticas.

3) Movimientos de materia y transmisión de energía

- 3,a) Rayos X y Rayos Gamma.
- 3,b) Corrientes eléctricas
- 3,c) Reacciones químicas y electro-químicas.
- 3,d) Movimiento de ondas y vibración.

1.3 PROPIEDADES QUE SE PUEDEN DETECTAR

Propiedades geométricas, tales como tamaño, forma, espesor y discontinuidades del material como son fracturas, porosidad, estratificación y encogimiento.

Propiedades mecánicas: dureza, constantes elásticas, características de amortiguamiento y esfuerzos o deformaciones.

Propiedades de composición y estructura, como son, aleación, tamaño de grano, segregación, inclusiones, corrosión etc.

Propiedades de absorción, reflexión y difusión, como son, transparencia, reflexión o refracción de Rayos X, Rayos Gamma, electrones, neutrones, etc., que están relacionados con el espaciamiento atómico, esfuerzo, temperatura, densidad, etc.

Propiedades eléctricas y magnéticas, tales como: - conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, distribución de corrientes parásitas, pérdidas por histeresis, energía almacenada, etc.

Propiedades térmicas como conductividad térmica, - expansión térmica, fuerza termoelectromotriz y cambios de otras propiedades debidas a temperaturas muy altas o muy bajas.

1.4 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS BASICOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Como se mencionó anteriormente se requiere de una fuente que proporcione en forma y distribución adecuada el medio por el cual realizaremos la prueba. Los diferentes tipos de fuentes se detallan a continuación:

1.- FUENTES PARA PRUEBAS POR EL METODO DE MOVIMIENTO DE MATERIAS.

- 1a) Fuentes para movimientos de sólidos. En la mayoría de los casos se hace el movimiento manualmente, -- por ejemplo, en el caso de calibrado mecánico de dimensiones, el inspector ajusta su micrómetro manualmente o usa un calibrador "pasa/no pasa". En los aditamentos automáticos de calibrado se usan dispositivos neumáticos o eléctricos para el posicionamiento de los sensores que toman las lecturas.
- 1b) Fuentes para movimientos de líquidos. Existen una gran variedad de fuentes o efectos que pueden ser usados para mover un líquido. En las pruebas hidrostáticas se usan líquidos como el agua o aceite a presión que pueden ser suministrados por una --- bomba, una carga gravitacional o la presión de la red urbana. En el caso de los líquidos penetrantes se depende de la tensión superficial y de la capilaridad.
- 1c) Fuentes para movimientos de gases. También se usan bombas para producir presión y en algunos casos se aprovecha la difusión atómica o la convección de los gases como en el caso de pruebas de fugas donde se utilizan vapores de Helio o Halógenos.

2.- FUENTES PARA PRUEBAS POR EL METODO DE TRANSMISION DE ENERGIA.

- 2a) Fuentes de energía luminosa que pueden ser de luz natural como el sol o de luz artificial generada por lámparas de incandescencia, fluorescentes, de arco, de vapor de mercurio, infrarrojas o ultravioletas. Cada una de las fuentes mencionadas tiene una aplicación específica y presenta ventajas también definidas.
- 2b) Fuentes de radiación penetrante, que se dividen en fuentes electrónicas que son los rayos X y --- fuentes radioactivas que son los rayos Gamma.
- 2c) Fuentes de campo magnético. El campo magnético -- puede ser establecido en el objeto a probar poniéndolo cerca de los polos de un imán permanente, pasando corriente a través de él o poniéndolo en un campo producido por bobinas o arreglos de conductores que transmitan corriente.
- 2d) Fuentes de campo eléctrico. El campo eléctrico -- puede ser producido por medio de arreglos de conductores con voltajes elevados. También se pueden obtener campos eléctricos por medio de fricción o soplando partículas sólidas a través de una tobera de hule.
- 2e) Fuentes de campos electromagnéticos. Los campos electromagnéticos de baja frecuencia se establecen comúnmente haciendo pasar una corriente alterna u oscilatoria a través de una bobina o un arreglo de conductores. Las ondas de radio y las microondas se producen en circuitos electrónicos oscilatorios.

Cabe mencionar que los campos de energía que se mencionaron tiene en común cierta característica: cada uno puede ejercer una fuerza o transmitir -- energía en el vacío; son una forma de campo electromagnético, y la diferencia principal reside en su rango de frecuencia característica o su longitud de onda.

3.- FUENTES PARA PRUEBAS POR EL METODO DE MATERIA Y ENERGIA.

3a) Fuentes de partículas de alta energía.

3a1) Fuentes de neutrones. Los neutrones son partículas sin carga eléctrica con una masa ligeramente más pequeña que los protones, y -- que pueden ser emitidos espontáneamente por desintegración de los materiales radioactivos o por bombardeo con rayos Gamma emitidos del Cobalto-60 sobre Berilio.

3a2) Fuentes de electrones. Los rayos Beta o haces de electrones se proveen generalmente por medio de emisión termoiónica o de campo, de los cátodos calientes en los tubos de electrones o aceleradores. También se usan materiales radioactivos que emiten rayos Beta de niveles de energía específica.

3a3) Fuentes de iones. Los iones gaseosos, o átomos o moléculas cargadas se pueden producir sujetando el elemento gaseoso específico a -- descargas eléctricas ionizantes o a radiación.

3b) Fuentes de corriente eléctrica.

3b1) Fuentes termoeléctricas. Los potenciales termoeléctricos se originan por la temperatura de unión entre dos metales distintos. Una co

rriente eléctrica fluye cuando se cierra el circuito y se varía la temperatura. Este es el caso de los termopares.

3b2) Fuentes electroquímicas. El potencial se -- produce por medio de una reacción galvánica que provoca la migración de iones cuando se aplica un campo eléctrico externo.

3c) Fuentes de calor que transmiten energía por co--vección, conducción o radiación.

3d) Fuentes de vibración. Las vibraciones mecánicas de frecuencias sónicas o ultrasónicas se pueden generar por medio mecánicos (masa excéntricas ro--tatorias), por transductores electrodinámicos -- (bocinas para vibraciones audio frecuencia) o -- por transductores ultrasónicos.

1.5 COSTOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

El aspecto económico juega un papel bien importante dentro de cualquier proceso productivo, y como ya se mencionó en la parte introductoria, las pruebas no destructivas como parte que son de la etapa de aseguramiento de calidad involucran en sí costos directos e indirectos que inciden en el costo final del producto.

A continuación haremos un pequeño desglose de los costos que consideramos como más importantes dentro de las pruebas no destructivas.

- 1.- Costos de mano de obra.
- 2.- Costos de los materiales de prueba (película para rayos X, líquidos penetrantes y otros productos).
- 3.- Costos de operación (electricidad, agua, refacciones, etc).
- 4.- Costos fijos, que pueden ser: área productiva ocupada por el equipo, depreciación del equipo, seguros, etc.

Estos costos pueden variar para una prueba no destructiva específica dependiendo de como se aplique la prueba: estas variaciones pueden ser:

- a) La cantidad de partes a inspeccionar; ya que de manera análoga a los costos de proceso, se requiere un tiempo de ajuste o montaje para cada pieza, que puede ser pequeño para el caso de líquidos penetrantes o muy grande, del orden de media hora o más, para posicionar un objeto y la película en una prueba radiográfica.
- b) El manejo de los especímenes, que en algunas ocasiones representa más costo que la producción misma. Este manejo se refiere al transporte hasta y desde el

equipo de prueba.

- c) La automatización del método de prueba. Muchas de -- las pruebas no destructivas requieren más de un operador para llevarse a cabo.
- d) La exactitud requerida. La exactitud representa generalmente un control más estrecho, y a su vez esto representa, más cuidado en el montaje, aplicación -- más cuidadosa del método, un inspector más avezado, etc.
- e) La tolerancia permitida en la interpretación de los resultados.
- f) El porcentaje de los defectos que la prueba es capaz de detectar.
- g) Eficiencia y calificación del personal que realiza -- la prueba.

CAPITULO 2

LIQUIDOS PENETRANTES

2.1.- DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

La prueba no destructiva de líquidos penetrantes puede ser usada para la detección de discontinuidades en la superficie o grietas que se extiendan hacia la superficie del espécimen de prueba.

La prueba es aplicable tanto a materiales magnéticos - como a no magnéticos y tiene la ventaja de ser un método rápido, de fácil aplicación, relativamente barato y confiable, aunque por otro lado solamente nos revelará los defectos que se hallen en la superficie o aquellos que afloren a la misma superficie. Todos los defectos encontrados por este método - nos dan solamente una indicación aproximada de la profundidad y el tamaño de la grieta, y es a través de la experiencia como se podrá determinar la profundidad y el tamaño en forma aproximada.

Este tipo de prueba viene a ser una extensión de las - pruebas visuales con la ventaja de que una vez aplicado el - método se depende menos del factor humano al momento de localizar posibles defectos ya que estos quedarán más resaltados a la vista.

La prueba de líquidos penetrantes puede ser usada para localizar marcas de rectificado, grietas de fundición, grietas de fatiga, encogimientos, costuras, traslapes, porosidades, marcas de maquinado, etc. siempre y cuando se encuentren en la superficie.

Los defectos antes mencionados se comportan como vasos capilares que permiten la absorción del líquido y la retención del mismo después de que se ha removido el exceso del mismo, cuando se presentan cavidades o grietas demasiado grandes que no pueden retener los líquidos, éstas son detectadas generalmente a simple vista.

Los líquidos penetrantes pueden ser divididos en dos tipos: los penetrantes colorantes y los penetrantes fluorescentes. En el caso de los penetrantes colorantes se disuelve una tinte en el líquido de tal manera que proporcione un buen contraste entre el revelador y el penetrante. En el caso de los penetrantes fluorescentes se disuelve un material fluorescente en el penetrante. Estos materiales fluorescentes son derivados del petróleo y su presencia se resalta si se les observa con luz negra o luz ultravioleta.

La técnica usada en las pruebas de líquidos penetrantes es esencialmente la misma para todos los tipos de penetrantes y consta de los siguientes pasos básicos:

- 1.- Limpieza de la superficie del espécimen.
- 2.- Aplicación del penetrante.
- 3.- Remoción del exceso de penetrante
- 4.- Aplicación del revelador.
- 5.- Inspección e interpretación.

Cuando se use un tipo de penetrante con pos-emulsificante se requiere agregar un paso más. A la hora de remover el exceso de penetrante se aplica un emulsificante con el objeto de convertir el penetrante a lavable en agua.

Los penetrantes de tipo de pos-emulsificante localizan defectos más pequeños que los otros tipos de penetrantes debido a la adición del emulsificador que incrementa la tensión superficial y la viscosidad del líquido.

2.2.- LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

Es absolutamente indispensable que la superficie del espécimen esté libre de suciedad, grasa, cera, óxido o cualquier otro material que llene o tape las aberturas que pudieran encontrarse en la superficie y que impidan la acción del penetrante o nos den resultados falsos.

Algunos medios comúnmente usados para limpiar las superficies son líquidos solventes, chorros de vapor, vapor desengrasante (percloroelileno), ataque con ácidos, etc. Generalmente los fabricantes de líquidos penetrantes proporcionan un tipo de limpiador adecuado para sus productos.

La limpieza con chorros de arena no se recomienda ya que tiende a tapar pequeñas aberturas superficiales, y para remover capas de óxidos es mejor usar chorros de vapor.

Las superficies tratadas con ácidos fuertes o soluciones cáusticas tienden a disminuir el efecto de la fluorescencia.

2.3.- APLICACION DEL PENETRANTE

La aplicación del penetrante a la superficie puede ser hecha por medio de brocha, por inmersión o atomización (spray) siendo éste último el que proporciona una mejor distribución del penetrante.

Debido a la baja tensión superficial del penetrante, éste se introduce en las aberturas por capilaridad. Si la superficie del material está ligeramente caliente, las aberturas -- tenderán a expandirse ligeramente y facilitará la penetración -- asimismo si se incrementa la temperatura del líquido se obtendrán mejores resultados; sin embargo algunos fabricantes recomiendan no calentar el líquido debido a su bajo punto de evaporación.

Aunque la característica principal del penetrante es --

precisamente el poder penetrar en el interior de las discontinuidades, ésto no basta, y es necesario que reúna otras características, entre las que se pueden citar las siguientes:

- Poder penetrar en discontinuidades muy finas y poder permanecer en las grandes.
- No evaporarse.
- Ser fácilmente eliminable de la superficie.
- Ser difícilmente eliminable de las discontinuidades.
- Poder extenderse en capas de película muy fina.
- No ser corrosivo ni producir ataque a los materiales a inspeccionar.
- No tener olor desagradable.
- No ser inflamable.
- Ser estable al almacenamiento.
- No tener componentes tóxicos y
- Ser económico.

De un modo general los tiempos de penetración varían entre 5 y 60 minutos, dependiendo de la naturaleza del material, su estado o proceso y del tipo de discontinuidad. Un factor -- que influye en el tiempo de penetración es la temperatura del penetrante y de la pieza a inspeccionar, ya que con temperaturas altas el penetrante se puede volatilizar y a temperaturas bajas la capilaridad disminuye. La temperatura a la cual se realizan la mayoría de las pruebas varía de 15 a 50 grados centígrados.

ELIMINACION DEL EXCESO DE PENETRANTE

El modo de eliminar el exceso de penetrante dependerá de las características del penetrante utilizado, pudiendo ser éste clasificado bajo el punto de vista de esta operación como:

- Lavables en agua.
- Postemulsificable.
- Eliminables con solventes.

Lavables en agua. - Son penetrantes que en su formulación se han incorporado elemento tensoactivos o detergentes que ha

cen que sea soluble en agua.

Postemulsificables. - Este tipo de penetrantes no con--- tienen detergentes y no son de por sí solubles en agua, siendo preciso para eliminarlos el utilizar un tensoactivo deter-- gente que se llama emulsificador.

El tiempo de contacto del emulsificador con el penetran-- te es crítico y debe de ser lo más corto posible para evitar-- que el agua pueda extraer el penetrante que está dentro de -- las discontinuidades.

Hay dos tipos de emulsificadores: los hipofílicos o que tienen base de aceite y los hidrofílicos o que tienen base de agua.

Eliminables con solventes. - Este tipo de penetrante re-- quiere un solvente especial para eliminarlo, mismo que llama-- remos "eliminador". El eliminador es un producto formulado es-- pecialmente por cada fabricante y es apropiado para su produc-- to.

2.4.- REVELADO

El revelado es la operación en la que se hace visible al ojo humano el resultado de la inspección. El producto que se -- utiliza con este fin se llama revelador y es un polvo muy fino que se extiende sobre la superficie a examinar después de ha-- ber eliminado el exceso de penetrante.

