



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGON ”

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS Y REQUERIMIENTOS
PARA LA HABILITACION DE UN LABO-
RATORIO EN LA ENEP ARAGON

T E S I S
Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P r e s e n t a n
ANTONIO AVILA ROBLEDO
ISMAEL GALISTEO FARIAS

Asesor: M. en C. Daniel Aldama Avalos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Edo. de Méx. Abril de 1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A mis padres :

Por su amor, comprensión y apoyo en cada momento de mi vida. Por todos sus sacrificios, sus consejos y por darme una familia con la que siempre puedo contar.

Mi eterno amor y agradecimiento.

A mis hermanas :

Araceli, Acela e Isabel :

Por ser una parte muy importante en mi vida, por su cariño, amistad y confianza. Y por la motivación constante para mejorar como ser humano.

Muchas gracias.

Antonio Avila Robledo

A mis padres :

Por todo el amor y confianza que me han dado, por sus esfuerzos y sacrificios, los cuales no han sido envano, ya que hoy puedo decirles que gracias a su apoyo he concluido mi formación profesional, siendo ésta la herencia más grande que aun en vida me han podido legar.

A mis hermanas :

Ana, María, Lilia y Angelina:

Por el apoyo que siempre me brindaron y estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.

A Emy :

Por su cariño y apoyo.

Ismael Galisteo Farías

A nuestros maestros :

Por el empeño y paciencia con el que afrontaron la difícil tarea de transmitirnos sus conocimientos, por la dedicación y motivación en busca de una completa formación profesional.

Por la meritoria labor de convertirse en el vínculo de nuestros anhelos a nuestra realidad.

Nuestro más grande reconocimiento.

A nuestros compañeros :

Por forjar una amistad que perdurará de la juventud a la madurez y por compartir los buenos y los malos momentos dentro y fuera de la escuela, que permanecerán como recuerdos imborrables.

A nuestro asesor :

M. en C. Daniel Aldama Avalos

Por su acertada dirección, por su disposición y amabilidad habitual durante el desarrollo de nuestra tesis y por los valiosos consejos recibidos.

Nuestro sincero agradecimiento.

A la empresa SIDAT :

Nuestro agradecimiento por el apoyo y asesoramiento que nos brindaron en la elaboración de nuestra tesis.

INDICE

JUSTIFICACION	I
INTRODUCCION	II
CAPITULO 1	
Los Ensayos No Destructivos	2
1.1 Necesidad de los Ensayos No Destructivos	2
1.2 Descripción General	3
1.3 Clasificación	4
1.4 Ventajas y Limitaciones	5
1.5 Selección	6
1.6 Discontinuidades y Defectos	6
CAPITULO 2	
Técnicas de Inspección Superficial	20
2.1 Inspección Visual	20
2.2 Líquidos Penetrantes	27
2.3 Electromagnetismo	34
2.4 Partículas Magnéticas	42

CAPITULO 3

Técnicas de Inspección Volumetrica	53
3.1 Radiografía Industrial	53
3.2 Radiografía Neutronica	82
3.3 Ultrasonido Industrial	88
3.4 Emisión Acústica	73

CAPITULO 4

Técnicas de Inspección de la Hermeticidad	81
4.1 Finalidad	81
4.2 Hide o Revela	81
4.3 Aplicaciones Típicas	81
4.4 Ventajas	82
4.5 Limitaciones	82
4.6 Generalidades	82
4.7 Pruebas de hermeticidad	83
4.8 Métodos Alternativos	88

CAPITULO 5

Certificación de los END	93
5.1 Ensayos	93
5.2 Principios Generales de Certificación	93
5.3 Responsabilidad del Cuerpo Colegiado	94
5.4 Requisitos para presentar examen	94

5.5	Presentación de Exámenes	96
5.8	Requisitos para Certificación	99
5.7	Reexamenación	99
5.8	Certificación	99
5.9	Validez y Renovación	100
5.10	Tenarios	100
5.11	Definiciones	107

CAPITULO 6

	Selección de equipo	112
6.1	Criterios de Carácter Técnico	112
6.2	Selección de Equipos de Ensayo	113
6.3	Equipo Necesario	114
6.4	Cotizaciones de Equipo	117
6.5	Recomendaciones	128

CAPITULO 7

	Conclusiones y Comentarios	131
--	--------------------------------------	-----

ANEXO A

	Tablas	134
--	------------------	-----

	BIBLIOGRAFIA	151
--	------------------------	-----

	NORMAS OFICIALES MEXICANAS	155
--	--------------------------------------	-----

JUSTIFICACION

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 y como una respuesta a éste, la Universidad Nacional Autónoma de México, después de intensas jornadas de trabajo decidió modificar los planes y programas de estudio de algunas carreras, de entre ellas la de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

En el caso de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón se imparte ésta carrera desde su fundación (el 16 de Enero de 1976) (1)¹ y cuyo plan de estudios fué tomado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM el cual estaba vigente desde 1972.

Desde esta fecha y hasta 1992 en la ENEP Aragón éste programa no había sido modificado sustancialmente, por tal motivo y debido a que la Ingeniería avanza cada día más, era necesario hacer ajustes a dichos programas, para así formar profesionistas mejor capacitados que afronten el futuro de nuestro país tanto científica como tecnológicamente.

El área de Tecnología de Materiales no se podía quedar al margen de éstas modificaciones, por lo que se ha reestructurado y ampliado su temario de estudio, hasta el plan anterior no estaban contemplados los Ensayos No Destructivos, los cuales por ser de gran importancia y uso industrial han sido introducidos en el nuevo plan de estudios.

Con dichos ensayos no existe la necesidad de destruir la pieza a evaluar para la creación de una probeta, es decir, el material o la pieza ensayada es completamente reutilizable.

Por tal razón hemos decidido con el apoyo de nuestro asesor abordar estos métodos así como introducirnos en el equipo necesario para habilitar el laboratorio con que cuenta la ENEP Aragón, de tal manera que pueda realizar algunas de dichas pruebas.

¹ El número de referencia bibliográfica se indicará entre paréntesis, en el caso de que se haga referencia a una Norma Oficial Mexicana se le antepone al número una letra N, el listado de las normas se encuentra anexo a la bibliografía.

INTRODUCCION

Esta tesis es de carácter introductorio a los Ensayos No Destructivos. Se ha cuidado de presentar cada ensayo de manera sistemática abarcando los mismos puntos para cada uno de ellos y estableciendo un orden progresivo en el grado de complejidad de los mismos.

Primero se presentan de una manera general para establecer un panorama de lo que son, posteriormente se hace una presentación formal de cada uno de ellos.

Hemos hecho una relación del equipo disponible en el mercado nacional, así como una recomendación del equipo más adecuado a las necesidades pedagógicas de la escuela.

Incluimos también el procedimiento para la certificación del personal especialista en los ensayos.

En el capítulo uno se encuentra una descripción general de los Ensayos No Destructivos. Se plantea una clasificación que se tomará como base para el desarrollo de los siguientes capítulos. Se enumeran las discontinuidades y defectos más comunes que se presentan en los procesos de manufactura, así como las causas que los provocan.

En el capítulo dos se presenta el primer grupo de la clasificación de los Ensayos No Destructivos, que son las Técnicas de Inspección Superficial que incluye a los Líquidos Penetrantes, Electromagnetismo, Partículas Magnéticas e Inspección Visual.

El capítulo tres describe el segundo grupo de la clasificación que corresponde a las Técnicas de Inspección Volumétrica e incluye a la radiografía Industrial, Ultrasonido Industrial, Radiografía Neutrónica y a la Emisión Acústica.

El capítulo cuatro trata el último grupo de la clasificación, conteniendo temas de la inspección de la hermeticidad incluyendo la cámara de burbujas, detectores de Halógenos así como pruebas hidrostáticas y neumáticas.

En el capítulo cinco se establecen los pasos a seguir para la certificación de los Ensayos No destructivos a nivel personal.

El capítulo seis contiene los criterios para la selección de un equipo adecuado, equipos disponibles así como nuestras recomendaciones.

En el capítulo siete formulamos nuestras conclusiones y comentarios.

Finalmente se encuentra el anexo A, en el que se presentan algunas de las tablas utilizadas por los inspectores en la aplicación de los Ensayos No Destructivos; así como los reportes de las inspecciones realizadas en la industria en las que tuvimos oportunidad de participar.

CAPITULO 1

LOS ENSAYOS

NO

DESTRUCTIVOS

CAPITULO 1

LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La finalidad del presente capítulo, es la de dar un panorama general de lo que son los Ensayos No Destructivos.