Las funciones del revelador son las siguientes:

- Actúa como un papel secante, pues extrae una pequeña can-- tidad de penetrante de las discontinuidades.
- Proporciona una base sobre la que el penetrante puede ex-- tenderse aumentando así la superficie visible.
- Constituye un fondo adecuado que aumenta el contraste -- con respecto al que se obtendría sobre la superficie de-- la muestra, cubriendo además posibles irregularidades -- que podrían causar confusión.
- Los reveladores aplicados por vía húmeda (dispersos en -- un solvente) tienen la ventaja adicional de que el solven--

te contribuye a aumentar la cantidad de penetrante extraído.

Para cumplir con las funciones antes descritas, el revelador deberá reunir las siguientes características:

- Debe ser absorbente para asegurar la función secante.
- Debe estar finamente pulverizado para una buena definición de la discontinuidad.
- Debe tener suficiente poder cubriente para enmascarar - los colores de fondo de la muestra.
- Debe ser de fácil aplicación.
- Debe ser fácilmente removible después de la inspección.
- No debe contener sustancias tóxicas o nocivas al operador.

El tiempo de revelado suele ser corto (del orden de 1 - minuto) sobre todo cuando se trata de reveladores aplicados - en forma de polvo seco o en suspensión en líquidos volátiles, aunque en estos casos influye en cierta medida las condiciones ambientales.

En el caso de reveladores con base de agua el tiempo -- tiende a aumentar.

2.5.- INSPECCION E INTERPRETACION

Este último paso viene a ser el más importante de todo el proceso. El tiempo que transcurre entre el revelado y la - inspección puede variar desde unos cuantos minutos hasta varias horas, dependiendo de qué tipo de defecto es el que estamos interesados en buscar, con qué exactitud nos interesa determinar las fallas, o qué tan hábiles somos para interpretar los resultados. El tipo y espesor de la película de revelador utilizada en la prueba determinan el tamaño mínimo de defectos detectables; así que si usamos una película demasiado gruesa, los defectos pequeños no serán revelados ya que no hay suficiente penetrante para difundirse a través de toda la capa o película, mientras que si usamos un revelador seco podremos - observar los defectos más pequeños.

Los tipos de indicaciones que obtenemos de la prueba de--

penden del tipo de penetrante que usamos; si usamos un penetrante fluorescente los defectos se mostrarán como puntos o líneas amarillas o verdes brillantes en un fondo oscuro, mientras que si usamos un penetrante de tinta los defectos serán indicados como puntos o líneas rojas en un fondo blanco.

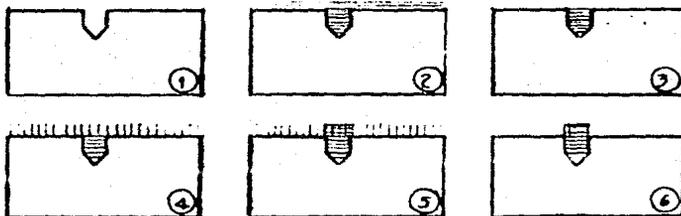
La interpretación de los patrones característicos que indiquen los tipos de defectos es de extrema importancia y deberá ser hecha por un inspector experimentado.

Una grieta o una fisura de enfriamiento brusco se nota a veces como una línea, los puntos indican picaduras o porosidad una serie de punto en línea puede indicar fallas por enfriamiento brusco o capas soldadas parcialmente.

Cabe señalar una vez más que por este método descrito solamente observaremos fallas o defectos que o bien toda la extensión se encuentra en la superficie del espécimen o bien la falla es sub-superficial y lo único que observaremos son las proyecciones que llegan a la superficie misma.

DESCRIPCION GRAFICA DEL METODO

- 1.- LIMPIEZA DEL MATERIAL
- 2.- APLICACION DEL PENETRANTE
- 3.- REMOCION DEL EXCESO DE PENETRANTE
- 4.- APLICACION DEL REVELADOR
- 5.- DIFUSION DEL PENETRANTE EN EL REVELADOR
- 6.- INSPECCION



Normas nacionales o internacionales aplicables

Mexicana: DGN-B-133/1 1976 Método de inspección con líquidos penetrantes.

Americana: ASTM E 165 65 Liquids Penetrants inspection method.

CAPITULO 3

RADIOGRAFIA

3.1.- DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

La inspección radiográfica es un método de inspección de tipo no destructivo, cuyo propósito es detectar la presencia y naturaleza de defectos macroscópicos en el interior de los materiales. Este método se basa en la propiedad que tiene la energía radiante, de longitud de onda muy corta para penetrar los cuerpos opacos.

El método radiográfico puede ser empleado para el examen de:

- Uniones soldadas
- Piezas moldeadas
- Sistemas y componentes en fase de montaje o en servicio.
- Materiales no metálicos.

En un principio este método, se aplicó, casi exclusivamente al examen de uniones soldadas y piezas moldeadas, relacionándose únicamente con problemas de defectología. Posteriormente, el desarrollo de los equipos de rayos X, tanto en el aumento de su potencia como en la reducción de sus dimensiones, ha permitido extender la aplicación de este método, a la resolución de problemas comunes a muchos sectores industriales y tecnologías diversas. Entre estos problemas además de los ya mencionados, propios de la defectología cabe mencionar los relacionados con el examen de "zonas ocultas o inaccesibles" a --- otros métodos de ensayo; problemas concretos de metrología, tales como comprobación de espesores, holguras y excentricidad o coaxialidad, y por último, la comprobación indirecta de la calidad de la mano de obra.

3.2.- FUENTES DE RADIACION

Como ya se mencionó en párrafo anterior el método está basado en la radiación, producto de una fuente que emite la energía. En la radiología industrial se utilizan dos tipos de fuentes de radiación que responden a principios físicos distintos, los rayos - X cuya fuente emisora requiere de un cierto consu-

mo de energía eléctrica y los rayos gamma que se generan por el proceso espontáneo e irreversible de las reacciones nucleares - de átomos inestables que pierden energía conforme tienden a hacerse estables.

1. RAYOS X

Un bulbo o tubo al vacío consta de un cátodo (-) y un ánodo (+), denominados filamento y blanco de tungsteno respectivamente. Al aplicar una corriente en el filamento, lo hace que se ponga incandescente y emita electrones. Aplicando simultáneamente una diferencia de potencial de varios miles de voltios entre cátodo y el ánodo, los electrones producidos en cátodo viajan a gran velocidad hacia el ánodo y al chocar con éste se genera -- una energía radiante denominada rayos X.

Al variar el potencial aplicado se variará la longitud de onda y penetración de los rayos - X, y al variar la corriente - aplicada al filamento se variará la intensidad de los rayos -X, de tal manera que la radiación producida se podrá gobernar, aplicando la corriente y el potencial adecuados para cada problema, y obtener radiografías que suministren la información requerida, completa y precisa.

3.3.- EQUIPO UTILIZADO

Los aparatos de rayos -X constan esencialmente de dos partes:

- a) Cabezal en el cual van instalados los transformadores de bajo o alto potencial y el bulbo donde se producen los rayos -X.
- b) Caja de controles en la cual es regulada la corriente y el potencial, de tal manera que se puedan fijar adecuadamente para cada problema específico.
Se hace mención del aparato de rayos - X como uno de los elementos primordiales del equipo para la inspección, pero desde luego se deberá considerar que el equipo completo para este tipo de trabajo, consta -- principalmente de lo siguiente:
- c) Laboratorio de temperatura interior controlable, a -

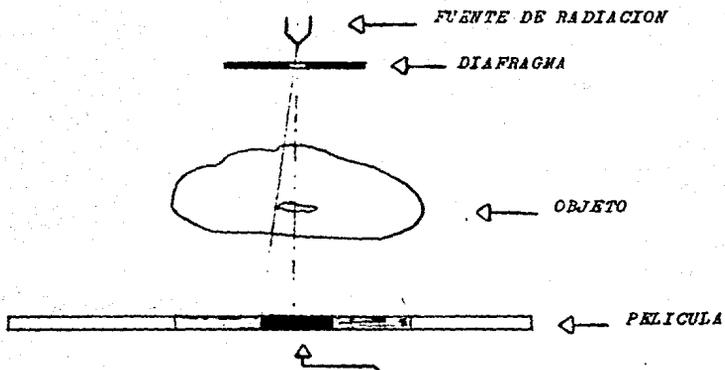
- prueba de luz, completo para el revelado de las radiografías tomadas.
- d) Planta generadora de energía eléctrica, la cual proporcionará la energía necesaria para la operación del aparato de rayos X y demás accesorios.
 - e) Transformadores de potencial eléctrico para obtener los valores requeridos de alimentación del equipo - de rayos -X y del resto del equipo de laboratorio.
 - f) Chasis de diversas medidas para exponer la película virgen, entendiéndose por chasis la funda de cartón o cualquier otro material opaco, que protege la película de la luz.
 - g) Equipo para medición, control y protección de radiación.
 - h) Equipo diverso.

3.4.- SELECCION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA ONDA DE RADIACION.

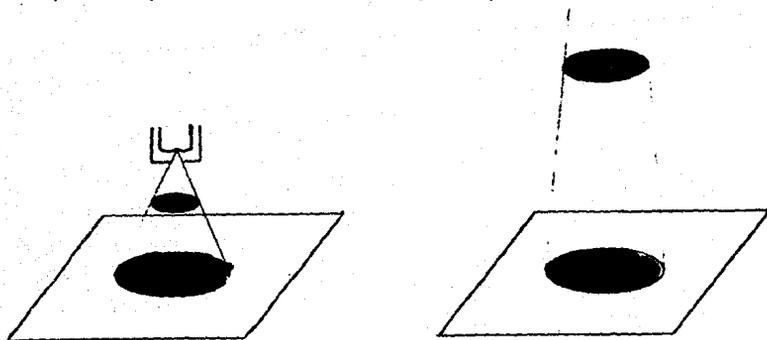
Al incidir los rayos - X sobre un material bajo inspección una parte de ellos son absorbidos dentro del mismo material y - el resto lo atraviesa, pudiéndose registrar la energía que lo - atraviesa en una película sensible a este tipo de energía.

Este registro consiste en la proyección de una sombra de - la imagen del material, que aparece en la película sensible después de revelada y de una densidad o ennegrecimiento determinado, proporcional a la cantidad de rayos - X que llega al negativo.

Si una discontinuidad de menor densidad que la del material bajo inspección existe dentro de éste, reducirá el espesor en el área que ocupe y consecuentemente a través de esa área pasará mayor cantidad de radiación, lo que ocasionará que en el negativo se forme una zona de mayor densidad o ennegrecimiento, precisamente de la forma del contorno de la discontinuidad, vista desde un plano perpendicular a la incidencia de la radiación según se muestra en la figura:



La imagen de los defectos registrados en una radiografía será más exacta a medida que se aumente la distancia entre la fuente de radiación y la película, y que ésta última esté lo más próxima posible al material bajo inspección.



Se ha de procurar que el haz de radiación sea perpendicular a la pantalla o película y que ésta a su vez, sea paralela al objeto radiografiado. Si estas condiciones no se cumplen la imagen radiografiada se presentará deformada.

Existen otros elementos que pueden contribuir a que la imagen presente deformaciones como son:

PENUMBRA GEOMETRICA.- En este caso, cada punto del foco o fuente emisora de radiación se comporta como si estuviera aislado y dá lugar a la formación de una sombra, la superposición de estas sombras reduce las dimensiones de la sombra propiamente dicha, apareciendo ésta rodeada de una zona menos iluminada que es la "penumbra" y que podemos designar como "penumbra geométrica".

PENUMBRA DEL PROCESO.- Si durante la exposición radiográfica se mueve la fuente emisora de la radiación, el objeto que se radiografía o la película, los contornos de la imagen aparecerán borrosos, dando como consecuencia una falta de nitidez análoga a la producida por la penumbra geométrica: se designa a este factor como "penumbra del proceso", incluyéndose en élla la penumbra que se produce a consecuencia del proceso de revelado y fijado de la película.

PENUMBRA INTERNA O INHERENTE.- Depende del tipo de película la radiográfica utilizada y de la energía de la radiación empleada.

La penumbra que podemos llamar total depende, esencialmente, de los factores considerados. Ahora bien, si eliminamos -- las causas del movimiento de la fuente emisora, el objeto o la película, una vez determinado el tipo de película y de radiación que se va a utilizar, la falta de definición depende únicamente de la penumbra geométrica. Tomando como base las recomendaciones obtenidas en el Código ASME Sección V Nondestructive Examination, Artículo 2, Párrafo T251 (edición 1977), encontramos, que para el valor de la penumbra geométrica se establece que estos no deben ser superiores a los siguientes:

ESPESOR DEL MATERIAL		PENUMBRA MAXIMA
Hasta	51 mm.	0.5 mm
51	t < 76 mm	0.76 mm
76	t < 102 mm	1.00 mm
	t > 102 mm	1.80 mm

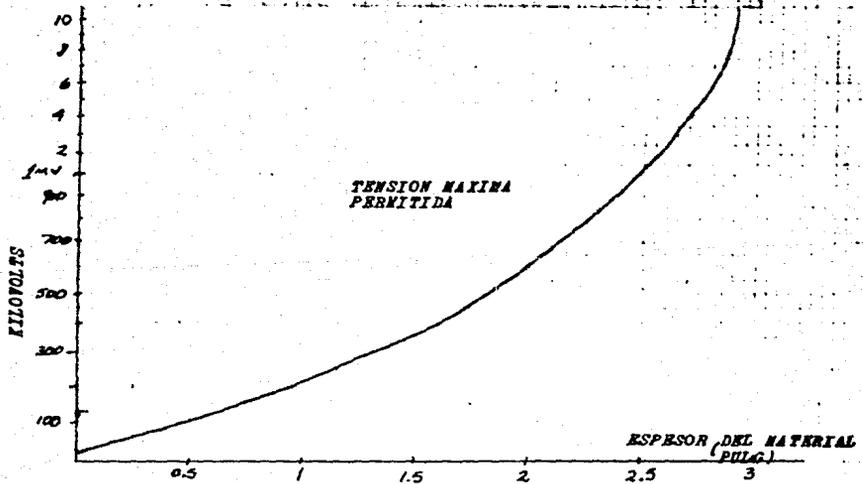
La calidad de registro de una radiografía depende primordialmente de seleccionar correctamente el potencial en el bulbo del aparato de rayos - X, para obtener la radiación con la longitud de onda adecuada al espesor del material que se va a inspeccionar. La longitud de onda determina que los rayos - X penetren con más o menos dificultad al material bajo inspección. La penetración es inversamente proporcional a la longitud de onda, o dicho en otras palabras, a menor longitud de onda corresponde una mayor penetración de rayos - X a través de un material de un espesor dado.

Deberá tenerse en cuenta que si la penetración de la radiación es excesiva, pasará casi íntegra a través de un material ligero y/o delgado. Si dentro de este material existe una discontinuidad o defecto que reduzca su sección en una zona determinada, la radiación que pase a través de esta zona tendrá un valor casi igual al que pase a través del resto del material y consecuentemente el registro en la radiografía tendrá muy poca diferencia, ya que la densidad o ennegrecimiento del negativo ya revelado será casi uniforme en toda su superficie, es decir, el contraste radiográfico entre la zona de la discontinuidad y la del resto del material, prácticamente no será tan marcado para que pueda ser observado a simple vista ni con la ayuda de algún dispositivo.

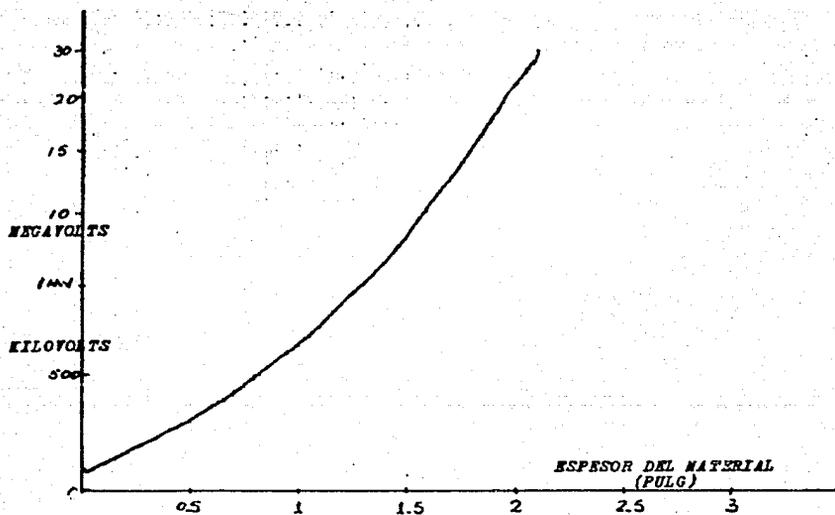
De acuerdo a lo anterior será importante seleccionar cuidadosamente el potencial en el bulbo para obtener el máximo contraste y sensibilidad, para que nos proporcione la mayor y más veraz información.

Teniendo esto en cuenta, el Código ASME Sección V, Art. - 2 Párrafo T240 (edición 1977), nos fija las condiciones límite a tener en cuenta para la elección de la energía de la ra-

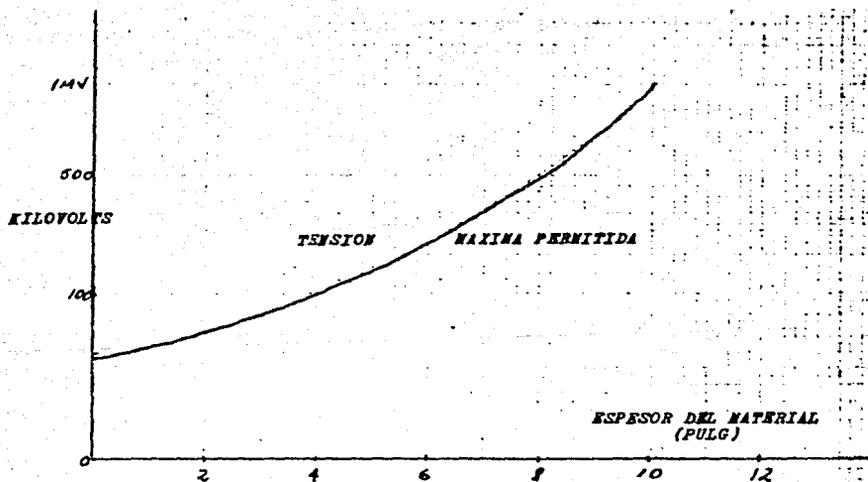
diación. Estas condiciones son las que se dan en las siguientes figuras:



TENSIONES MÁXIMAS PARA RADIOGRAFÍA DE ACERO.



TENSIONES MAXIMAS PARA RADIOGRAFIA DEL COBRE Y/O CON ALTO
CONTENIDO EN NIQUEL.



TENSIONES MAXIMAS PARA RADIOGRAFIA DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.

Además de los factores mencionados, la longitud de onda, contraste y sensibilidad, la inspección con equipos de rayos X está determinada por los siguientes factores.

- a) Distancia de la fuente de rayos -X a la película.
- b) Intensidad de los rayos -X y tiempo de exposición.
- c) Espesor y densidad del material.
- d) Tamaño de la fuente (punto focal).
- e) Tipo de película y pantalla o filtro.

DISTANCIA DE LA FUENTE DE RAYOS X A LA PELICULA.

El material bajo examen es colocado entre la fuente de rayos -X y la película. La película dentro de su chasis deberá estar lo más próxima posible a la superficie del material que se inspeccione, de preferencia, y siempre que sea posible deberán estar en contacto.

En ningún caso la distancia entre la fuente y la película deberá ser menor de 7 veces la distancia de la película a la cara que se desee inspeccionar.

INTENSIDAD DE LOS RAYOS -X Y TIEMPO DE EXPOSICION.

La intensidad de los rayos -X es directamente proporcional a la cantidad de corriente en el cátodo, y para una condición dada, el tiempo de exposición variará en proporción inversa a la variación de la corriente en el cátodo del bulbo.

ESPESOR Y DENSIDAD DEL MATERIAL.

De estas características dependerá la selección del potencial (kilovolts) en el bulbo, para determinar la longitud de onda, y por consiguiente la penetración adecuada para el espesor y tipo de material que se esté inspeccionando. Para el caso de inspección de uniones soldadas de acero, los valores recomendados por la Norma API para seleccionar el kilovoltaje apropiado para obtener radiografías de máxima sensibilidad, contraste y registro, son los siguientes:

ESPESOR TOTAL DEL METAL BASE (PULG).	POTENCIAL MAXIMO (KILOVOLTS).
Hasta 0.250	110
9/32 hasta 3/8 inclusive	130
13/32 hasta 5/8 inclusive	160
21/32 hasta 7/8 inclusive	200
29/32 hasta 1.500 inclusive	300
TAMAÑO DE LA FUENTE (PUNTO FOCAL)	

La imagen de los defectos será menos distorsionada a medida que el tamaño de la fuente emisora de rayos -X (punto focal) sea más pequeña.

La Norma API especifica que la fuente de radiación de radiación X o Gamma no deberá tener un tamaño efectivo mayor que el especificado en la tabla siguiente, para la distancia película-fuente indicada.

DISTANCIA MINIMA PELICULA-FUENTE (PULGADAS)	TAMAÑO EFECTIVO DE LA FUENTE. (MILIMETROS)
6	2.5
10	3.5
18 y mayores	6.0

SISTEMA DE RAYOS GAMMA

El sistema de inspección radiográfica con rayos gamma es semejante al sistema de rayos X ya que los rayos gamma son similares a los rayos X de pequeña longitud de onda, como los producidos por aparatos de rayos -X de 600 a 2,200 kilovoltios y su diferencia básica consiste en que mientras los rayos -X requieren de una fuente de alimentación de energía eléctrica para ser producidos, los rayos gamma se producen constantemente, sin la aportación de ninguna otra energía; sino, como ya lo mencionamos, son producidos por desintegración atómica de elementos radioactivos o radioisótopos.

De los varios cientos de radioisótopos conocidos que existen, sólo unos pocos son usados ampliamente en la radiografía industrial, los demás son poco apropiados debido a varias razones, entre las cuales las más importantes son: su corta vida -

media, los grandes volúmenes necesarios para tener la potencia requerida para inspección radiográfica, y/o su alto costo.

Los radioisótopos más comúnmente usados en la industria - en nuestro país son: Cobalto 60 y el Cesio - 137, cuyas características principales se enuncian a continuación:

El Cobalto 60 es un metal duro, de color gris, con propiedades físicas muy parecidas a las del hierro, con una vida media de 5.3 años, cuya radiación es de una longitud de onda equivalente a la producida por un aparato de rayos -X de 1,200-Kilovoltios.

El Cesio -137 se presenta generalmente en forma de cloruro de Cesio, es un polvo soluble, con vida media de aproximadamente 30 años y cuya radiación es de una longitud de onda equivalente a la producida por un aparato de rayos X de 660 Kilovoltios.

Las fuentes de rayos Gamma, o bombas radioactivas constan de un elemento radioactivo debidamente encapsulado, generalmente en recipientes de acero inoxidable para protegerlos y evitar que se desgasten por el roce producido sobre las superficies de trabajo o la de su blindaje.

Como los isótopos radioactivos emiten constantemente radiación, la cual es nociva a los organismos vivos, es necesario aislarlos, para lo cual son almacenados y transportados en sus contenedores de plomo y acero que actúa como blindaje no permitiendo el escape de cantidades de radiación mayores que las permitidas por los organismos oficiales respectivos, para protección de todo ser viviente.

La potencia de las bombas radioactivas utilizadas para -- trabajos de inspección en el campo, es limitada por los siguientes factores: tamaño efectivo de la fuente de radiación y blindaje necesario para su segura manipulación.

No es conveniente usar radioisótopos de gran potencia, debido a que el tamaño de la fuente radioactiva es muy grande y al aumentar sus dimensiones producirá imágenes más difusas debido al gran tamaño del punto focal efectivo de la misma, asimismo el blindaje excesivo necesario para su manejo en el cam-

po, las vuelven imprácticas.

Debido a que las fuentes de rayos Gamma emiten radiación en forma constante y en todas direcciones, su manejo debe efectuarse mediante el procedimiento a distancia, que protege de la radiación al personal que las manipule. Este procedimiento puede dividirse en las siguientes dos categorías:

- a) El que permite mover la fuente del centro a la superficie del contenedor blindado.
- b) El que permite llevar la fuente desde el contenedor a un punto prefijado, situado a cierta distancia.

El del primer tipo generalmente produce un haz de radiación más o menos dirigido en una dirección, mientras que el segundo tipo produce una fuente de radiación libre en todos sentidos.

Ambos sistemas tienen utilidad radiográfica, siendo más apropiado el segundo sistema para usarse en el campo y con fuentes de potencia media o baja.

El equipo empleado para los trabajos de inspección con rayos Gamma es similar al que se emplea en inspecciones con rayos X, con la salvedad de que la fuente de radiación empleada no necesita de energía eléctrica, ya que su actividad es natural y constante, siendo necesario, en cambio, contar con el contenedor blindado, de acuerdo con la potencia y tipo de isótopo radioactivo empleado.

La manipulación de la bomba radioactiva generalmente se efectúa mediante una barra o caña de la mayor longitud posible, lo cual permite al radiógrafo permanecer a una distancia tal que la radiación que reciba no alcance límites que le perjudiquen.

Este procedimiento es recomendable para inspeccionar piezas fundidas de secciones variables y tuberías de acero con espesor de pared de más de 1 1/2 de pulgada.

El método para inspeccionar tuberías consiste en colocar la bomba radioactiva sobre la superficie exterior del tubo, o puesta al tercio de la unión en que se coloca la película radiográfica dentro de su chasis, y calculando el tiempo de ex

posición de acuerdo con el diámetro de la tubería, su espesor material y potencia de la fuente, etc., para obtener radiografías de la densidad deseada. El proceso de revelado, secado e interpretación de la radiografía generalmente se lleva a cabo en el campo, en laboratorios móviles especialmente equipados.

Para poder utilizar prácticamente el sistema de inspección con rayos Gamma es necesario conocer la penetración de la radiación en distintos materiales. Cuando ésta se ha medido bajo condiciones controladas, el radiógrafo podrá calcular los tiempos de exposición necesarios para cada variante de espesor y clase de material, dependiendo de la rapidez de la película usada, de la potencia de la fuente y de la distancia entre ésta y la película y dependiendo además de la densidad que quiera obtener en la radiografía.

3.5 COMPARACION DE VENTAJAS ENTRE LOS DOS METODOS

VENTAJAS TECNICAS:

RAYOS X

-Por ser una radiación generada al aplicarse un potencial y corrientes predeterminadas, se puede obtener radiación de la longitud de onda necesaria para inspeccionar correctamente el espesor de cualquier material.

Los rayos -X pueden usarse para radiografiar todos los materiales y espesores que puedan emplearse para aplicación industrial, cumpliendo ampliamente con las especificaciones de las normas más estrictas.

-Su punto focal de radiación es el más apropiado para radiografiar cualquier tipo de material. Como se expuso anteriormente, para radiografiar soldadura hasta de 1 1/2 de espesor dicho punto focal no pasa de 1.5 mm.

-Por su alta velocidad de exposición es posible radiografiar soldaduras calientes precisamente al terminarse de soldar.

-En aplicaciones de mantenimiento preventivo, permite observar con claridad y precisión si los defectos que contenga una soldadura o material se han mantenido sin progresar a través del tiempo, mediante la comparación de una radiografía actual con una tomada tiempo atrás.

-Su aplicación para la detección de áreas corroídas, en tuberías en las que no es posible inspeccionar visualmente la pared interior, permite localizar y precisar el tipo de corrosión por la nitidez de la imagen que proyecta.

-Da mayor seguridad para aceptar o rechazar un defecto, con menores posibilidades de error, por la nitidez con que aparece la imagen en la radiografía.

RAYOS GAMMA

-No requieren de energía eléctrica para producir radiación.

-La longitud de onda extremadamente corta de los rayos Gamma permite que sean usados para radiografiar metales gruesos

de forma complicada y con diferencia pronunciadas de espesor.

- Cuando se usa la fuente de radiación libre, su tamaño reducido permite su introducción en orificios muy pequeños, - hasta de 1" de diámetro.

DESVENTAJAS TECNICAS:

RAYOS X

- Cuando se utilizan rayos -X de bajo voltaje, o sea de gran longitud de onda, el contraste que se obtiene no permite observar diversos rangos de espesor en una misma radiografía, como en el caso de piezas fundidas irregulares.

-La necesidad de alimentar el equipo con energía eléctrica de 110 o 220 volts, especialmente en el campo.

-El tamaño del cabezal generador de los rayos -X, que en algunos casos hace difícil o imposible tomar la radiografía, - cuando se requiere que la fuente se introduzca por un orificio menor de 7" de diámetro, por ejemplo, en un recipiente.

RAYOS GAMMA

-Al ser su emisión de radiación por desintegración natural, no es posible aumentar o disminuir su intensidad, por lo que siempre hay que esperar el tiempo necesario para que la película se exponga a la densidad deseada.