En que consisten, qué los justifica, para que sirven, cómo se clasifican, cuáles son sus ventajas y cuales sus limitaciones, así como los defectos que se pueden localizar con ellos.

I.1 NECESIDAD DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Actualmente la industria enfrenta el problema de elaborar productos con un alto nivel de calidad y con el menor costo de producción. Para lograrlo es indispensable desarrollar un buen programa de aseguramiento de calidad.

Gran parte de este programa recae en las manos de aquellos ingenieros dedicados a la investigación de los materiales. De una selección adecuada de los mismos dependerá que el producto final cumpla con los requisitos y normas para los que fue creado.

Para conocer las propiedades de los materiales se realizan una serie de ensayos (o pruebas), en los cuales, se elabora una probeta del material a investigar, la que será destruida total o parcialmente, obteniéndose de ella la información deseada (características de tenacidad, dureza, modulo elástico, etc.).

Estos ensayos son conocidos como ensayos destructivos, y algunos de ellos son: Ensayo de dureza, de tensión, fatiga, compresión, impacto, metalografía, etc. Y aunque la información proporcionada por éstos es de vital importancia, no garantizan que la estructura o elemento se comporte de igual manera que la probeta ensayada. Así mismo, no revelan cuando existen fallas o defectos internos en el propio material.

Es aquí cuando surge la necesidad de realizar otro tipo de ensayos, que nos permitan encontrar tales fallas, además de poder conocer el comportamiento del elemento en servicio sin tener la necesidad de llegar a destruirlo.

De esta forma surgen los ensayos no destructivos, cuya finalidad es detectar los defectos inherentes al material, al proceso de producción y comportamiento de las piezas en servicio. Además de determinar características dimensionales, y con la gran ventaja de que no se alteren las propiedades ni su estructura de la pieza durante el ensayo, por lo que no hay ningún inconveniente para ser nuevamente utilizadas.

Estos ensayos van desde métodos sencillos como la inspección visual de una superficie hasta métodos muy complejos como los que involucran el uso de reactores nucleares.

Todos estos métodos empleados adecuadamente permiten obtener un excelente control de calidad, lo cual permite aplicarlos durante la inspección del material que se recibe, durante el proceso de manufactura y finalmente en la prueba del producto terminado.

I.2 DESCRIPCION GENERAL

Los ensayos no destructivos¹ quedan definidos como la aplicación de métodos físicos indirectos que tienen por finalidad verificar la sanidad de un material, sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.²

Se utilizan para determinar si un elemento o máquina es capaz de llevar a cabo la función para la que se construyó, sin que tales métodos de prueba afecten el funcionamiento posterior del componente. Valiéndose de métodos físicos indirectos, tales como: Todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, la opacidad al paso de la radiación, la energía mecánica de vibración, etc.

Por no inutilizar las piezas que son sometidas a los ensayos y por la información que proporcionan, los ensayos no destructivos son rentables, además de altamente confiables; se emplean para la conservación de equipo y maquinaria con el fin de evitar pérdidas de servicio no programado y costoso, a causa de fatiga y desgaste. Y durante el proceso de fabricación para asegurar un nivel de calidad en un producto y así mismo reducir al mínimo los costos de garantía.

Es importante aclarar que a pesar de su creciente desarrollo y sus amplias posibilidades, éstas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos, sino que los complementan.

¹ También conocidos como pruebas no destructivas. El término en inglés es NDT de Non Destructive Testing.

² Definición de la Norma Oficial Mexicana NOM-B-482-1991

I.3 CLASIFICACION

Actualmente son de uso común en casi todos los sectores industriales y por su aplicación son clasificados en ³

I.3.1 TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL

Por éste método sólo se comprueba la integridad del material, por esto su aplicación es conveniente cuando es necesario identificar discontinuidades abiertas a la superficie o a profundidades muy cercanas a la superficie y se realiza por cualquiera de los siguientes ensayos:

- INSPECCION VISUAL (VT)
- LIQUIDOS PENETRANTES (PT)
- PARTICULAS MAGNETICAS (MT)
- ELECTROMAGNETISMO (ET)

I.3.2 TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA

Estos métodos permiten verificar la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza y se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

- RADIOGRAFIA INDUSTRIAL (RT)
- ULTRASONIDO INDUSTRIAL (UT)
- RADIOGRAFIA NEUTRONICA (NRT)
- EMISION ACUSTICA (AET)

I.3.3 TECNICAS DE INSPECCION DE LA HERMETICIDAD

En éstas se comprueba la capacidad de un componente o un recipiente para contener un fluido (líquido o gaseoso), a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica, sin que

³ Cabe aclarar que en la siguiente clasificación no están incluidos todos los ensayos no destructivos, el número de estos es grande y constantemente se amplía más, tal clasificación sólo incluye los ensayos que están certificados en México.

existan pérdidas apreciables de presión o de volumen del fluido de prueba por un período previamente establecido y son cualquiera de los siguientes ensayos:

-HERMETICIDAD (LT)
PRUEBAS POR CAMBIO DE PRESION HIDROSTATICA Y NEUMATICA
PRUEBAS POR PERDIDA DE FLUIDO

1.4 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

1.4.1 VENTAJAS: (7)

Se pueden utilizar en cualquier fase de un proceso productivo, como:

-En la recepción de materia prima que llega al almacén; para comprobar la homogeneidad, composición química y evaluar ciertas propiedades mecánicas.

-Durante los diferentes pasos del proceso de fabricación; comprobando si el componente está libre de defectos por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o una soldadura mal aplicada.

-En la inspección final o de liberación del producto terminado; para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera los requisitos de aceptación, que está construida del material que se había prometido o que cumplirá de manera satisfactoria la función para la que fué creada.

-Inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio; para verificar que todavía se pueden emplear en forma segura, para conocer el tiempo de vida remanente y para programar los paros de mantenimiento y no afectar el proceso productivo.

-Puesto que las propiedades del material no se alteran, no existen desperdicios. Es especialmente rentable cuando se inspeccionan componentes críticos en procesos de fabricación controlada o en producción de piezas en gran escala.

1.4.2 LIMITACIONES (7)

-La inversión inicial en algunos casos es alta.

-La propiedad física a controlar es medida de forma indirecta, por tanto es evaluada cualitativamente o por comparación, entonces se deben preparar patrones de comparación o referencia que permitan una calibración correcta de los sistemas de inspección.

-Si los procedimientos de inspección no están debidamente preparados y calificados o si no se cuenta con patrones de referencia, una indicación puede ser interpretada de forma diferente por dos o más inspectores.

-Se requiere que el personal que aplique los ensayos haya sido debidamente capacitado y calificado para que cuente con la experiencia necesaria para una correcta interpretación y evaluación de los resultados, así como para que evite el desperdicio de material o pérdida de tiempo por sobreinspección.

1.5 SELECCION (7)

Para hacer una adecuada selección del método de inspección que satisfaga las necesidades del que los emplea se deben considerar una serie de factores, tales como:

- Las características físicas y geométricas del material a inspeccionar
- El proceso de fabricación de la pieza
- El tipo de discontinuidad que se espera encontrar
- Las condiciones bajo las que se examinará la pieza
- El costo del equipo de inspección
- La complejidad para el manejo del equipo
- La sensibilidad del equipo
- La habilidad del operador

Posteriormente, durante la descripción de los ensayos se mencionará como se presentan las características anteriores para cada uno de ellos.

1.6 DISCONTINUIDADES Y DEFECTOS

Para poder utilizar adecuadamente los END primero debemos conocer qué es lo que buscamos, es decir, los defectos y discontinuidades, a continuación se describirán brevemente los defectos

que se presentan en los procesos industriales, qué los origina y cuál es su aspecto.

Aún cuando los productores de materiales se esfuerzan porque sus productos se obtengan con el menor número de impurezas, no se elimina la posibilidad de que se presenten éstas, las cuales surgen y se ven incrementadas hasta convertirse en discontinuidades y defectos durante el proceso de conformado de ese material en un producto manufacturado.

1.6.1 FUNDICION (19)

Es uno de los principales procedimientos tecnológicos aptos para la obtención de piezas de manufactura. Consiste en licuar una masa metálica y colarla en moldes apropiados según la forma deseada; por lo general es empleada para la obtención de piezas de geometría complicada.