-La manipulación de la fuente requiere que sea guardada en su recipiente blindado, mientras se coloca y/o retira la película con que se toma cada radiografía, lo cual consume -- tiempo y baja todavía más el rendimiento.

VENTAJAS DE SEGURIDAD:

RAYOS X

-El hecho de que el equipo de rayos -X emita radiación únicamente al aplicarle un potencial eléctrico, lo hace más -- seguro y confiable.

-La radiación siempre es dirigida en un haz que cubre únicamente la región que va a ser radiografiada.

-No hay peligro alguno en caso de robo o extravío, aún - en el caso de que se tratara del equipo completo.

-En los equipos modernos, por estar los transformadores de alto voltaje dentro del cabezal, no existen riesgos de ac-

cidentes eléctricos.

RAYOS GAMMA

No existe prácticamente ninguna ventaja.

DESVENTAJAS DE SEGURIDAD

RAYOS -X

No existe prácticamente ninguna desventaja de seguridad.

RAYOS GAMMA

-Emite radiación constantemente en todas direcciones

-Por ser una radiación muy penetrante, requiere de un blindaje muy grueso para protegerse de la radiación.

-En caso de robo o extravío, representa un peligro muy serio por su emisión constante de radiación, y por no emitir señal alguna que lo indique.

-En el caso del cesio-137, por ser un cloruro soluble existe la posibilidad de una contaminación muy grande en caso de un accidente.

-La posibilidad de contaminación, cuando está mal encapsulada la fuente, o manejada por personal que no esté debidamente especializado.

VENTAJAS DE RENDIMIENTO:

RAYOS -X

-Al poderse regular a voluntad la intensidad de la radiación, es posible radiografiar en un mínimo de tiempo. Se puede considerar que su velocidad de exposición en soldaduras de tubería es de 10 a 100 veces más rápida que la de los rayos gamma.

-Cuando es necesario, permiten que pueda ser tomado un volumen mayor de radiografías, con el mismo equipo y personal, en un lapso determinado.

RAYOS GAMMA

No existe prácticamente ninguna ventaja de rendimiento.

DESVENTAJAS DE RENDIMIENTO:

RAYOS -X

-Al inspeccionar espesores mayores de 1 1/2" en acero o su equivalente en otros materiales, el rendimiento es menor si no se cuenta con equipo del kilovoltaje apropiado para atrave--

zar el material en un tiempo razonable.

RAYOS GAMMA:

No existe prácticamente ninguna desventaja de rendimiento.

CALIFICACION DE LAS RADIOGRAFIAS

Las normas aplicables indican que las radiografías para juzgar la calidad del producto motivo de análisis, deberán ser obtenidas mediante un proceso radiográfico previamente calificado como adecuado.

Todos y cada uno de los requerimientos especificados en las normas para las radiografías que se obtengan, ya sea mediante el sistema de rayos-X o el de rayos gamma, deberán ser cumplidos para juzgar como adecuado el método de inspección que se emplee. Al respecto la norma API 1104 indica "todos los requerimientos referidos a la calidad de las radiografías resultantes deberán ser aplicados igualmente a los rayos-X y rayos gamma".

Para calificar si una radiografía fue obtenida mediante un procedimiento radiográfico adecuado deberá verificarse que todas las características y condiciones a continuación descritas sean cumplidas y observadas con el fin de que dichas radiografías suministren la información requerida.

1.- REGISTRO

Las radiografías deberán registrar el máximo posible de todos los defectos que contengan los materiales inspeccionados.

2.- SENSITIVIDAD

Como el propósito principal de la inspección radiográfica al examinar un material es localizar discontinuidades o defectos, el conocer los factores que afectan la visibilidad y detalles de los mismos en una radiografía es esencial; estos factores son la sensibilidad, el contraste radiográfico y la definición.

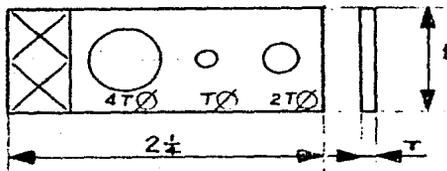
La sensibilidad radiográfica es generalmente definida como un término cualitativo referido al tamaño del más pequeño detalle que puede ser visto en una radiografía o a la facilidad con la cual la imagen de un detalle pequeño puede ser detectada.

Para verificar si el procedimiento radiográfico es adecuado, se acostumbra usar una pieza estandar de prueba llamado pe

netrómetro cuya imagen deberá verse en la radiografía.

El penetrómetro es una tira rectangular de material radiográficamente similar al del material bajo prueba y su espesor es una proporción definida, generalmente 2% a 4% del espesor del material bajo prueba.

En la figura siguiente se muestra el penetrómetro estandar indicado en la norma ASTM y que debe ser empleado en la inspección radiográfica de soldaduras de tubería.



PENETROMETRO A S T M

La técnica radiográfica podrá considerarse satisfactoria si los agujeros y el contorno del penetrómetro son mostrados claramente en la radiografía, o sea que el proceso radiográfico ha sido capaz de mostrar una variación de 2% del espesor del material bajo inspección. Por ejemplo, si en la radiografía se muestra la estructura y los detalles del penetrómetro de 2%, se dice que la sensibilidad es de 2%, que es considerada como satisfactoria.

Deberá tenerse en cuenta que aún cuando un agujero del penetrómetro es visible en una radiografía, una cavidad del mismo diámetro y profundidad dentro del material bajo inspec-

ción podrá ser invisible, debido a que los agujeros del penetrómetro tienen un cambio de sección brusco, mientras que una cavidad natural tiene un cambio de sección gradual, por lo tanto la imagen del agujero del penetrómetro será vista más fácilmente - que la imagen de la cavidad natural.

Similarmenete una rotura fina puede ser de considerable longitud, pero si los rayos-X pasan perpendiculares al plano de la rotura su imagen en la radiografía será invisible, por la muy gradual transición de la densidad. Por lo tanto, el penetrómetro se usa para indicar la calidad de la técnica radiográfica y no como una forma de medir la profundidad de las cavidades o discontinuidades que pueden ser registradas.

3.- CONTRASTE

En una radiografía, las diversas intensidades de radiación que ha dejado pasar un material bajo inspección son transformadas en imágenes de diferentes densidades (más o menos oscuras, según sea la intensidad de radiación que las produce). La diferencia en la densidad de la película de un área a otra constituye el contraste radiográfico. Cualquier sombra o detalle dentro de la imagen es visible a causa del contraste de éste y el área que le rodea. Dentro de límites razonables, a mayor contraste o diferencia de densidad en la radiografía, más definidos serán los detalles a la vista y por lo tanto los defectos más finos podrán ser vistos. Sin embargo, si el contraste se incrementa demasiado, habrá una pérdida en visibilidad de detalles en las densidades más altas y más bajas de la radiografía. El contraste radiográfico es resultado del rango de intensidad de radiación que permitió pasar el material bajo inspección.

Una placa plana de material homogéneo y espesor uniforme tendrá muy poco o nulo contraste, en cambio un material con grandes variaciones en su espesor, transmitirá o dejará pasar un amplio rango de intensidades de radiación y producirá un alto contraste. De un material bajo inspección se podrá obtener un contraste alto si la radiación es poco penetrante o sea de bajo voltaje.

En general el uso de radiación de bajo kilovoltaje en la -

inspección radiográfica dará por resultado radiografías de alto contraste y alta sensibilidad.

En cualquier material bajo inspección el contraste radiográfico para una misma densidad dependerá del kilovoltaje de los rayos -X o del kilovoltaje equivalente de los rayos gamma.

En la inspección radiográfica de materiales de espesor --- aproximadamente uniforme, como es el caso de la soldadura en pa redes de igual o de aproximadamente igual espesor, el rango de intensidades de radiación transmitido será pequeño, por lo cual se deberá usar una técnica que produzca alto contraste radiográfico, satisfactorio para obtener todos los informes requeridos del área de interés, o sea el área donde se localiza la soldadura, y la sensibilidad radiográfica será mucho mayor que la que se obtendría con una técnica que proporcione bajo contraste.

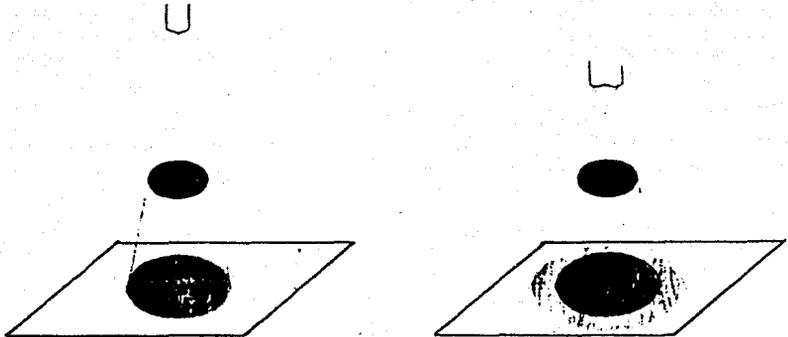
4.- DEFINICION

La definición de la imagen depende principalmente de los principios geométricos que gobiernan la formación de la imagen de los defectos en la radiografía. Es importante por lo tanto verificar que los cinco principios geométricos que a continuación exponemos sean observados durante la exposición de una radiografía para obtener la máxima definición.

Los cinco principios son aplicables tanto al sistema de rayos -X como al de rayos gamma.

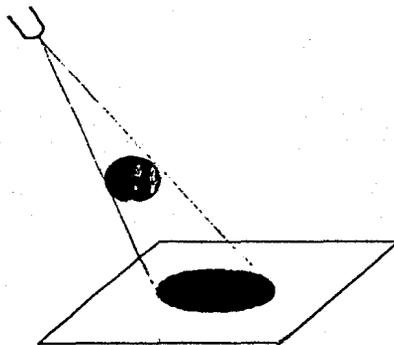
- a) Los rayos deberán proceder de un punto focal pequeño, ya que la definición o delineación de los detalles en la radiografía es función de la relación entre el tamaño del foco, la distancia del mismo al defecto y la distancia de éste último a la película. - Un tamaño de foco grande no permite la delineación de muchos detalles, como sucede con un foco pequeño. Si la distancia de la fuente de radiación a la película es bastante grande, podrá ayudar a mostrar algunos detalles cuando se emplea un foco de gran tamaño pero es generalmente considerado como ventajoso el uso del punto focal más pequeño permisible para la exposición requerida. En las figuras siguientes se i

ilustra lo antes señalado:

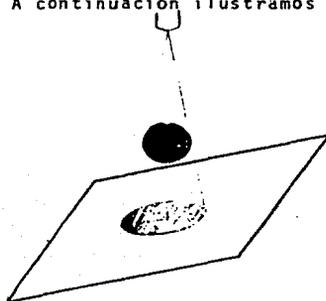


- b) La distancia entre la fuente de radiación y el material bajo examen deberá ser tan grande como sea práctico para obtener buena definición. En la práctica una relación de 10:1 entre la distancia de la fuente de radiación a la película y la distancia entre la película a la superficie del material bajo inspección más próxima a la fuente de radiación, es a menudo la adecuada. En la figura siguiente se indican las distancias mencionadas y la relación entre ellas
- c) La película deberá ser colocada tan próxima como sea posible al material que se está radiografiando. En la práctica el chasis con la película dentro es colocado en contacto con el material.
- d) La radiación central o principal deberá ser perpendicular a la película o lo más aproximado posible a --

esa posición. En las figuras siguientes se muestra gráficamente lo anterior:



- e) Tanto como el material bajo inspección lo permita, el plano de máximo interés deberá ser paralelo a la película. A continuación ilustramos gráficamente lo anterior:



5.- IDENTIFICACION Y LOCALIZACION:

Es importante identificar convenientemente las radiografías por medio de números y letras de plomo, cuya imagen aparecerá en las mismas una vez que hayan sido reveladas.

Esta identificación proporcionará los datos siguientes:

- a) Mes y año en que se hizo la inspección a la cual corresponden las radiografías; normalmente se pone el número del mes y las dos últimas cifras del año.
- b) Enseguida se localizan las iniciales que identifican a la empresa, gerencia, dependencia, etc., que ordena la inspección.
- c) A continuación se indican las iniciales que identifican al equipo, instalación, parte de los mismos, que fue inspeccionado.
- d) Y finalmente, el número que identifica la unión, pieza o parte de las mismas donde se tomó la radiografía correspondiente, para así poder localizar fácilmente las zonas inspeccionadas y efectuar las reparaciones de las partes en las que se localicen defectos.

Una radiografía bien identificada, evitará cometer errores tales como no saber en donde está localizada una unión defectuosa o eliminar una buena unión soldada y dejar por confusión la defectuosa.

6.- DEFECTOS POR MAL PROCESADO:

Ocasionalmente, como resultado de errores en la técnica radiográfica, o un manejo incorrecto de los materiales y/o equipo, son producidas radiografías insatisfactorias. Obviamente, deberá buscarse la causa y tratar de prevenir que ocurran las condiciones que originan los defectos en las mismas. Para ayudar a investigar las causas que originan los defectos por mal procesado más comunes, así como para identificarlos en las radiografías a continuación indicamos sus características.

a) ALTA DENSIDAD:

Las radiografías con alta densidad son aquellas en las que

debido a su excesivo oscurecimiento o ennegrecimiento sólo - es factible interpretarlas con iluminación de alta intensidad. Al aumentar la densidad se irá perdiendo la imagen de los defectos a tal grado que ni aún con iluminación especial de alta intensidad será posible interpretarlas.

Las principales causas de una alta densidad en una radiografía son: sobreexposición, es decir, que la placa radiográfica es sometida a la acción de la radiación un tiempo mayor que el necesario y/o a un tiempo mayor de revelado y/o al revelado en líquidos con temperatura mayor que el rango dentro del cual los líquidos para revelar trabajan satisfactoriamente. La radiografía también tendrá una alta densidad cuando al laboratorio de revelado penetre luz en cantidades suficientes que le afecten, cuando se está manipulando la película radiográfica dentro del mismo o cuando los chasis que la contengan permitan la filtración de la luz ambiental.

Emplear focos de alta luminosidad en las lámparas con filtro de seguridad que proporciona la luz bajo la cual se maneja la película en el cuarto oscuro, ocasionará radiografías de alta densidad así como también defectos en el filtro de la lámpara, tales como grietas en la emulsión del filtro que dejarán pasar mayor cantidad de luz.

b) BAJA DENSIDAD:

Las radiografías con baja densidad son aquellas que son poco oscuras, muy transparentes, de poco o casi nulo contraste y por lo tanto muestran muy pocos detalles. La baja densidad se origina cuando el tiempo de exposición es menor que el requerido, y/o porque la radiografía sea revelada durante un tiempo menor que el necesario, y/o por agotamiento del líquido revelador. Cuando al hacer la exposición de una película radiográfica, un material extraño, por ejemplo papel, separa las películas de las pantallas o filtros, cuando está en su chasis, también se producirá una baja densidad en toda el área que abarque el material extraño.

c) MUY ALTO CONTRASTE:

Las radiografías de muy alto contraste son aquellas en las

que entre los detalles que muestra existe una gran diferencia de densidad, algunas partes aparecen muy oscuras y otras aparecen muy claras, perdiéndose detalles en ambas zonas. El alto contraste es ocasionado por emplear una radiación de muy -- bajo kilovoltaje, en rayos -X, al inspeccionar un espesor determinado. Para reducir el contraste, será necesario aumentar el - kilovoltaje que producen los rayos -X; si se emplean rayos gamma debido al alto valor del kilovoltaje equivalente no será posible obtener un alto contraste, sino por el contrario no se podrá obtener un contraste adecuado cuando se inspeccionen espesores de 1 1/2" o menores de acero o su equivalente en otros materiales.

d) BAJO CONTRASTE:

Las radiografías de bajo contraste son aquellas en las -- que entre los detalles que muestra existe muy poca diferencia de densidad, de tal manera que algunos detalles se pierden o no son registrados, por falta de una diferencia marcada de -- densidad. El bajo contraste en las radiografías es ocasionado por emplear una radiación de muy alto kilovoltaje al inspec-- cionar un espesor determinado. Para aumentar el contraste será necesario disminuir el kilovoltaje, para producir radiación de menor penetración. Un corto tiempo de revelado y/o solución re veladora parcialmente exhausta o poco activa por estar demasia do fría, ocasionarán radiografías de poco contraste.

e) Poca DEFINICION:

Las radiografías de poca definición son ocasionadas por - no observar los principios geométricos que gobiernan la expo-- sición radiográfica, ya sea porque la distancia de la fuente de radiación a la película sea muy corta, y/o porque la pelícu la está demasiado alejada de la superficie del material bajo i-nspección, y/o por emplear una fuente de radiación de gran ta maño. Al aumentar el tamaño de la fuente de radiación se incre mentará la distorsión y bajará la definición.

f) MANCHAS TÍPICAS EN LAS RADIOGRAFIAS:

MANCHAS POR ESCURRIMIENTO.- Estas manchas aparecen en las radiografías, teniendo la forma de la trayectoria que dejó el-

líquido que las originó. Son ocasionadas por contaminación de los soportes usados para el revelado, cuando el elemento contaminador se disuelve y se escurre sobre las películas durante el revelado o durante el secado, o cuando en el proceso de revelado no se agitaron suficientemente las radiografías y/o cuando el enjuagado de las mismas se lleva a cabo deficientemente.

MANCHAS POR DOBLEZ HECHO EN LA PELICULA.- Al doblar una película, a tal grado que su capa de emulsión sensible se quiebre originará una mancha en la zona del doblar, que será visible una vez que se haya revelado.

MANCHAS AMARILLAS.- Estas manchas son ocasionadas por el revelado de los negativos en líquido revelador agotado por la acción oxidante del aire. Cuando el fijador también está agotado se producirá este tipo de manchas.

MANCHAS POR LIQUIDOS.- Cuando a una película radiográfica le caen gotas de líquidos antes de que sea sometida al proceso de revelado, se le producirá una mancha de forma más o menos circular y será de muy baja densidad (casi transparente) si la gota es de líquido fijador; si las gotas son de agua o de líquido revelador las manchas serán negras, siendo la más negra la causada por el revelador.

g) MARCAS POR PRESION:

Quando sobre un negativo se haga presión ya sea por el peso del material bajo inspección o por golpearse con algún objeto, se producirá una marca de forma más o menos circular y de baja densidad, correspondiendo la menor densidad a la parte central de la marca o sea la parte presionada o golpeada con mayor intensidad antes de la exposición o de mayor densidad cuando la presión se efectuó después de la exposición.

h) MARCAS POR INCISIONES EN LA SUPERFICIE DE LAS PANTALLAS:

Quando se emplean pantallas de plomo y éstas tengan incisiones, en las radiografías aparecerán líneas negras en la forma de la incisión, igualmente cuando las pantallas estén quebradas aparecerán líneas negras que tendrán la forma de la trayectoria de las roturas de las pantallas.

i) MARCAS OCASIONADAS POR CARGAS ELECTROSTATICAS:

Cuando la película es friccionada sobre una superficie, - ya sea del papel que la protege, del fasis, pantallas, etc., - se cargará de energía electrostática que al perderla originará una chispa eléctrica. Esta chispa por ser de luz visible será registrada en la radiografía, y al ser revelada aparecerá la i magen de dicha chispa cuya forma será un punto o área negra -- del cual, partirán varias líneas, también negras más o menos - rectas y radiales que a su vez tendrán ramificaciones.

3.7.- INTERPRETACION DE RADIOGRAFIAS

1.- NORMAS DE ACEPTABILIDAD

Interpretar una radiografía consiste en deducir, en base a los cambios de densidad registrados, las discontinuidades o defectos internos o externos del material radiografiado. De acuerdo con lo expuesto, resulta evidente que la aplicación del método radiográfico debe ser de una forma lógica y consecuente con los resultados que de él se desean obtener, debe realizarse siguiendo una serie de etapas que dependerán del tipo de examen que tenga que ser efectuado. Estas etapas son las siguientes:

- 1a.- Elección de la técnica operatoria al caso de que se trate.
- 2a.- Obtención de una información o indicación propia. - Radiografía.
- 3a.- Interpretación de la radiografía.
- 4a.- Evaluación de los resultados o datos obtenidos.

La correcta realización de las dos primeras etapas requiere la preparación de una norma o código que defina la técnica que ha de ser aplicada a cada caso particular; por tanto, la finalidad de las normas es la de tipificar el procedimiento bajo cuyas recomendaciones se ha de realizar el ensayo. La tercera etapa, con el fin de uniformizar criterios, puede requerir el establecimiento de un atlas o álbum de radiografías tipo que faciliten la interpretación de la información obtenida. Por último, la cuarta etapa, requiere la preparación de una especificación para la evaluación de los defectos que establezca, de una forma clara y cuantitativa, un nivel de calidad o de aceptabilidad para el componente examinado.

Como consecuencia del amplio campo de aplicación del método radiográfico, el número de normas, especificaciones y recomendaciones con él relacionadas, es tan numeroso, que resulta imposible el poder relacionar todas ellas, sin embargo, dada su importancia, damos a continuación una relación de aquellas que consideramos fundamentales.

DIN 54109	1964	Ensayos no destructivos. Calidad de imagen en radiografías y gammagrafías de materiales metálicos.
ASME		Código para calderas y recipientes a presión.
	Sección V	Ensayos no destructivos.
ASTM E71-64		Radiografías de referencia para acero moldeado de hasta dos pulgadas de espesor.
ASTM E94-68		Recomendaciones prácticas para el ensayo radiográfico.
ASTM E142-72		Método para controlar la calidad en el ensayo radiográfico.
ASTM E186-67		Radiografías de referencia para piezas gruesas de acero moldeado (2 a 4 1/2").
ASTM E242-68		Radiografías de referencia sobre la variación de imagen al modificar determinados parámetros.
ASTM E280-68		Radiografías de referencia para piezas gruesas de acero -- moldeado (4.5 a 12").

No se van a indicar aquí las cantidades y dimensiones máximas de cada tipo de defecto aceptadas por cada norma, debido -- primordialmente a que dichas normas están variando periódicamente, notándose una tendencia a reducir en cada nueva edición la cantidad y las dimensiones de los defectos tolerados.

2.- PRACTICAS DE INTERPRETACION

Para interpretar las radiografías se deberán tener las condiciones de luminosidad adecuadas. Estas condiciones implican que del lado opuesto al observador que haga la interpretación exista una fuente luminosa que haga pasar la luz a través de la fotografía, haciendo transparentes las zonas de la radiogra

ffia que tengan baja densidad. La fuente luminosa es un aparato que se denomina negatoscopio y es una lámpara de luz blanca -- dentro de una caja y del lado de la salida de la luz tiene una lámina de material plástico blanco translúcido sobre la cual se colocarán las radiografías para su interpretación. Esta placa deberá estar limpia y sin rayaduras para estar en condiciones - de usarse.

El observador deberá colocarse lo más cerca posible y de frente a las radiografías, de tal suerte que pueda observar to dos los detalles que muestren, ya que la imagen de algunos defectos angostos como las roturas y la fusión incompleta son lf neas muy delgadas en ocasiones muy tenues, que pueden pasarse por alto si la observación es lateral, alejada o muy somera.

3.- REPORTE

El reporte de cualquier trabajo de inspección radiográfica deberá contener todos los datos necesarios para determinar las condiciones que tengan los materiales que se inspeccionan y de acuerdo con los resultados obtenidos, tomar las medidas pertinentes para corregir las anomalías y seguir adelante con los trabajos, por lo que como mínimo deberá contener los siguientes datos:

- a) Identificación de cada radiografía.
- b) Resultado del estado del material inspeccionado (si es aceptable o no de acuerdo con las especificaciones aplicables).
- c) Defectos del material observados en cada radiografía.
- d) Localización de los defectos.
- e) Norma de aceptabilidad empleada, para juzgar si el material bajo inspección es o no aceptable.

Es conveniente reportar todos los defectos observados en las radiografías independientemente de su tamaño, ya que tenien do conocimiento de su existencia es posible tomar las medidas necesarias para tratar de eliminarlos en el trabajo que se desa rrolle posteriormente.

La localización de los defectos considerados como inaceptables dentro de los materiales inspeccionados, debe realizarse con la mayor exactitud posible, para que cuando sea procedente efectuar una reparación local de la parte defectuosa, no haya riesgos de pasarlos por alto y dejarlos sin reparar.

CAPITULO 4

ULTRASONIDO

4.1.- DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

La técnica del ultrasonido ha obtenido un crecimiento considerable en usos e importancia en el campo de las pruebas no-destructivas, en un principio las pruebas por ultrasonido no fueron muy utilizadas, ya que la instrumentación no era lo suficientemente adecuada, además de lo complicado para operarlos. Durante la segunda guerra mundial se desarrolló el circuito eléctrico para el radar, mismo que fue utilizado en el equipo de pruebas por ultrasonido.

Esta instrumentación ha sido desarrollada y mejorada de tal manera que las pruebas por él se han vuelto un método aceptado y aprobado. Los instrumentos comerciales que pueden ser obtenidos ahora pueden ser usados exitosamente por personal no entrenado y de habilidad ordinaria.

Podemos definir los ultrasonidos como sonidos con una frecuencia demasiado alta para ser detectada por el oído humano. Los sonidos no son más que vibraciones mecánicas, es decir energía en movimiento que provoca que las partículas en un material se muevan, y al encontrarse unidas por fuerzas elásticas, comunican el movimiento progresivamente a las restantes partículas, con una frecuencia, velocidad de propagación, longitud de onda y amplitud determinadas.

Las vibraciones ultrasónicas tienen hoy en día una extensa variedad de aplicaciones; además de los ensayos no destructivos que nos ocupan, se utilizan para soldadura de materiales plásticos y láminas de plata, en la rama de medicina para localizar tumores cerebrales, en navegación aérea y marítima (sonar), en la rama alimenticia, ganadera, etc.

4.2.- PROPIEDADES FUNDAMENTALES DEL SONIDO

Como se menciona en el párrafo anterior, el sonido se propaga a través de los materiales con una frecuencia, amplitud longitud de onda y velocidad de propagación determinados, que definiremos a continuación.

AMPLITUD (A) .-

Es la separación máxima de las partículas respecto de su posición de equilibrio. Cuando una partícula vuelve a la misma posición de partida, con el mismo sentido, se dice que ha realizado un ciclo. El tiempo requerido para realizarse un ciclo se llama PERIODO.

FRECUENCIA (F).-

Es el número de oscilaciones o ciclos completos efectuados por una partícula en la unidad de tiempo, se mide en c/seg o lo que es lo mismo Hz (hercios).

LONGITUD DE ONDA (X).-

Es la distancia entre dos partículas que se encuentran en el mismo estado de vibración. Es inversamente proporcional a la frecuencia; es decir, a una frecuencia elevada corresponde una pequeña longitud de onda. Se mide en m.m.

VELOCIDAD DE LA PROPAGACION (C).-

Espacio recorrido por el sonido en la unidad de tiempo. Se mide en metros por segundo. La velocidad de la propagación es una característica de cada material.

La relación que existe entre X, C y F viene dada por :

$$C = XF$$

PRINCIPIO DE PROPAGACION DE LAS ONDAS

MODOS DE PROPAGACION .-

El movimiento de las partículas no es al azar, sino que se propaga en consonancia con una determinada.

FORMA Y DIRECCION .-

Existen dos tipos fundamentales de ondas :

ONDAS LONGITUDINALES :

Son aquellas en las que la dirección del movimiento, de las partículas coincide con la dirección de propagación de la perturbación.

ONDAS TRANSVERSALES :

Son aquellas en las que la dirección del movimiento de las partículas es transversal o perpendicular a la dirección de la propagación.

IMPEDANCIA ACUSTICA .-

Es la resistencia que ofrece el medio a la propagación de la onda ultrasónica. Cuando una onda ultrasónica se propaga a través de un medio homogéneo, toda la energía transmitida se propaga totalmente a todo el material, de tal manera que un instrumento de medición señalaría una transmisión del 100 %.

Supongamos ahora dos medios distintos la onda ultrasónica se propaga totalmente a través del primer medio, pero al llegar al segundo, parte de la energía continúa a través del segundo medio, mientras que la restante se refleja y vuelve al primer medio.

La onda ultrasónica no siempre regresa en la misma dirección con que incidió en la interfase, puede sufrir un cambio de dirección, e incluso puede variar de onda longitudinal a onda transversal y viceversa. En el ensayo de materiales por ultrasonidos, se procura que en el medio a examinar, solo se propague un tipo de ondas.

Las ondas ultrasónicas experimentan además de los fenómenos de reflexión y refracción arriba descritos, el fenómeno de difracción, si un haz ultrasónico incide en una pared rígida, en la cual existe una abertura o ventana, los límites de la ventana se comportan, a efectos de la propagación sonará como fuentes de sonido.

4.3. GENERACION DE ONDAS ULTRASONICAS

Existen algunas maneras para producir ondas ultrasónicas, una de ellas es el método utilizado para la producción de ondas ultrasónicas para pruebas no destructivas, que es el efecto piezo eléctrico. Cuando una presión o tensión mecánicas son aplicadas a ciertos cristales, se desarrolla una carga eléctrica en las caras del cristal. La magnitud de la carga eléctrica producida es directamente proporcional a la presión o tensión mecánicas aplicadas. El signo de la carga eléctrica cambia, cuando la fuerza mecánica cambia de tensión a compresión.