Los defectos principales que ocurren en la fundición son originados por porosidades, tanto gaseosas como contracciones, así como inclusiones no metálicas y desgarramientos. A continuación se enumeran algunos de ellos:

DESCASCARAMIENTO. Es producido por el calor de la corriente del metal expandiendo la arena en forma localizada y de manera no uniforme, produciendo un rizado o astillamiento, éste material forma una inclusión de arena en otro punto.

CONTRACCION. Se presenta al enfriarse el metal, dado que la densidad del metal en estado sólido es mayor que en estado líquido, se produce la contracción en algunas zonas de la pieza fundida; en el mejor de los casos se produce porosidad.

INCLUSIONES. Es el resultado del aplastamiento o descascaramiento, así como arena floja dentro del molde; pueden existir inclusiones de escoria del mismo material.

GRIETAS EN FRIO. Causadas generalmente por esfuerzos residuales o por la limpieza inadecuada del vaciadero y del alimentador.

GAS ATRAPADO. Durante la precipitación del metal líquido se origina gas, el cual se queda atrapado en el molde.

UNION IMPERFECTA. Debida generalmente a que una parte o sección de la fundición se une en forma incorrecta por una temperatura baja del metal y flujo pobre.

INCLUSIONES METALICAS. Son fragmentos de metal solidificado que quedan atrapados en el flujo del metal fundido y son causados por flujo interrumpido.

PUNTOS DUROS. Ocurren generalmente en hierro gris y en el hierro dúctil, son causados por la solidificación rápida de las secciones delgadas y esquinas, pudiendo producir hasta estructuras de carburo.

Es importante señalar que las porosidades debidas a los gases tienen forma esférica, mientras que los poros causados por contracciones internas presentan superficies rasgadas.

I.6.2 TRABAJO DE LOS METALES (19)

Muchos elementos o componentes son obtenidos mediante la fundición de un lingote, que posteriormente es trabajado por combinación de procesos de manufactura como son el laminado, forjado, extrusión, troquelado, estampado en forja u otros procesos más complicados para así obtener una pieza. Como es una combinación de procesos, se mencionan los defectos de este grupo:

SEGREGACION. Las inclusiones y los elementos aleantes se pueden segregar durante la solidificación y se forman laminaciones en bandas.

RECHUPE. (cavidad de contracción) Es causada por la oxidación del material, una cavidad de contracción no suelda. Si el material es forjado esta cavidad produce fisura en el producto laminado.

INCLUSIONES. Estas se distribuyen uniformemente en el lingote, después del formado y se elongan en dirección de la deformación.

ESCALONES. Son causados cuando la solidificación ocurre en forma no uniforme, este defecto es de forma parecida a un traslape.

ESTALLIDOS. Se producen cuando los esfuerzos sobre la superficie en los bordes laminados son superiores que en el interior, se presentan como rajaduras laminares.

TRASLAPES. Son originados por el repliegue de una superficie laminada

COSTURA. Se produce por el plegamiento continuo de una superficie laminada en alguna región.

COSTRA. Puede laminarse en una superficie o puede extenderse en la dirección del laminado y es producida por oxidación.

REBABAS. Son extrusiones del metal originadas cuando el troquel no encaja adecuadamente.

GRIETAS TERMICAS. Son originadas por el agrietamiento de los rodillos y por la impresión de astrias sobre la pieza que se está trabajando.

GRIETAS. Son el resultado de una temperatura inadecuada de forjado o debido a que el martillo no tiene la suficiente fuerza de impacto.

Para el caso de las piezas trabajadas en caliente, es decir, a temperaturas superiores a la de recristalización, podemos encontrar defectos debidos a: (17)

Temperaturas muy altas de trabajo. Las cuales originan quemaduras del mismo metal, esto es, si el metal se calienta hasta temperaturas cercanas a la de solidificación, el material se funde formando vacíos que no son llenados durante el trabajo posterior. Debido a las altas temperaturas se presentan la pérdida de ductilidad, los agrietamientos y un crecimiento excesivo del grano.

Temperaturas bajas de trabajo. Cuando un material se trabaja a temperaturas bajas, en los procesos posteriores generalmente se producen agrietamientos especialmente en el forjado y en el laminado, principalmente en las esquinas y bordes, así mismo en el laminado se produce el estallido en el centro, el cual consiste en que el material próximo a los rodillos se deformará rápidamente con respecto al material del centro.

Trabajo defectuoso. La manipulación inadecuada de una pieza durante el forjado o el mal diseño del troquel producirá un traslape conocido como defecto cerrado en frío, el traslape atrapa una porción de la superficie que generalmente está oxidada y con costra produciendo un plano de debilidad.

Trabajo en frío. Este es realizado a una temperatura ambiente, la ductilidad del metal es más baja y no se llega a la recristalización (excepto en metales con punto de fusión bajos como el plomo). En este caso las piezas están más expuestas al agrietamiento si en el lingote estaban presentes las inclusiones, si

existen esfuerzos residuales los casos empeoran y la pieza puede llegar a romperse.

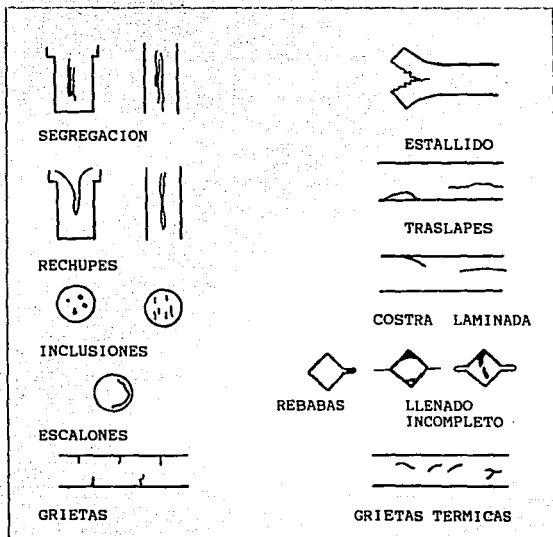


Fig. 1.1 Defectos en Fundición.(19)

I.8.3 SOLDADURA (15)

Es un método de gran importancia para la unión de metales, pues permite la obtención de formas y estructuras complejas a partir de componentes simples. se realiza la unión por medio de la fusión de los metales, la forma de suministrar el calor necesario para lograr la fusión se obtiene de muy diversas maneras, esto y el rango de temperaturas alcanzado son las características que diferencian los tipos de soldadura.

Existe un grupo de defectos tales como la porosidad por gases, la contracción, el desgarramiento en caliente y las inclusiones que son exactamente iguales a los defectos de fundición y por lo cual se tomarán como tal.

Pero también existen otros defectos que son característicos del proceso de soldadura como son:

GRIETAS. Las cuales pueden ser de:

- a) Cráter
- b) Transversal
- c) Longitudinal
- d) En zona afectada por el calor
- e) Grieta en la intersección de soldadura con el metal base
- f) Grietas de raíz

FUSION INCOMPLETA. Causada por la falta de calentamiento suficiente.

SOCAVACION. Se debe al control deficiente de la varilla o electrodo de soldadura.

FALLA DE LLENADO. Se debe a un depósito incompleto de la varilla de soldadura; sólo se presenta en los casos en que se utiliza un metal de relleno.

UNION INCORRECTA. Es un desplazamiento de las piezas que se unen a un dispositivo de fijación.

COSTURA INCORRECTA. En una soldadura con haz de electrones, este defecto se debe a la alineación deficiente de las piezas que se van a unir.

POROSIDAD. Se presenta por la emanación de gas que se produce al realizar la soldadura, también se debe a la contracción.

INCLUSIONES DE ESCORIA. Estas se deben al control deficiente y a la eliminación inadecuada de la escoria entre los pasos o cordones.

FUSION INCOMPLETA. Es causada por la manipulación incorrecta del electrodo o por una unión sucia.

VACIOS DE ESTALLIDO. Son originados por contracción y presencia de gas en una soldadura por haz de electrones.

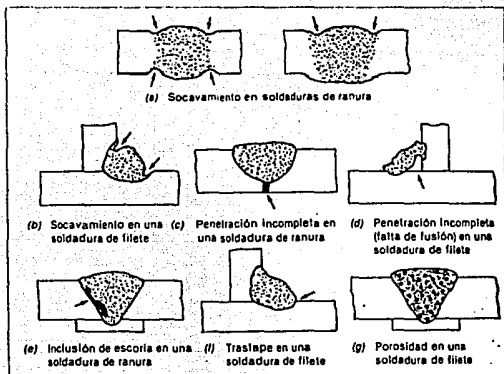


Fig. 1.2 Defectos en soldadura. (15)

VACIOS POR CONTRACCION. Son defectos internos ocasionados durante la solidificación y por los esfuerzos de la soldadura.