El fenómeno inverso es también posible, y es el utilizado para la producción de ondas ultrasónicas. Este efecto puede ser observado en algunos cristales como la turmalina, el cuarzo y las sales de Rochelle. Si una placa de cuarzo es sometida a un campo eléctrico alternativo, el cuarzo sufre una compresión en una mitad del ciclo y una expansión en la otra, es decir se expandirá y contraerá con la misma frecuencia que el voltaje aplicado.

4.4. TECNICAS UTILIZADAS

Existen varios tipos de técnicas utilizados en pruebas por ultrasonido como son :

- 1.- Eco pulsante
- 2.- Transmisión
- 3.- Resonancia
- 4.- Modulación de frecuencia
- 5.- Imagen acústica.

1.- ECO PULSANTE :

En la técnica del eco pulsante una señal de ultrasonido pulsante es enviada a través de un aclopador al interior del material bajo estudio, en la cara opuesta del espécimen la señal es reflejada y el eco es registrado por un transductor. Una discontinuidad o grieta en la muestra también envía de regreso un eco. Los intervalos de tiempo entre el pulso inicial y el regreso del eco con medidos en el osciloscopio de rayos catódicos.

2.- TRANSMISION :

La técnica de la transmisión, requiere de un transductor emisor de señal y un transductor receptor de la misma en el lado opuesto del material bajo inspección, un pulso continuo o un haz ultrasónico modulado es enviado a través del espécimen y la amplitud del haz transmitido es medido, un defecto dentro del material reduce la amplitud del haz transmitido.

3.- RESONANCIA :

La técnica de la resonancia para pruebas por ultrasonido, usa una onda continua de frecuencia variable que puede ser regulada para manejar un transductor, el oscilador es ajustado

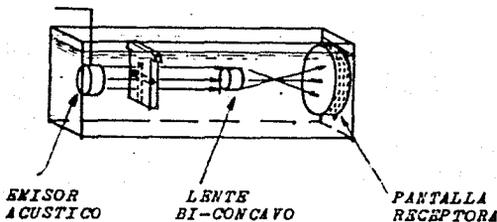
hacia su rango de ajuste. Si el espécimen tiene frecuencia resonante de espesor dentro del rango de ajuste del oscilador - el espécimen vibrará en resonancia. Cuando la resonancia ocurre hay un incremento en energía que puede ser indicado por un medidor adecuado por un osciloscopio, la resonancia de espesor ocurre siempre y cuando el espesor del espécimen sea igual a un número entero de medios de longitud de onda de la onda ultrasónica. La detección de grietas es más simple que la medición de espesores debido a que sólo la presencia o ausencia de indicaciones de espesor necesita ser observada.

4.- MODULACION DE FRECUENCIA:

En el tipo de equipo de frecuencia modulada sólo el transductor es usado, pero la energía ultrasónica está siendo enviada y recibida continuamente, la señal de radio frecuencia aplicada al transductor se cambia rápidamente su señal de frecuencia un eco que llega después que la señal transmitida sale del transductor tendrá una frecuencia instantánea diferente de la que está transmitiendo a mayor profundidad de la falla habrá una mayor diferencia. La diferencia en frecuencia puede ser medida, dándonos ésta, una medida de la profundidad de la falla, debido a que la energía está siendo enviada continuamente, el problema de transmitir una gran cantidad de energía en un intervalo pequeño de tiempo queda eliminado.

5.- IMAGEN ACUSTICA:

Se ha probado un gran número de técnicas para producir una imagen visual u óptica a partir de la energía ultrasónica, éstas técnicas incluyen el uso de efectos, químicos, difracción de la luz, la orientación de partículas esféricas compuestos sensibles a la temperatura, fósforos y tubos electrónicos especiales.



La figura anterior es un sistema de imágenes acústicas desarrollada por POHLMAN en 1948.

Una onda ultrasónica es pasada a través del espécimen y enfocada sobre la celda detectora de imágenes; esta celda -- consiste en partículas de aluminio en forma de hojuela de 5 a 25 micras de diámetro, y que están suspendidas en un líquido de baja viscosidad. En ausencia de cualquier energía ultrasónica las partículas toman posiciones electorias como resultado de una agitación térmica. Cuando se aplica la energía ultrasónica las partículas son orientadas por el haz ultrasónico de tal manera que las partículas que son orientadas aleatoriamente reflejan una luz despreciable y aparecen como un campo oscuro.

El grado de orientación depende de la intensidad del haz ultrasónico en un punto dado de la imagen, entonces la variación en la intensidad del patrón de luz reflejada indica la cantidad de energía ultrasónica transmitida a través del espécimen. Las fallas aparecen como manchas negras en la imagen.

4.5.- INTERPRETACION DE RESULTADOS

Con el objeto de tener resultados consistentes de las pruebas entre instrumentos, fabricantes y usuarios así como también para dar una base común para la expresión de los resultados se requiere de algún tipo de normalización.

Los bloques patrón se usan a veces como método de estandarización; los más usados en E.U.A. son los "Bloques Patrón" normalizados de ALCOA (Aluminium Co. of America). Estos patrones consisten en cilindros que tienen agujeros o barrenos de fondo plano en una de las caras, estos agujeros varían desde 1/64" hasta 8/64" escalonados 1/64".

Algunas de las normas ASTM aplicables son las siguientes:

- | | |
|----------|---|
| E 273-68 | Inspección ultrasónica de soldaduras longitudinales y espirales en tuberías. |
| E 664-78 | Atenuación aparente de ondas ultrasónicas, longitudinales por el método de inmersión. |
| E 588-76 | Detección de inclusiones grandes en baleros de calidad por el método ultrasónico. |
| E 164-81 | Examen de soldaduras por contacto ultrasónico. |

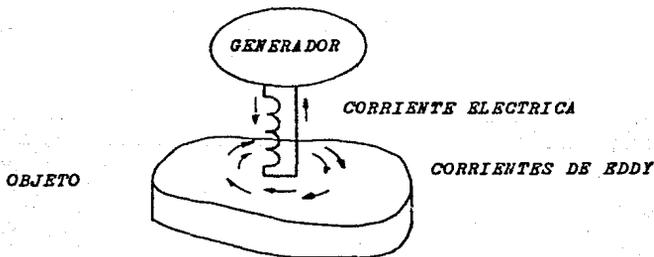
Aún cuando existe una amplia gama de normas aplicables casi todas están enfocadas a problemas específicos de la industria.

CAPITULO 5
CORRIENTE DE EDDY

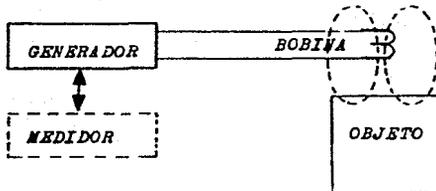
5.1.- PRINCIPIOS BASICOS.

Una corriente de Eddy se define como una corriente eléctrica circulante, inducida en un objeto conductor, mediante un campo magnético alterno. Tanto el campo magnético es alterno-- como la corriente de Eddy lo es y su flujo está limitado al -- área del campo magnético que la induce.

La figura 5.1. ilustra un ejemplo de una corriente de - Eddy inducida en un objeto por una bobina de prueba situada en la superficie del objeto.



Los elementos básicos de un sistema de pruebas con corrientes de Eddy son como se muestra en la figura 5.2, -- una bobina de prueba, un generador y un indicador.



5.2.- ELEMENTOS BASICOS DEL SISTEMA

Debido a que en un principio podremos estar poco familiarizados con las bobinas de prueba y las indicaciones de salida daremos una breve descripción de estos 2 puntos.

- a) Bobinas de prueba.- Es el elemento de trabajo elemental del sistema por corrientes de Eddy. Algunos términos relacionados con las bobinas son los siguientes:
- 1) Campo magnético.- Se genera un campo magnético cuando se hace circular una corriente alterna a través de la bobina de prueba.
 - 2) Bobina absoluta. Es una bobina sencilla usada para medir las características particulares del objeto, por ejemplo: conductividad, dimensión, permeabilidad, etc.
 - 3) Bobina diferencial. Es el término aplicado al uso de 2 bobinas (generalmente) que se oponen eléctricamente. Las características generales del objeto se cancelan, pero los pequeños defectos se denotan como una diferencia entre las bobinas.
 - 4) Forma. Le geometría de la bobina determina el campo magnético requerido para obtener la máxima respuesta a una prueba dada.
 - 5) Bobina de superficie. Este término se aplica a aquellas bobinas diseñadas para ser usadas en la superficie del objeto de prueba.

- 6) Bobina interna. Es aquella que está diseñada para ser insertada dentro de una cavidad específica de configuración dada, tal como tubería, barrenos, etc.
- 7) Bobina circundante. Es aquella que rodea completamente al objeto de prueba.
- b) Indicadores. Para pruebas con corrientes de Eddy los indicadores pueden ser divididos en tres grandes áreas que son:
- 1- Medidores. Usados con el método de impedancias
 - 2- Tubo de Rayo Catódicos. Usados con el método de análisis de fase.
 - 3- Graficadores. Usados con el método de análisis de modulación.

Factores que afectan la prueba.

El problema primario en las pruebas con corrientes de Eddy, más que en otras pruebas no destructivas; es el gran número de variables tanto conocidas como desconocidas que aparecen en -- las indicaciones de salida. Estas variables son las que en --- cierta manera restringen el uso de pruebas con corrientes de Eddy, y al mismo tiempo demandan el desarrollo de equipo altamente especializado diseñado para la separación de las variables de interés en la prueba. A continuación se describen estas variables, anotando sus características y relacionándolas con la prueba.

CONDUCTIVIDAD

a. General.- Una de las variables principales en la prueba con corrientes de Eddy es la conductividad. Esta variable permite el monitoreo de ciertas propiedades de los materiales como son: tratamiento térmico, dureza, discontinuidades, etc.

b. Definición de conductividad.- La conductividad es la medida de la habilidad que tienen los electrones de circular entre los intersticios atómicos de un material. Mientras más alta es la conductividad, más grande es el número de electrones que pueden pasar por el material en una cierta cantidad de -- tiempo. Cada elemento tiene un valor único de conductividad,-

por ejemplo la plata y el oro tienen valores altos; el carbón un valor muy bajo.

c.- Relación entre conductividad y corrientes de Eddy.- Una corriente de Eddy es un flujo de electrones y la cantidad de electrones que fluyen por un material eléctricamente conductor está directamente relacionado con la conductividad de dicho material. Si se incrementa la conductividad, se incrementa el flujo de corrientes de Eddy.

d.- Relación entre conductividad y resistencia.- Se define la resistencia como la oposición al flujo de la corriente eléctrica. Algunas veces se usa el término resistencia como análogo al de conductividad, siendo uno el recíproco del otro.

e.- Conductividad expresada en términos de IACS.- La conductividad puede ser expresada en términos de la International Annealed Copper Standard (IACS). Esta forma está basada en un grado específico de cobre de alta pureza, el cual está definido como poseedor de una conductividad del 100%. Los demás materiales se definen como un porcentaje de esta norma.

f.- Medición de conductividad.- Las corrientes de Eddy proveen una manera precisa para la medición de la conductividad comparativa de un material. No variando otros factores, el flujo de las corrientes de Eddy está directamente relacionado con la conductividad del material. De esta manera es posible entonces construir equipos que tengan escalas marcadas en término de porcentaje IACS.

g.- Variables que afectan la conductividad.- Muchas variables afectan la conductividad de un objeto. Esto es a la vez una ventaja y una limitación, ya que en una prueba precisa -- por corrientes de Eddy se requiere aislar tan sólo una variable y las demás eliminarlas.

Las variables que afectan la conductividad son:

- 1) La composición química
- 2) La aleación o el contenido de impurezas
- 3) El tratamiento térmico
- 4) El enfriamiento
- 5) La distorsión o dislocación intersticial

- 6) Los defectos intersticiales
- 7) La temperatura
- 8) Las discontinuidades

5.6.- PERMEABILIDAD

Cuando se realizan las pruebas con corrientes de Eddy es importante saber si el objeto de prueba es o no magnético. La diferencia entre un material magnético y uno no magnético consiste en la facilidad relativa con la cual los dominios magnéticos se alinean; esta "facilidad" se llama permeabilidad.

La permeabilidad tiene un efecto mucho mayor que la conductividad sobre la bobina de prueba, de ahí que su presencia -- puede encubrir otras mediciones. El factor de permeabilidad -- puede ser suprimido o mantenido constante mediante la aplicación de una corriente directa para mantener la alineación de los dominios magnéticos.

a) Dominio magnético. El grado de respuesta individual variará ampliamente si se trata de un material magnético o uno no magnético.

El magnetismo ocurre a un nivel atómico. Las orbitas planetarias de los electrones alrededor del núcleo y la condición fuera de balance en la estructura incompleta dentro de sus -- características dimensionales específicas crean un momento -- magnético el cual es una medida de la fuerza magnetizante.

El movimiento de los átomos interiores se mantiene paralelo por fuerzas mecánicas cuánticas. Los átomos de un metal -- que muestran características magnéticas determinadas están agrupados en regiones llamadas dominios. Un dominio es el imán permanente más pequeño que se conoce.

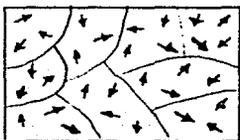
En los materiales no magnéticos un número igual de electrones giran en un sentido y otros en contrasentido alrededor de su eje. Esto da como resultado que no haya movimiento interno y los dominios no se noten.

En los materiales magnéticos hay más electrones girando en un sentido que en el otro. Esta condición de desbalanceo crea un momento magnético que vuelve a los átomos pequeños imanes.

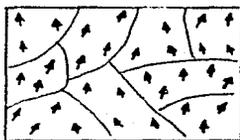
En los materiales magnéticos no orientados o magnetizados, los dominios están orientados al azar y se neutralizan o no producen un magnetismo observable.

Al someter los materiales ferromagnéticos a un campo magnético externo los dominios empiezan a alinearse de tal manera que sus momentos magnéticos se combinan con el campo aplicado. Si el campo externo es retirado, los materiales con alta permeabilidad, como el fierro, el níquel y el cobalto, retienen una ligera alineación de sus dominios.

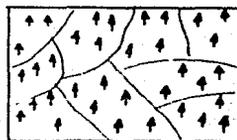
Por otro lado, los materiales con permeabilidad baja, como el ALNICO (Aluminio, Níquel, Cobre), requieren un campo externo más intenso para alinear sus dominios. Estos materiales retendrán un porcentaje mucho mayor de dominios alineados una vez que el campo externo se ha retirado. Figs. 5.3, 5.4, y 5.5.



**DOMINIOS ORIENTADOS
AL AZAR**

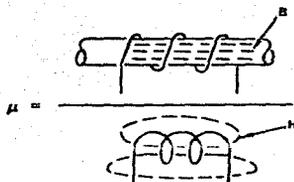


**DOMINIOS PARCIALMENTE
ORIENTADOS**



**DOMINIOS ORIENTADOS
(SATURACION)**

b.- Definición de permeabilidad.- Se define permeabilidad como la relación entre la densidad de flujo B y la fuerza magnetizante de la bobina de prueba H . Debido a que B es más grande que H la permeabilidad será mayor que 1. Se usa generalmente la letra griega μ (MU) para su designación.



Algunos valores de permeabilidad se dan a continuación como referencia:

K-Monel	1 +
Hierro fundido	2000
Acero alto silicio	9000
Aire	1 (por definición $\frac{B}{H} = 1.0$)

c) Fuerza de magnetización de la bobina.- Un campo magnético de bobina está visto como una distribución de líneas de fuerza que rodean a la bobina. El número de líneas de fuerza por unidad de área se define como la densidad de flujo y representa la fuerza magnetizante de la bobina. Se usa la letra H para designar esta fuerza, y su valor depende del número de espiras, del diámetro, la longitud, el arreglo, etc., así como de la corriente que circule por la bobina.

d) Densidad de flujo en materiales no magnéticos. Cuando se aplican una fuerza magnetizante a un objeto, la densidad de flujo de la bobina penetra y se establece dentro del objeto. Esto causa un flujo de corrientes de Eddy cuyo valor está directamente relacionado con la fuerza magnetizante de la bobina.

En los materiales no magnéticos, el objeto no genera ninguna densidad de flujo adicional debido a la ausencia de domi

nios magnéticos y la única densidad de flujo es la dada por el campo magnético de la bobina de prueba.

Bajo estas condiciones se puede decir que cualquier cambio en las corrientes de Eddy se debe a la conductividad del objeto o por la densidad de flujo de la bobina.



e) Densidad de flujo en materiales magnéticos.—Cuando se aplica la fuerza magnetizante de una bobina a un material magnético la cantidad de densidad de flujo en el material es mayor que la densidad de flujo dada por la bobina. Esto es debido a que se generan densidades de flujo adicionales por los dominios magnéticos. La densidad de flujo total en un material magnético se designa con la letra B. La letra B se refiere a la densidad de flujo generada en el material; la letra H se refiere a la fuerza magnetizante de la bobina de prueba a la cual está sometido el material.

f) Efecto de la permeabilidad sobre las corrientes de Eddy
Las corrientes de Eddy son inducidas por los cambios de flujo dentro del objeto y están relacionadas directamente a la densidad de flujo. Debido a que un material con alta permeabilidad provee una mayor cantidad de flujo que un material con baja permeabilidad, se puede esperar que la permeabilidad tenga un efecto bien definido en la cantidad de corrientes de Eddy inducidas en el objeto. Conforme se incrementa la permeabilidad aumenta la cantidad de corrientes de Eddy. Este efecto es mucho más apreciable que cualquiera producido por conductividad.

g) Efecto de la permeabilidad en las indicaciones de salida.

La presencia de la permeabilidad introduce una variable en las indicaciones de salida. Los esfuerzos internos y las impurezas intersticiales que pueden variar dentro del objeto, afectan la permeabilidad y se reflejarán en la variable de permeabilidad.

h) Cómo hacer constante la permeabilidad. Se puede mantener constante la permeabilidad usando una bobina de corriente directa para mantener alineados los dominios magnéticos. La bobina de corriente directa establece un campo magnético el cual causa que la densidad de flujo generada por el material magnético permanezca saturada. En estas condiciones solamente los cambios de flujo provocados por la bobina de prueba serán notables.

i) Acoplamiento magnético. En las pruebas con corrientes de Eddy el objeto está acoplado con la bobina de prueba mediante el campo magnético de la bobina y toda la información interactiva se realiza a través de este acoplamiento. La densidad de las corrientes de Eddy en el objeto varía con la distancia de la bobina al objeto así como también depende de la forma de la bobina, su arreglo, devanado, etc.

DESCRIPCION DE LA PRUEBA

Las variables que pueden ser detectadas o medidas por la prueba con corrientes de Eddy son las siguientes:

- a. Discontinuidades
- b. Dimensiones del objeto, incluyendo diámetro, excentricidad y espesor de recubrimientos.
- c. Conductividad eléctrica debida a aleaciones, tratamiento térmico y efectos de trabajo en frío (dislocaciones y orientación).
- d. Esfuerzos internos en metales.
- e. Vibraciones y otros cambios en la distancia de acoplamiento entre el objeto y la bobina de prueba durante el ensayo.

f. Elevación de ruido (líneas de fuerza, interferencia de radio o electrónica).

g. Temperatura.

La prueba de corriente de Eddy puede ser aplicada a objetos redondos, planos o irregulares conductivos. También es posible medir el espesor de recubrimientos conductivos o no conductivos.

Las ventajas y desventajas de este tipo de prueba son las siguientes:

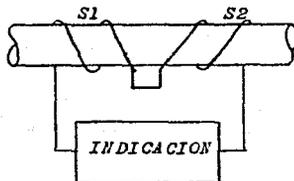
1.- Ventajas

- Alta velocidad
- Medición precisa de conductividad
- Se pueden detectar discontinuidades cerca de la superficie del objeto de prueba.
- Alta sensibilidad a discontinuidades pequeñas.
- Medición precisa de espesores.

2.- Desventajas

- La penetración en el objeto de prueba es limitada.
- Las indicaciones de salida son afectadas por varias variables simultáneamente.
- Las indicaciones de discontinuidades son cualitativas, no cuantitativas.

Los cilindros son generalmente probados usando el arreglo de bobinas diferenciales mostrados en la figura siguiente:



5.8.- Arreglo de bobinas para prueba de cilindros.

En este arreglo las bobinas secundarias están conectadas de tal manera que la salida de una de ellas se opone a la salida de la otra. Si existen condiciones similares en las áreas bajo ambas bobinas, no existirá indicación de salida.

Con el uso de bobinas diferenciales se asume que las discontinuidades no alcanzan ambas bobinas, ésto es, que están convenientemente apartadas.

Cuando aparece una pequeña discontinuidad bajo una bobina, se genera una condición de desbalanceo entre ellas, y se genera una indicación de salida.

Una vez que se ha detectado la discontinuidad, no es posible determinar la localización exacta sobre la circunferencia del cilindro por lo que es necesario usar una bobina de superficie o "probe coil" (como se le conoce en la terminología inglesa).

Para la prueba de tubería se aplican también los principios establecidos para cilindros, sin embargo, también es aplicable que:

El espesor de la pared es un factor importante. Si el espesor de la pared es más grande que la profundidad de penetración se deberán usar bobinas internas en el caso de tubos de diámetro pequeño.

En tubería de diámetro pequeño, éste puede ser la variable de interés más que el espesor de la pared. A través de un ajuste de control de fase, es posible suprimir la variable de espesor de pared (conductividad) y enfatizar los cambios dimensionales en el diámetro de la tubería.

5.3.- CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE PRUEBA

El elemento clave en los sistemas sensores por corrientes de Eddy es la bobina de prueba. Dado que objeto de prueba se puede presentar en muchas formas y disposiciones, las bobinas de prueba tendrán que adaptarse a él.

Las bobinas de prueba pueden ser dispuestas de varias maneras, alrededor del objeto, dentro de él o sobre la superficie del mismo. En cada caso la bobina puede ser de devanado sencillo o doble, generalmente la segunda bobina o secundario suele estar devanada dentro de la primera (primario).

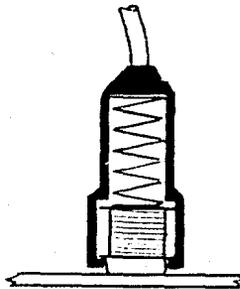
Las bobinas están arrolladas sobre materiales no conductivos como pueden ser plástico, resina fenólica; etc.

Los principales tipos de arreglos de bobinas se describen a continuación:

a. Bobinas de superficie.

Las bobinas de superficie están diseñadas para usarse sobre la parte externa del material. Para un efecto máximo la bobina debe adaptarse al contorno. La bobina puede ser de contacto o de no contacto y ser manejada por un operador o automatizada.

Dentro de las bobinas de superficie se incluyen las bobinas encapsuladas, las actuadas por resorte y las giratorias.



BOBINA DE SUPERFICIE ACTUADA POR RESORTE

b. Bobinas circundantes.

Las bobinas circundantes son usadas para encerrar el objeto alrededor de uno de sus ejes con el fin de dar un efecto máximo. La bobina debe ser más corta que el objeto para reducir el efecto de las orillas. No siempre las bobinas serán de forma circular sino que deberán adaptarse al perfil del objeto.

c. Bobinas internas

Las bobinas internas son idénticas a las circundantes, pero se colocan en el interior del objeto y se procura que se ajusten a él. Para localizar discontinuidades en el interior de tuberías, el especialista puede diseñar una bobina interna con controles remotos que le permitan posicionar la bobina en puntos específicos.

Una vez descritas las bobinas veremos a continuación la forma en que pueden disponerse y estar conectadas con el instrumento de medición.

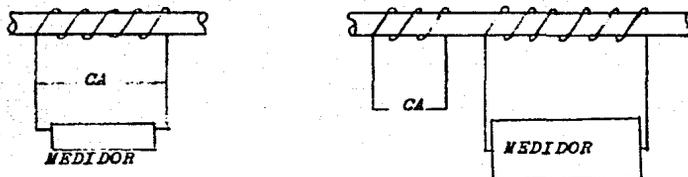
1. Bobina sencilla absoluta.

En este arreglo, la misma bobina es usada para inducir corrientes de Eddy en el objeto y detectar la reacción del mismo a las corrientes mencionadas. Para este arreglo se pueden usar los tres tipos de bobinas: de superficie, circundantes o internas.

Esta bobina única probará solamente el área bajo ella misma y no compara contra alguna referencia normalizada. Debido a lo anterior se le llama "absoluta".

2. Bobina doble

En el arreglo de bobina doble, la bobina primaria induce corrientes de Eddy dentro del objeto. Las corrientes de Eddy a su vez, generan un campo magnético que reacciona contra la bobina primaria y que también induce una corriente en la bobina secundaria.



3. Bobina diferencial.

La bobina diferencial tiene dos devanados idénticos pero en sentido contrario de tal manera que la salida de uno cancela la salida del otro cuando las propiedades del objeto son las mismas bajo cada uno. Solamente una pequeña diferencia (diferencial) en las propiedades del material causa un desbalanceo y una indicación de salida.

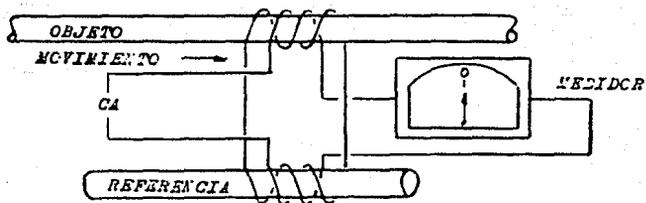
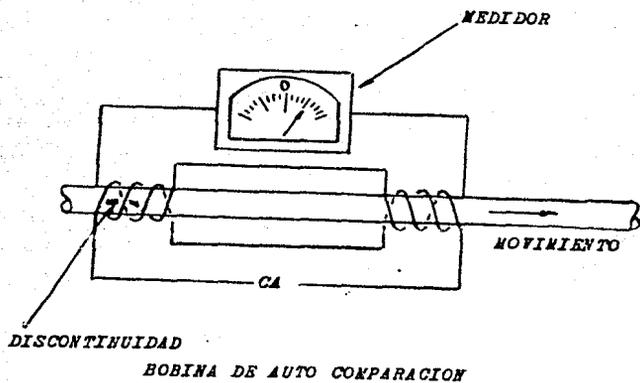
4. Arreglo de auto comparación.

Esta técnica usa una de las áreas del objeto como una referencia normalizada para el área donde el objeto se está sometiendo a prueba. Se asume que una discontinuidad no se extenderá bajo las dos áreas o que si es así tendrá una orientación que permita ser reflejada en las indicaciones de salida.

5. Arreglo de comparación externa.

El arreglo de bobinas es exactamente igual que la de auto comparación excepto que está ajustada ligeramente diferente.

Este arreglo se hace escogiendo cuidadosamente una referencia estacionaria libre de defectos, mientras que la parte bajo inspección se está moviendo a través de la otra bobina. Ver figura 5.11.



SISTEMAS USADOS EN LOS EQUIPOS DE PRUEBA

Las pruebas basadas en cambios grandes en la impedancia de la bobina de prueba cuando la bobina se encuentra cerca del objeto se llaman pruebas de impedancia. En este caso, la impedancia cambia el valor de la corriente y esto produce una indicación de salida. La mayoría de los equipos de prueba portátiles de conductividad y discontinuidades usan circuitos basados en cambios grandes de la impedancia.

La ventaja principal de la prueba de impedancia es la eliminación de la necesidad de procedimientos de ajuste extensivos. La técnica es generalmente limitada a condiciones estáticas, - debido a que un sistema en movimiento incrementaría el número de variables que apreciarían en las indicaciones de salida.

La diferencia en fase entre la corriente que fluye por una bobina de prueba y el voltaje que aparece en las terminales - provee la base para la prueba por análisis de fase.

La prueba de análisis de fase se basa en los cambios de fase que ocurren en la bobina de prueba y en el efecto del objeto - sobre estos cambios de fase. A través de un osciloscopio, estos cambios de fase pueden ser detectados y usados para tomar decisiones acerca del objeto. Es posible, también, establecer condiciones mediante las cuales algunas variables que producen cambios de fase puedan ser suprimidas y sólo sean mostradas -- las variables de interés.

La técnica del análisis de fase incluye tres métodos que -- son: método del punto vector, método de la elipse y método de base de tiempo lineal.

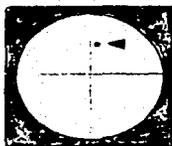
La ventaja primaria del análisis de fase es la habilidad -- de separar la variable conductividad de las variables dimensión y permeabilidad. Haciendo esto, la técnica está limitada a las frecuencias y condiciones de prueba que causen dos juegos de variables para producir cambios de fase separados 90 grados. El análisis de fase está también limitado a la habilidad del - inspector en el uso del equipo y en la interpretación adecuada de lo mostrado en el osciloscopio.

Otro sistema usado en las pruebas por corrientes de Eddy es el de análisis de modulación. El análisis de modulación provee la separación de más variables.