DESGARRAMIENTO LAMINAR. Son grietas causadas por los esfuerzos de soldadura.

FALTA DE FUSION Y PENETRACION. Ocurren cuando las condiciones para la soldadura no producen un lecho de ésta lo suficientemente caliente para disolver y penetrar el metal base, conduciendo a una unión débil.

SOCAVACION. Se presenta cuando la soldadura funde el metal base en la pared lateral pero no llena el surco, originando una muesca longitudinal que puede producir fractura.

CRISTALIZACION DE LA SOLDADURA. Es una característica muy poco deseable, sin aparentarlo, debilita al metal soldado y conduce a una fractura al ocurrir una sobrecarga o algún golpe.

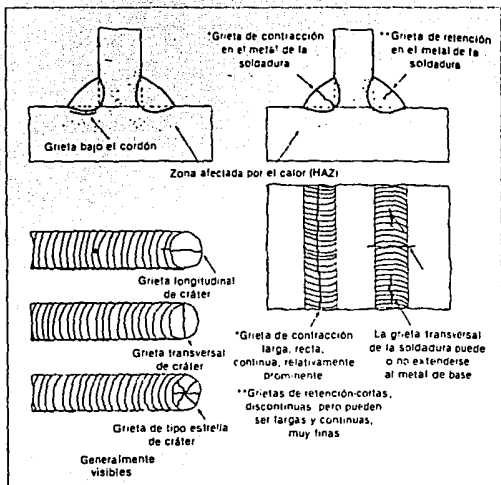


Fig. 1.3 Grietas en soldadura (19).

I.6.4 DEFECTOS OCASIONADOS POR TRATAMIENTOS TERMICOS

Debido al tratamiento térmico se presentan defectos tales como: (16)

I.8.4.A El efecto del gradiente térmico o enfriamiento acelerado, produce una estructura rígida y de alta resistencia cuando la parte de la pieza se enfría rápidamente, mientras que las regiones que aún se encuentran a temperaturas altas se contraen produciendo esfuerzos residuales.

I.8.4.B Cambios estructurales que producen fases frágiles o esfuerzos altos debidos a la transformación y son generados por tratamiento térmico inadecuado.

I.8.4.C Reacciones con la atmósfera del horno, conducen a fallas por fatiga las cuales se conocen como descarburación. Si la atmósfera es oxidante, cuando una pieza de acero se austenitiza antes del temple ocurrirá una pérdida considerable de carbono en las capas superficiales, las cuales no se endurecen adecuadamente y ceden más fácilmente a la fatiga. Una carburación excesiva y la absorción del hidrógeno también producirán estructuras indeseables.

I.8.5 DEFECTOS DE ELEMENTOS EN SERVICIO (11)

Los elementos de máquinas que están efectuando un trabajo estarán sometidos a condiciones de esfuerzo, desgaste, corrosión y fatiga del material; después de un tiempo éstas condiciones pueden provocar que dicho elemento no cumpla satisfactoriamente con la función para la que fué creado.

Así, es importante mencionar los defectos que se pueden presentar en piezas que han estado en condiciones de servicio:

CORROSION. La corrosión es un ataque químico gradual a un metal por su medio ambiente, que da por resultado la conversión del metal en óxido, una sal o algún otro compuesto. Los metales que han experimentado corrosión pierden su resistencia, su ductilidad y otras propiedades mecánicas y físicas convenientes. Los medios corrosivos son; el aire, las atmósferas industriales, el suelo, los ácidos, las bases, las soluciones salinas e incluso las temperaturas elevadas.



Fig. 1.4 Escamado a altas temperaturas. Es un ataque químico directo. (11).

La corrosión-erosión es una combinación de erosión mecánica y de los mecanismos básicos de la corrosión. Los metales que resisten la corrosión, debido a la formación de capas pasivas, pierden su estabilidad si la erosión impide que mantenga la película protectora. La erosión se debe al flujo turbulento de líquidos, sobre todo los que contienen sólidos en suspensión (como la suciedad y sales que se precipitan cuando se enfrían soluciones saturadas en caliente). La turbulencia, a su vez, se debe a las altas velocidades de flujo, los cambios en el diámetro de los tubos, los codos y los accesorios.

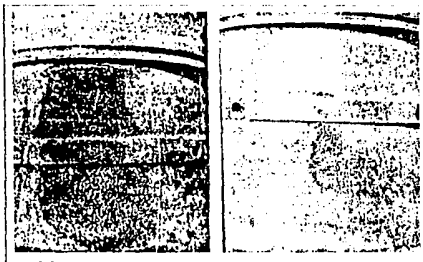


Fig. 1.5 Erosión de un cilindro húmedo de motor diesel, al cabo de seis meses de servicio.(11)

Corrosión con esfuerzo. Ocurre cuando actúan esfuerzos estáticos y superficiales de tensión en combinación con un medio corrosivo. Los esfuerzos pueden ser residuales o por cargas aplicadas, pero deben encontrarse en la superficie y ser de tensión.

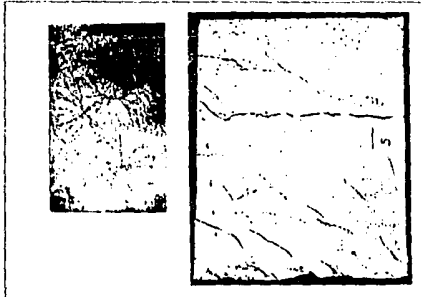


Fig. 1.6 Resquebrajamiento, que es un mecanismo complejo de la corrosión.(11)

AGRIETAMIENTO POR FATIGA. Se producen grietas muy finas las cuales son el indicio de una próxima falla por fatiga, tales constituyen las principales causas simples de defectos en los materiales metálicos. Los resquebrajamientos se producen frecuentemente en la superficie del material y no debajo de ella. Y son el resultado de esfuerzos cíclicos que, por lo común están por debajo de los valores generalmente aceptados para el límite de elasticidad. Tomar en consideración que habitualmente se producen con esfuerzos pequeños, mucho menores que los esfuerzos estáticos necesarios para ocasionar la falla.

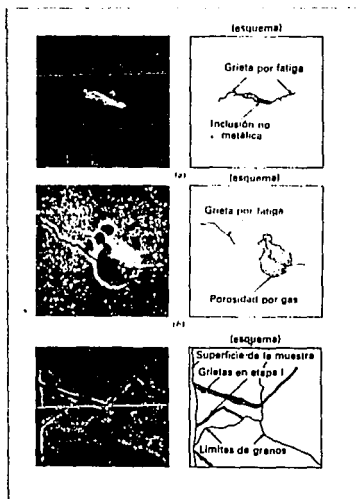


Fig. 1.7 Grietas por fatiga. (a) Por inclusión no metálica, (b) Debida a un poro de gas, (c) Propagación de una grieta por fatiga. (19).

AGRIETAMIENTO POR ESFUERZO. Los esfuerzos que causan el agrietamiento del material de una pieza o miembro estructural pueden ser axiales, flexionantes, torsionales o una combinación de ellos, se presentan después de que el material ha sido sometido a esfuerzos mayores a los permisibles.

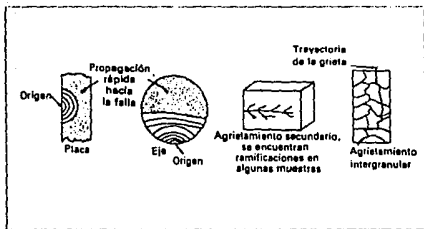


Fig. 1.8 Agrietamiento por esfuerzo.(19)

Así como cada uno de los casos anteriores pueden ser los causantes del defecto, la combinación de dos o más de ellos acelera el proceso y causan la falla del elemento.

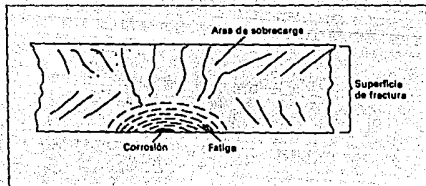


Fig. 1.9 Combinación de esfuerzos.(19)

CAPITULO 2

TECNICAS DE

INSPECCION

SUPERFICIAL

CAPITULO 2

TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL

En éste capitulo se dará una breve descripción de los ensayos que caen en la clasificación de técnicas de inspección superficial. Como ya se mencionó, con ellos solamente se comprueba la integridad superficial del material y se detectan las discontinuidades abiertas a la superficie o a profundidades menores de 3 mm (llamadas subsuperficiales). Es común que se apliquen en forma combinada, dado que la inspección visual y los líquidos penetrantes revelan las discontinuidades superficiales, mientras que las partículas magnéticas y el electromagnetismo revelan las subsuperficiales.¹

II.1 INSPECCION VISUAL

II.1.1 FINALIDAD

Es una técnica de inspección no destructiva, en la cual las discontinuidades se detectan visual y directamente sobre la superficie de la pieza o elemento a inspeccionar.