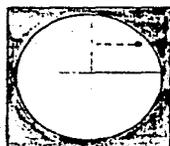
Esta técnica es básicamente usada para análisis de discontinuidades, debido a que una discontinuidad viajando a través del campo magnético de una bobina de prueba, modula (cambia) dicho campo. Si la bobina es corta en longitud y conectada diferencialmente (campo magnético muy angosto), entonces la discontinuidad tiene una relación señal/ruído relativamente grande y su frecuencia de modulación es una función del tiempo de tránsito de la discontinuidad a través del campo magnético de la bobina de prueba.

La mayor limitación es que el sistema está basado en objetos móviles. No se pueden usar situaciones estáticas de prueba.

CAMBIO EN CONDUCTIVIDAD

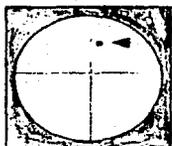


COMIENZA AQUI

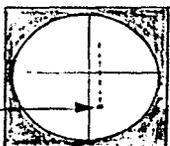


TERMINA AQUI

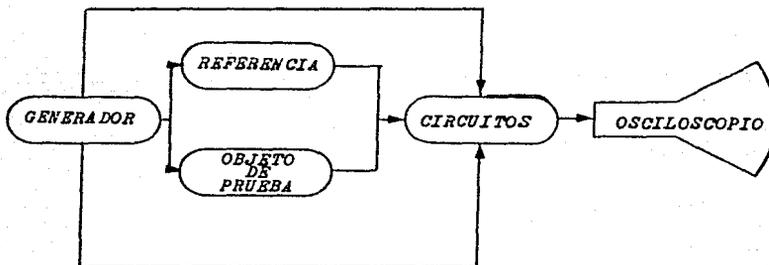
CAMBIO DIMENSIONAL



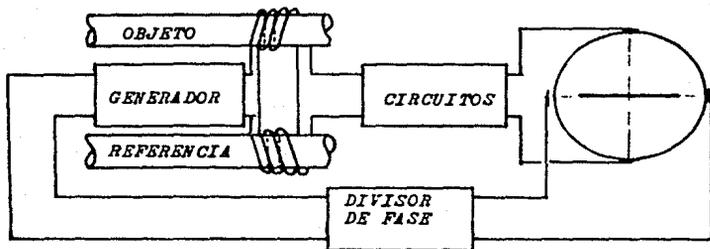
COMIENZA AQUI



TERMINA AQUI



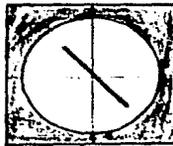
METODO DEL PUNTO VECTOR



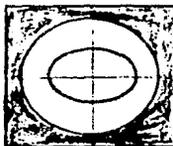
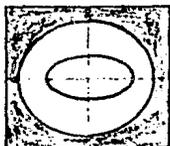
CAMBIOS
PEQUEÑOS

CAMBIOS
GRANDES

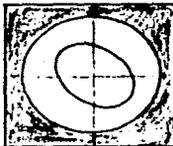
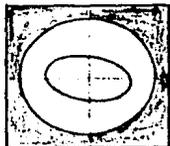
DIMENSION



CONDUCTIVIDAD



DIMENSION Y
CONDUCTIVIDAD



METODO DE LA ELIPSE

5.4.- INTERPRETACION DE RESULTADOS

Como se habrá podido notar la prueba por corrientes de Eddy abarca una gran variedad tanto de aplicaciones como de técnicas utilizadas, por lo que sería necesario un estudio completo de cada una de ellas para poder hacer recuento detallado de los resultados de las pruebas.

En este trabajo nos limitaremos a detallar las técnicas de interpretación del método del punto vector y del método de la elipse usados en el sistema de análisis de fase.

La figura 5.12 ilustra el método del punto vector. En este método el osciloscopio muestra un punto luminoso que representa el voltaje compuesto de los dos voltajes de la bobina de prueba. Estos dos voltajes están separados 90 grados, y el voltaje compuesto será cualquier combinación de estos dos voltajes. Con ayuda de circuitos divisores de fase y seleccionando la frecuencia, es posible, hacer que el voltaje V_1 sea el efecto causado por la variable dimensión (asumiendo permeabilidad constante) y que el voltaje V_2 sea el efecto causado por la variable conductividad. El punto luminoso representará alguna combinación de estos dos efectos.

(1) Con la ayuda de los controles de posición podemos ajustar los circuitos de tal manera que el punto luminoso se sitúe en uno de los cuatro cuadrantes del osciloscopio. Bajo esta condición un movimiento en la dirección X (horizontal) representará un cambio en conductividad, mientras que un movimiento en la dirección Y (vertical) representará un cambio en dimensión y/o permeabilidad.

(2) Cuando las propiedades de ambos objetos son las mismas, no se producirá ningún voltaje de salida; de ahí que el punto luminoso estará centrado en el osciloscopio.

(3) La presencia de una variable en un objeto bajo inspección que no sea la misma en el objeto de referencia causará que el punto luminoso se mueva. Analizando este movimiento es posible saber qué variable está causando el cambio. Cuando ambas

variables afectan la indicación de salida, es posible, obtener la variación de cada una de ellas, por trigonometría.

La figura 5.13 ilustra el diagrama de bloques del método de la elipse. Así como en el método anterior, se usan dos objetos uno como referencia normalizada y el otro bajo prueba. Cuando existe una condición de balance la indicación de salida será una línea recta.

El divisor de fase tiene el mismo propósito, posiciona la pantalla horizontalmente en el osciloscopio.

(1) El método de la elipse es capaz de mostrar dos variables al mismo tiempo. Una variable está reflejada por la posición de la elipse (o línea recta) en el osciloscopio; la otra variable está indicada por el tamaño de la abertura de la elipse (más abierta o más cerrada).

(2) Bajo condiciones de balance, el osciloscopio mostrará una línea recta horizontal. Esta línea tendrá una orientación angular si se genera una condición de desbalanceo. La significancia del cambio puede ser asignada a la variable conductividad o a la variable dimensión, dependiendo de las condiciones iniciales que fueron establecidas.

(3) El tamaño de la abertura de la elipse da la información necesaria de la segunda variable. Este tamaño puede ser relacionado con las escalas del osciloscopio para tener medidas -- cuantitativas.

(4) Cuando ambas variables aparecen al mismo tiempo, aparecerá una elipse orientada angularmente.

(5) En una aplicación típica, la orientación de la elipse puede representar la variable conductividad mientras que el tamaño de abertura representaría la variable dimensión.

CAPITULO 6

PARTICULAS MAGNETICAS

6.1.- DESCRIPCION DE LA PRUEBA

La prueba de partículas magnéticas es un método de pruebas relativamente fácil que puede ser aplicado a artículos terminados, tochos, barras roladas en caliente, fundiciones y forjas. También puede ser usado para verificar que algunas operaciones de proceso como son tratamientos térmicos, maquinados y rectificadas que no encubran o causen discontinuidades.

La prueba consiste de los siguientes pasos:

- a) Magnetización del artículo
- b) Aplicación de las partículas
- c) Interpretación de los patrones formados por las partículas como son atraídas por los campos magnéticos de fuga.

6.2.- MAGNETIZACION

Se puede crear un campo magnético en un material magnético en tres formas diferentes:

- 1) Haciendo circular una corriente eléctrica a través de una parte o a través de todo el espécimen.
- 2) Haciendo circular una corriente eléctrica a través de un conductor que rodea al espécimen o que esté en contacto con él.
- 3) Por medio de imanes permanentes o electromagnéticos.

Un conductor que conduzca una corriente eléctrica está rodeado por un campo magnético que forma círculos cerrados en un plano perpendicular a la dirección del flujo de la corriente. Una regla útil para determinar la dirección relativa de la corriente y el campo magnético es la llamada "Regla de la mano derecha" en la cual si uno forma con la mano derecha un conductor con el dedo índice apuntando hacia donde va la corriente, los dedos restantes que rodean al conductor nos darán la dirección

ción del campo magnético. Esto se llama magnetización circular.

En algunos casos puede ser imposible o impráctico magnetizar todo el espécimen, entonces la magnetización se realiza haciendo pasar una corriente a través de áreas específicas por medio de contactos o electrodos. Lo anterior produce un campo magnético circular entre los dos contactos.

Se debe tener cuidado de que las áreas de contacto estén siempre limpias para prevenir que el paso de la corriente cause sobrecalentamiento en la pieza. El uso de equipos de bajo voltaje para esta prueba es ventajosa debido a que evitan el sobrecalentamiento de la pieza en investigación.

Cuando un material ferromagnético se introduce en un solenoide, se crea un campo magnético en él. Este tipo de magnetización se conoce como "magnetización longitudinal".

Una manera conveniente de producir magnetización longitudinal en el taller o en el campo es enrollando cable flexible sobre el espécimen, si el espécimen es hueco se puede producir magnetización circular pasando un conductor concéntrico.

La intensidad del campo magnético depende directamente de la intensidad de la magnitud de la corriente, pudiéndose usar corrientes continuas o alternas. Las corrientes continuas producen campos magnéticos que penetran profundamente en el material, mientras que las corrientes alternas debido al efecto Kelvin, producen campos que están confinados a la superficie del metal. Consecuentemente, las corrientes alternas son más adecuadas para localizar grietas superficiales.

En general los valores de la corriente usada para magnetización no son críticos, sin embargo, si se usa una corriente muy débil, el campo resultante no será suficiente para formar un patrón. Si se usa una corriente demasiado alta, la acumulación de las partículas serán tan densa que no se podrá interpretar el resultado. La corriente de magnetización usada para inspeccionar soldaduras varía de 600 a 2000 amperes dependiendo del espesor de la soldadura y de la distancia de

las puntas de prueba al espécimen. En la mayoría de los casos los requisitos de la corriente de magnetización se determinan por especificación, norma u órdenes de compra. Cuando no se cuenta con datos disponibles la corriente se determina por experiencia o por experimentación.

La corriente directa usada para magnetización puede ser corriente directa estable obtenida por medio de baterías, generadores o rectificadores de onda completa. La corriente directa pulsante puede ser obtenida por rectificadores de media onda o corriente alterna monofásica. Los equipos comerciales para soldadura se pueden usar para generar altas corrientes a bajo voltaje.

Las partículas magnéticas pueden ser aplicadas mientras la corriente de magnetización está fluyendo o después de que la corriente ha cesado, en el primer caso se dice que la técnica es "continua" y la otra es la técnica "residual".

Cuando la corriente de magnetización está fluyendo se presentan ocasionalmente campos de fuga debidas a condiciones diferentes de una falla, especialmente cuando se trata de un conductor que envuelve el espécimen a ser magnetizado.

El campo magnético residual es relativamente débil comparado con el continuo y consecuentemente presenta menos sensibilidad, sin embargo, se elimina la posibilidad de indicaciones falsas en la prueba.

Las partículas magnéticas usadas en la prueba, pueden ser en presentación de polvo (técnica seca) o en suspensión (técnica húmeda). El material usado en la técnica seca consiste de partículas ferromagnéticas finamente trituradas y que tienen alta permeabilidad y baja retentividad. Estas partículas se les puede recubrir para aumentar su movilidad y/o colorear para dar un contraste máximo sobre el espécimen. Algunas veces se usan partículas con colorantes fluorescentes que deben ser observados con luz negra o ultravioleta.

En la técnica seca el polvo se aplica directamente sobre el espécimen de tal manera que tenga oportunidad de alinearse en patrones conforme se van acercando a la superficie del espe

cimen de prueba, una vez hecho esto, se quita el exceso de polvo con una corriente de aire a baja velocidad.

En la técnica húmeda la suspensión se puede aplicar por medio de atomización (spray) o por inmersión.

Con el objeto de lograr movilidad de las partículas secas, éstas se deberán dispersar en forma de nube sobre el espécimen o vibrar éste mientras las partículas están cayendo. Algunas veces se usan también corrientes de campo variable o pulsantes para facilitar la formación de los patrones.

6.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRUEBA.

Las ventajas de la inspección con el método de partículas magnéticas son las siguientes:

- a) Puede ser usado sobre cualquier espécimen que sea de material magnético.
- b) Es un método eficaz para encontrar fracturas o fallas que se localicen cerca o sobre la superficie.
- c) La técnica es muy flexible y el equipo es tan portable que puede ser aplicado en cualquier parte.
- d) Tanto el equipo como la mano de obra son relativamente baratos comparados con cualquiera de los otros métodos mencionados en este trabajo.

Y como desventajas podemos mencionar lo siguiente:

- a) Sólo se puede aplicar esta técnica sobre materiales magnéticos.
- b) Existe un número de factores tales como filo, profundidad, dirección y orientación, los cuales determinan la localización de un defecto no superficial.
- c) Es muy difícil localizar inclusiones diminutas.
- d) Puede ocurrir indicaciones falsas debido a campos de fuga locales a través de contornos agudos.
- e) Los caminos bruscos o repentinos de permeabilidad también pueden dar indicaciones falsas.

6.4.- APLICACION DE LA PRUEBA

La inspección con partículas magnéticas debe siempre ser realizada después de un ataque con ácido del espécimen.

Este ataque tiende a abrir los defectos pequeños, haciéndolos más anchos y al mismo tiempo redondeando los bordes, ya que los bordes agudos no son favorables cuando se aplican partículas magnéticas.

En cuanto a los defectos que esta técnica es capaz de localizar se pueden mencionar las siguientes:

- 1) Costuras, siempre y cuando los bordes no sean agudos.
- 2) Pliegues de forja.
- 3) Laminación, detectable sólo en lugares donde la laminación puede ser hecha produciendo un campo de fuga el cual puede penetrar a la superficie.
- 4) Defectos sub-superficiales en soldaduras. Fusión no uniforme, penetración defectuosa, porosidad, inclusiones extrañas, enfriamientos bruscos y grietas por encogimiento.

La posibilidad de detección no es muy buena cuando las fallas se hallan a más o menos 13 mm. bajo la superficie a menos que éstas sean extensivas. Para resultados satisfactorios, los defectos deberán estar a 7 mm. de la superficie como máximo.

6.5.- NORMAS APLICABLES :**INTERNACIONALES**

ASTM-E-269

ASTM-E-125

ASTM-E-109

ASTM-E-709

ASTM-E-045

ASTM-E-376

BIBLIOGRAFIA

Radiography in Modern Industry
Eastman Kodak Company
1978

Nondestructive Testing
Mc Gonnagle Warren J.
Gordon & Breach Ed.
1975

Principles of Penetrants
Betz Carl E.
Magnaflux Corporation
1969

Nondestructive Testing Handbook
Robert Mc Master Ed.
Society for Non Destructive Testing
1965

Nondestructive Testing Handbook
General Dynamics. Convair Division
Classroom Training Handbook C-T-6-5
1967

Materiales para Ingenieria
Van Vlack Lawrence
Ed. CECSA
1964.