II.1.2 APLICACIONES TIPICAS

Piezas coladas, piezas fundidas, piezas forjadas, piezas sometidas a agrietamientos, láminas de metal, tuberías y partes interiores de maquinaria, materiales no metálicos, polímeros y cerámicos.

II.1.3 HIDE O REVELA

Fallas superficiales, grietas, porosidades, cráteres no rellenados, inclusiones de escoria, adaptación incorrecta, socavamientos, deslizamientos, alabeo, sobresoldadura, desalineamientos.

¹ La descripción de los ensayos que se realiza en la presente tesis es únicamente de carácter introductorio, si se desea mayor información sobre alguno de los métodos se puede recurrir a la bibliografía correspondiente.

II.1.4 VENTAJAS

- Bajo costo
- Aplicables estando en proceso la pieza de trabajo
- Da indicación de los procedimientos incorrectos
- Util durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo
- Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente señala la otras que pueden detectarse de forma más precisa que por otros métodos

II.1.5 LIMITACIONES

- Son aplicables a defectos superficiales únicamente
- No proporcionan registros permanentes
- La detección de discontinuidades puede ser difícil si las condiciones de la superficie sujeta a inspección no son correctas
- La calidad de la inspección visual depende en gran parte de la experiencia y conocimientos del inspector que la realiza
- Cuando se emplean sistemas de observación directa, la calidad de la inspección dependerá de la agudeza visual del inspector o de la resolución del monitor de video

II.1.6 GENERALIDADES (7)

Este es el más usado de los métodos de inspección, por ser fácil de aplicar, rápido y de un costo bajo, así como porque proporciona información muy importante en relación con el cumplimiento general de la pieza con los requerimientos de la especificación.

Debe ser siempre, el método primario de inspección sin importar que otras técnicas complementarias se requieran.

Constituyen el único tipo de inspección en producción, su utilidad comienza desde la verificación del material para la conformación de la pieza, y así en cada uno de los procesos de producción. Como resultado de esto, se detectan problemas que pudieran agravarse en los pasos subsecuentes de la producción o durante el servicio de la pieza.

Debido a que sólo detectan defectos superficiales, para ciertas aplicaciones no será útil, así que se recomienda que se utilice como complemento de algún otro método de inspección. Lo an-

terior no debe demeritar los beneficios del método de inspección visual, ya que se pueden detectar muchos problemas mediante la inspección realizada por una persona bien entrenada.

II.1.7 PROCEDIMIENTO

II.1.7.A LIMPIEZA

Dado que este método de inspección se realiza por visualización directa, es necesario que la pieza a inspeccionar presente una superficie limpia (recordar que sólo se detectan defectos abiertos a la superficie). Por limpieza entendemos, libre de escoria, suciedad, grasa, óxido y cualquier medio que sea capaz de obstruir la verificación de la continuidad de la superficie.

Para realizar la limpieza se utilizan cualquiera de los procedimientos (uno o varios) de los recomendados para los líquidos penetrantes (posteriormente descritos en este mismo capítulo).

Por lo general es recomendable que, en los casos en que la pieza a inspeccionar esté cubierta con capas de pintura o algún otro tipo de recubrimiento; éste sea removido, con el uso de un solvente u otro método que garantice una buena eliminación del recubrimiento, la razón; lógicamente es que las grietas o discontinuidades buscadas no queden ocultas.

II.1.7.B LA INSPECCION (15)

Para realizar la inspección visual no solamente se utiliza la observación directa, sino también existen diferentes equipos ópticos para ayudar a la inspección.

La primera modalidad de este ensayo son los llamados estudios macroscópicos. Para éstos, se realiza la inspección de la pieza con la ayuda de lentes amplificadores de baja potencia (lentes o lupas con aumentos de 5X y 10X).

Después de realizar la limpieza del elemento a probar y bajo condiciones de iluminación adecuadas, el inspector efectúa la revisión del elemento, para lo cual previamente debió revisar los planos o dibujos técnicos de la pieza, y conocer el proceso por el que ha pasado la pieza y tener una idea de los defectos que debe buscar.

La verificación de la superficie se realiza de manera rápida y limpia, es de costo bajo y abarca una amplia área de inspección. Tales ventajas permiten que una vez aprobada la calidad de la pieza esté inmediatamente disponible para reintegrarse al proceso o servicio al que corresponda.

Una variante resulta al usar microscopios si es necesario (en el caso de una condición especial). Los microscopios equipados con aditamentos fotográficos frecuentemente se usan para obtener registros permanentes de los defectos, zonas dudosas y variantes estructurales.

Una segunda forma de realizar la prueba es con la ayuda de sistemas de interferencia cromática. Consiste en el empleo de luz polarizada sobre una superficie reflejante y por medio de los patrones cromáticos formados, son determinadas las zonas con discontinuidades, como en los casos de inspección de porcelanas o recubrimientos vidriados. (7)

Aquí cabe aclarar que para permitir realizar las actividades de este ensayo se aplican exámenes de agudeza visual a los inspectores (requisito indispensable). Se realizan cada 6 o 12 meses y de ser necesario el uso de lentes por prescripción médica por parte del inspector, estará obligado a emplearlos para toda labor de inspección e interpretación de las indicaciones.

Otro examen que se les aplica a los inspectores es el de discriminación cromática y se aplica a fin de comprobar que esté capacitado para detectar variaciones de color o tonos cromáticos, ya que como en el caso de la última forma descrita de realizar el ensayo, es crítica la detección de pequeñas variaciones de un tono de color o la apreciación en particular, principalmente en aplicaciones de la industria aeronáutica o nuclear.

Dicho examen sólo se requiere practicarlo una vez, ya que el daltonismo es una alteración genética y no es corregible. Ambos tipos de exámenes son plenamente justificados.

Otra forma de practicar la inspección visual es con el uso de endoscopios, recomendada cuando se debe aplicar la prueba en una región inaccesible por su geometría. Como por ejemplo, el interior de un componente o la inspección de una parte sin necesidad de desarmar el equipo lo cual es de gran importancia en el caso de las turbinas.

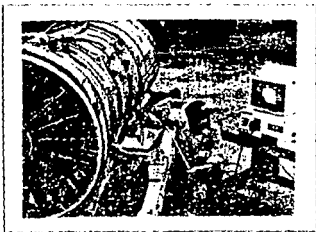


Fig. 2.1 Inspección de una parte aeronáutica empleando un endoscopio digital.(7)

II.1.7.C ENDOSCOPIOS (7)

El endoscopio es un instrumento que transmite la imagen de la zona que está inspeccionando, por medio de lentes ópticos o por medio de fibras ópticas a un ocular o sistema de registro de imágenes.

Existen tres tipos de endoscopios:

- Endoscopios rígidos
- Endoscopios flexibles
- Endoscopios remotos

Los endoscopios rígidos se utilizan solamente para aquellas piezas que permitan su uso, como por ejemplo en secciones cilíndricas, en donde no hay cambios bruscos en la geometría de la pieza.

Los endoscopios flexibles son usados en aquellas piezas que por su forma, acceso o características generales no permitan el uso de endoscopios rígidos, inclusive pueden realizar los exámenes de éstos y no en forma inversa.

Por último los endoscopios remotos se aplican en la automatización del proceso por medio del empleo de pequeños robots o unidades de control remoto y de sondas.

Por otra parte los endoscopios deben estar provistos de un sistema de iluminación para su funcionamiento adecuado, actualmente la fibra óptica provee las mejores condiciones de iluminación.

Se utilizan sistemas de video para el registro permanente de la inspección y de sistemas cromáticos (a colores) para una mejor inspección de zonas.

Es deseable un sistema de registro primario de la imagen por medio de CCD (Charge Coupled Device, registro de imágenes en estado sólido) que es un semiconductor de silicio capaz de registrar una imagen y convertirla en una señal, esto si se desea una imagen digitalizada lo cual asegura una mejor calidad de las pequeñas indicaciones.

Y los sistemas de video deben ser preferentemente cromáticos y con la más alta resolución posible, lo cual permite conocer mejor en términos generales el estado de los elementos de maquinaria sujetos a inspección.

Los sistemas de almacenamiento (grabado de imágenes) deben ser compatibles con los nuevos sistemas de análisis de imagen por digitalización (empleo de computadoras).

II.1.8 METROLOGIA

Existe otro tipo de inspección visual y es la comprobación de dimensiones por medio del uso de escalas, cintas, micrómetros o calibradores especiales, que son una parte de la metrología. Para lo que también son adiestrados en el uso de ese instrumental los inspectores.²

En la actualidad los medios utilizados para la medición de las dimensiones de un elemento no se limitan al uso de instrumentos manuales sino que existen además sofisticados equipos computarizados para tal fin, los cuales son capaces de dar exactitudes en micras. Estos equipos son generalmente parte de un sistema de producción automatizado.

² Como formación adicional.



Fig. 2.2 Metrología

II.1.9 CALIBRACION

El instrumental para la comprobación de dimensiones deberá ser calibrado de acuerdo a los patrones de calibración propios de cada instrumento.

El equipo digital deberá ser revisado y ajustado según la recomendación del proveedor.

Con respecto a los patrones de referencia de la inspección directa se pueden utilizar los mismos que en el ensayo por líquidos penetrantes.

II.2 LIQUIDOS PENETRANTES

II.2.1 FINALIDAD

La inspección por líquidos penetrantes es un método de prueba no destructivo que se emplea para localizar discontinuidades que afloran a la superficie de materiales sólidos tales como; grietas, costuras, traslapes, laminaciones, falsas uniones y escape a través de las paredes.

II.2.2 APLICACIONES TÍPICAS

Superficies no absorbentes, piezas fundidas, piezas forjadas, conjunto de partes soldadas, componentes sometidos a agrietamiento por corrosión, esfuerzo y fatiga.

II.2.3 VENTAJAS

- Bajo costo
- Fácil de aplicar
- Portátil
- Fácil interpretación
- Las indicaciones pueden inspeccionarse visualmente

II.2.4 LIMITACIONES

- El defecto debe estar abierto a la superficie
- El nivel de detectabilidad depende del operador
- Sólo son aplicables en materiales no porosos

- Se requiere de una buena limpieza previa y posterior a la inspección
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva
- Una selección incorrecta de la combinación del revelador y el penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método

II.2.5 PROCEDIMIENTO

II.2.5.A LIMPIEZA PREVIA (N 4)

En toda pieza o componente que se inspeccione por éste método se debe eliminar de la superficie todos los contaminantes, sean estos óxidos, grasas, aceites, pinturas, etc., pues impiden al penetrante introducirse en las discontinuidades.

Normalmente la limpieza previa se realiza en dos pasos, el primero es propiamente una prelimpieza en la que se pueden emplear medios químicos o mecánicos para remover los contaminantes de la superficie, y el segundo, que consiste en la limpieza con un solvente (removedor) que sea afín con el penetrante que se empleará en la inspección. Todo esto, con el fin de que las posibles indicaciones queden limpias y permitan la fácil entrada del penetrante.

Existen varios métodos para realizar la limpieza los cuales son; Limpieza con detergentes, limpieza con solventes, desengrasado con vapor de solventes, limpieza por decapado con soluciones alcalinas o ácidas, eliminación de pinturas, limpieza por ultrasonido, limpieza por abrasión y quemado al aire.³

II.2.5.B SECADO

Es esencial que las piezas estén totalmente secas, de manera que no permanezca agua o solvente dentro o sobre las discontinuidades, ya que esto impide la entrada del penetrante. El secado puede llevarse a cabo calentando ligeramente las piezas con lámparas de rayos infrarrojos, con estufas de secado o por circulación de aire. (fig 2.3 A).

³ Tales métodos son los recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-B133/01-1988. Para mayor información de los métodos de limpieza remitirse a tal norma.

II.2.5.C APLICACION DEL PENETRANTE

El penetrante se aplica por cualquier método que humedezca totalmente la superficie que se va a inspeccionar, dependiendo del tamaño de las piezas, de su área y de la frecuencia del trabajo. Se puede seleccionar el empleo de rociado, inmersión, brocha, etc.

Existen diferentes clases de penetrantes, los cuales se clasifican de acuerdo al tipo de tinte (visibles y fluorescentes), de acuerdo a los tipos de enjuague (lavable con agua, de emulsificación posterior y eliminable con disolvente) y por su sensibilidad (normal y alta).

Los penetrantes removibles con agua, como su nombre lo indica se retiran de la superficie de la pieza con agua, durante el proceso de enjuague, debiéndose asegurar que el penetrante que se ha introducido en las discontinuidades no sea removido.

Los penetrantes de emulsificación posterior requieren de la aplicación de una sustancia para provocar que el penetrante se solubilice en el agua, varían de acuerdo a la sensibilidad y rapidez con la que se requiera realizar la inspección. El exceso de penetrante se lava de forma similar a como se hace con los penetrantes removibles con agua, los tiempos de emulsificación son generalmente de 2 a 3 minutos.

Los penetrantes removibles con solvente se utilizan con frecuencia en aplicaciones de campo en las que por alguna razón no son convenientes las técnicas de eliminación con agua. En los tres casos anteriores, removibles con agua, post emulsificables y removibles con solvente, existen las opciones de elegir, visibles o fluorescentes, dependiendo de las necesidades de la inspección. (2)

Los penetrantes tienen aplicaciones bien definidas; por ejemplo, si la superficie es rugosa, se debe emplear un penetrante que sea lavable con agua; si la superficie es tersa, se puede usar un penetrante removible con solvente y en caso de ser necesaria una gran sensibilidad pero con fácil remoción, debe emplearse un penetrante de emulsificación posterior.

Después de la aplicación del penetrante, las piezas deben colocarse en un dispositivo de drenaje para permitir que el exceso de penetrante escurra y evitar así que se acumule sobre alguna zona de la pieza. Así, parte de dicho penetrante puede recuperarse, reduciendo la cantidad perdida en la operación posterior de lavado. (fig 2.3 B)

TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL

Se debe dejar transcurrir el tiempo suficiente para que el penetrante llegue a cualquier discontinuidad existente; este tiempo depende del material a inspeccionar, del proceso de fabricación de las piezas y el tipo de discontinuidad esperada. Los tiempos se determinan de manera experimental. En la tabla 1 del anexo A se muestra un ejemplo de tiempos sugeridos de penetración y discontinuidades esperadas, recordando que son tiempos aproximados y por tanto pueden variar de acuerdo a las condiciones locales.

II.2.5.D LAVADO

El lavado es el proceso de eliminación del penetrante excepto aquel que quede dentro de las discontinuidades. Gran parte de la sensibilidad del método depende de un correcto lavado.

El lavado se realiza de acuerdo al tipo de enjuague del penetrante, como ya se mencionó anteriormente. Se recomienda como característica general no lavar con demasiada presión en el chorro de agua o solvente, tallar con demasiada fuerza o aplicar la solución limpiadora a temperaturas mayores a 45° C. Para el caso de penetrantes visibles, con una iluminación adecuada será suficiente para determinar si se eliminó correctamente el penetrante; sin embargo para el caso de utilizar penetrantes fluorescentes, el proceso de lavado se deberá realizar con iluminación de luz negra (ultravioleta) para poder garantizar un lavado adecuado. (fig 2.3 C)

II.2.5.E REVELADO

La función del revelador es absorber o extraer el penetrante atrapado en las discontinuidades aumentando o provocando la visibilidad de las indicaciones.

Existe toda una gama de tipos de reveladores para cubrir todas las necesidades de la inspección, considerando el tipo de penetrante, la sensibilidad del penetrante, su tipo de enjuague, el tipo de discontinuidad esperada y las condiciones de aplicación. Los reveladores se pueden encontrar como reveladores secos, en suspensión acuosa, suspensión no acuosa y en solución.

El tiempo de revelado para cualquier tipo de revelador empleado, deberá ser por lo menos de la mitad del utilizado en la penetración, para así obtener indicaciones de buena calidad. Las discontinuidades mayores formarán indicaciones casi inmediatamente, mientras que las más finas, pequeñas o cerradas tardarán en hacerlo. (fig 2.3 D)

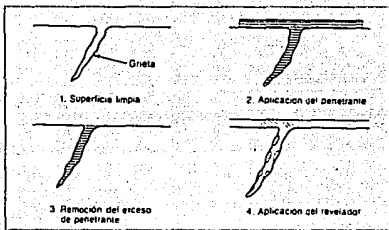


Fig. 2.3 Procedimiento de inspección por líquidos penetrantes.(2)

II.2.6 INTERPRETACION Y EVALUACION DE LAS INDICACIONES

Para los penetrantes fluorescentes (lavables con agua, post-emulsificables y lavables con solvente), después del tiempo de revelado se inspeccionan las piezas en un cuarto oscuro con luz negra de alta intensidad. Se utiliza una lámpara portátil para piezas grandes y una fija para piezas pequeñas; éste tipo de luz no es perjudicial para piel ni ojos. La interpretación es la siguiente:

Los poros se muestran como manchas resplandecientes, las grietas como líneas fluorescentes, las discontinuidades se ensanchan en la superficie. La experiencia permitirá que la interpretación sea valorada según la extensión y tamaño relativo de las discontinuidades.

El inspector debe permitir que sus ojos se adapten a la obscuridad de la cabina de inspección, así como evitar mirar directamente la luz negra. Del mismo modo al pasar de la obscuridad a la luz.

Para los penetrantes visibles, la inspección se realiza con luz natural o artificial. A medida que el revelador se seca, en una capa blanca y uniforme aparecen indicaciones rojas en los lugares con discontinuidades, la riqueza del color y la velocidad de afloramiento da idea de la profundidad de la discontinuidad.

Normalmente una grieta se muestra como una línea roja, las grietas cerradas o traslapes aparecen como líneas interrumpidas, las porosidades muy finas son indicadas como puntos rojos. Estas indicaciones permanecen hasta que son removidas manualmente.

II.2.7 LIMPIEZA FINAL

Por último debe limpiarse la superficie de la pieza mediante un enjuague con agua a presión, por inmersión, o por un remove-dor. Sobre todo aquellas piezas que están sujetas a altas temperaturas, para que los residuos no tengan reacción con el material.

II.2.8 PATRONES DE REFERENCIA

Se utilizan varios tipos de patrones para verificar la eficiencia del método. Los más comunes son las plaquetas de cromo agrietadas, las cuales existen en juegos que contienen grietas pequeñas, medianas y gruesas, éstas son capaces de clasificar materiales penetrantes mediante su sensibilidad así como de identificar cambios en el proceso de penetración.(fig. 2.4)

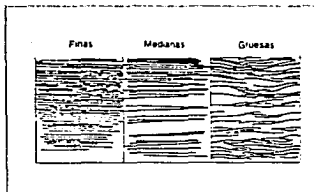


Fig. 2.4 Plaquetas o paneles patrones de cromo.(2)

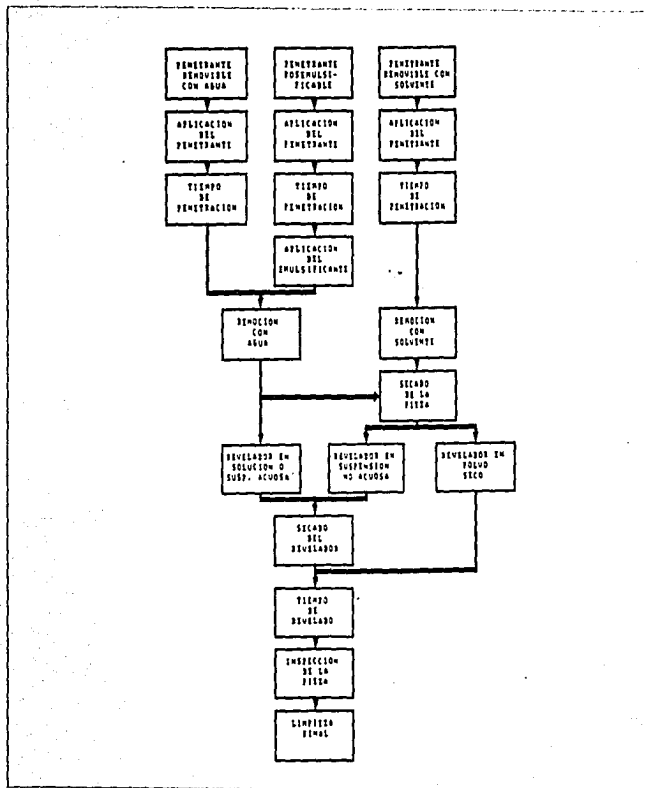


Diagrama 2.1 Método de Líquidos Penetrantes

II.3 ELECTROMAGNETISMO

(Llamadas también corrientes de Eddy, corrientes parásitas, corrientes inducidas o de Foucault)

II.3.1 FINALIDAD

Se utiliza para inspeccionar eléctricamente piezas o componentes electroconductores, siendo especialmente aplicable a aquellos que no son ferromagnéticos.

II.3.2 MIDE O REVELA

Grietas, huecos superficiales, subsuperficiales, condiciones del tratamiento térmico, dimensiones externas y grosor de pared de tuberías, espesor de pared delgada y de revestimientos no conductores sobre un sustrato metálico, la permeabilidad, conductividad y variaciones de la composición de la aleación.

II.3.3 APLICACIONES TÍPICAS

Tuberías, zonas localizadas de lámina de metal, clasificación de aleaciones y medición del grosor de revestimientos, alambres, cojinetes de bolas, calibradores de proximidad y medidor de conductividad.

II.3.4 VENTAJAS

- Detecta y evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico
- Automatización posible para partes simétricas
- Capacidad para registro permanente en partes simétricas
- Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección continua a bajo costo
- Es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos y estructura metalúrgica distinta siempre y cuando presente una diferencia significativa de conductividad.
- Excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.

II.3.5 LIMITACIONES

- Poca profundidad de penetración, depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se este inspeccionando
- Indicaciones ocultas o falsas causadas por sensibilidad o variaciones de la pieza, tales como; geometría, composición y estructura de material
- Requiere normas de referencia
- Variaciones de permeabilidad
- Requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba
- Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductora

II.3.6 GENERALIDADES (2)

Este método se fundamenta en las correlaciones entre las propiedades electromagnéticas y las propiedades físicas o estructurales del objeto que se prueba. Es decir se utiliza el principio de que las corrientes se inducen electromagnéticamente en un material conductor cuando se coloca una bobina con corriente alterna lo bastante cerca del material excitado.

Esto se logra empleando un generador de corriente alterna con frecuencias de 500 Hz a 5000 KHz, conectado a una bobina que produce un campo magnético (llamado primario) induciendo una corriente eléctrica en el material inspeccionado, a su vez esta corriente generará un nuevo campo magnético (llamado secundario) que es proporcional al primero pero de sentido contrario.

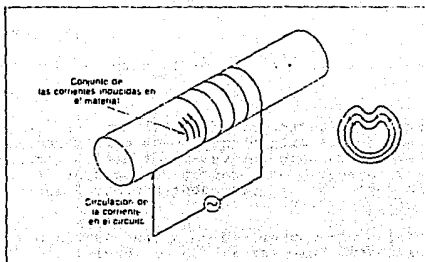


Fig. 2.5 Representación esquemática de inspección por electromagnetismo.(2)

Al cambiar la corriente de fase (de positivo a negativo y de negativo a positivo) el campo magnético induce una nueva corriente eléctrica, así pues se generará el electromagnetismo entre ambos conductores. (N° 12)

Este tipo de corrientes circulan en la pieza siguiendo trayectorias continuas y cerradas y su intensidad depende de:

La magnitud y frecuencia de la corriente en la bobina de inducción, de la forma y posición relativa con respecto a la superficie de la pieza, conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, forma de la pieza y presencia de discontinuidades o heterogeneidades en el material.

A causa de los muchos factores que producen variación en las propiedades electromagnéticas de los metales, debe ponerse cuidado en que la respuesta de los instrumentos a la condición que interesa no se nulifique ni se duplique por las variaciones debidas a la interferencia de tales factores.

La detección de las discontinuidades se realiza cuando son perpendiculares a las corrientes de Eddy; la indicación que se genere se modificará en la pantalla del instrumento de inspección dependiendo de su profundidad y su forma.

Los aparatos electrónicos deben ser capaces de energizar las bobinas de prueba o sondas con corrientes alternas de frecuencias adecuadas y deben ser sensibles a los cambios de respuesta electromagnética de los sensores.

II.3.7 PROCEDIMIENTO (N 14)

El procedimiento en general es:

II.3.7.A LIMPIEZA PREVIA

Se debe realizar una limpieza del material a inspeccionar, utilizando detergentes o desengrasado para evitar la suciedad y en caso de existir óxidos de hierro que produce falsas indicaciones, se debe eliminar por un proceso de decapado con soluciones alcalinas o ácidas (mismos métodos que en los líquidos penetrantes).

Es preferible quitar capas de pinturas y recubrimientos de la pieza. De no ser posible se deberá utilizar un patrón de calibración similar en el acabado superficial al de la pieza sujeta a inspección (ver calibración).

II.3.7.B PREPARACION DEL APARATO

Se calibra el aparato al empezar la prueba usando el patrón de referencia, recalibrar como mínimo cada hora durante la operación continua o cuando se considere impropio el funcionamiento. En éste último caso se recalibra el aparato y se vuelven a inspeccionar todos los elementos probados o piezas inspeccionadas durante el periodo anterior a su última calibración.

II.3.7.C INSPECCION

Se pasa el lote de piezas que van a ser probadas a través de la bobina o sonda del aparato, ajustando la sensibilidad. Las piezas en las que se descubren discontinuidades serán reexaminadas, para asegurar que fué correcta la identificación.

La sonda es generalmente pequeña y en el caso de tubos, es claro que no lo va a envolver, por tanto la inspección se limita a una zona. Si se desea la inspección total del tubo, se puede girar éste o la sonda; en el caso de tubos soldados, frecuentemente sólo se inspecciona lo largo de la zona soldada.

El mecanismo de mando (generalmente un dispositivo mecánico) es el encargado de pasar la pieza a través de la bobina de prueba o a la inversa. Esto se debe realizar a una velocidad uniforme con una vibración mínima de la bobina de la sonda o de la pieza, manteniendo la concentricidad respecto a la bobina o sonda.

Tanto la frecuencia de prueba como el tipo de aparato que van a emplearse deben considerarse cuando se elija la velocidad de prueba.

Algunos equipos pueden detectar discontinuidades a muy bajas velocidades mientras que otros requieren cierta velocidad mínima. En algunos casos es necesario ajustar la velocidad de prueba a la velocidad con la cual el material está siendo procesado en el punto de inspección.

En cualquier prueba con corrientes de Eddy, la profundidad y orientación de la discontinuidad interna afecta la magnitud de la señal recibida.

La sensibilidad varía muy significativamente con la distancia en relación a la bobina de prueba.

Los resultados de la prueba son visualizados en una pantalla de rayos catódicos, la cual está dividida en coordenadas y tales lecturas se muestran como una gráfica.

II.3.8 SELECCION DE LA SONDA DE PRUEBA

De acuerdo a la variable a evaluar se selecciona la sonda a utilizar. Se deberá tomar en cuenta que la capacidad de detección de la sonda sea proporcional a:

- La longitud de la bobina
- Diámetro del enrollamiento
- Número de espiras
- Magnitud de la corriente aplicada
- Frecuencia de oscilación de la corriente

Estas son las variables en los diferentes tipos de bobinas, sin embargo no es lo único a considerar, también se debe tomar en cuenta la disposición de la bobina durante el ensayo para asegurar la mayor eficiencia. Considerando tal disposición se hace la clasificación de las sondas: (2)

II.3.8.A SONDAS ABSOLUTAS

Son aquellas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación, teniendo aplicaciones en la medición de conductividad, permeabilidad, dimensiones o dureza de ciertos materiales.

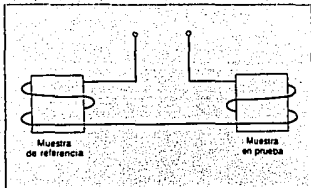


Fig. 2.8 Configuración de una bobina tipo absoluta (2)

II.3.8.B SONDAS DIFERENCIALES

Consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí (serie) pero con diferente dirección de enrollamiento (oposición).

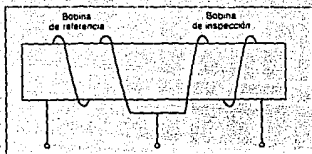


Fig. 2.7 Configuración de bobina tipo diferencial.(2)

II.3.8.B.1 BOBINAS DIFERENCIALES AUTOREFERIDAS

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

II.3.8.B.2 BOBINAS DIFERENCIALES CON REFERENCIA EXTERNA

Este arreglo tiene dos variantes; en el primer caso se coloca la bobina de referencia en el material que será el patrón de comparación y la bobina de medición en el material que se desee inspeccionar, es decir las bobinas se encuentran separadas físicamente.

En el segundo arreglo, las bobinas de medición y de referencia se colocan sobre el mismo objeto. Este arreglo tiene la ventaja de que se reducen los efectos de variaciones por cambio de separación o por características de la pieza que se está inspeccionando.

Por último dependiendo de el tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad que se encuentra se selecciona la frecuencia de inspección, siendo a mayor frecuencia más

sensible el método a defectos o condiciones internas. Así mismo es muy importante conocer las propiedades de la pieza a inspeccionar.

II.3.9 CALIBRACION (7)

Los instrumentos de pantalla osciloscópica pueden calibrarse para detectar fracturas superficiales, cambios de conductividad eléctrica y cambios en el espesor de pared. En general la pantalla de rayos catódicos muestra como la corriente de Eddy (electromagnetismo) es afectada por la pieza. Si existe una fractura o discontinuidad la corriente se reduce.

Esto es, las discontinuidades alteran el patrón observado en la pantalla.

Metal	Conductividad eléctrica [S/m (mho/m) x 10 ⁻⁷]
Cobre	5.7
Aluminio	3.4
Aleaciones de aluminio	
6061-T6	2.4
7075-T6	1.89
2024-T4	1.92
Plomo	0.46
Magnesio	2.17
Latón 70-30	1.8
Bronce fosforoso	0.63
Zircaloy	0.14
Titanio	0.18
Aleación de titanio	
GA1-4V	0.058
Acero inoxidable	0.14
Inconel 600	0.087
Hastelloy X	0.083

Tabla 2.1 Conductividad eléctrica de algunos metales (N14)

Existe la presentación por medio de escalas analógicas, en las que una aguja indica el valor de la lectura en una escala calibrada previamente o también a través de pantallas digitales, en las que se lee el valor que posteriormente se correlaciona con la variable a medir.

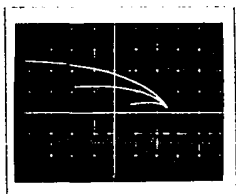


Fig. 2.8 Indicaciones de fracturas.(7)

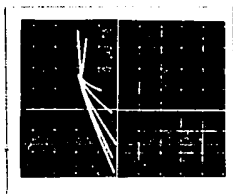


Fig. 2.9 Indicaciones de conductividad.(7)

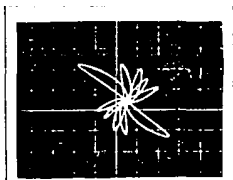


Fig. 2.10 Indicaciones de defectos en tubos de pared delgada.(7)

II.3.10 INTERPRETACION

Los resultados se presentan por observación en pantalla, la interpretación la debe realizar un inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.

II.3.11 RECOMENDACIONES

Se deben conocer las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas de la pieza a inspeccionar para seleccionar adecuadamente el tipo de sonda. Si se trabaja bajo normas internacionales o de compañías, los instrumentos utilizados deben ser aprobados o confiables por ellos.

II.4 PARTICULAS MAGNETICAS

II.4.1 FINALIDAD

Es un método de prueba no destructivo empleado para detectar discontinuidades superficiales o ligeramente subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando es necesaria una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

II.4.2 APLICACIONES TIPICAS

Materiales ferromagnéticos: barra, forja, soldadura, extrusiones y piezas fundidas.

II.4.3 MIDE O REVELA

Rajaduras, juntas, porosidades, inclusiones, variación de permeabilidad, traslapes, fisuras, huecos, extremadamente sensible a localización de pequeñas rajaduras cerradas.

II.4.4 VENTAJAS

- Bajo costo y sencillo
- Utilizable en condiciones ambientales extremas de frío o calor
- Rápido y limpio
- Puede ser portátil

II.4.5 LIMITACIONES

- Util sólo en materiales ferromagnéticos
- Se requiere preparar la superficie antes y después de la prueba
- Ocultamiento de la superficie por recubrimientos
- Con frecuencia suceden indicaciones irrelevantes
- No tiene gran capacidad de penetración
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento
- Detección de discontinuidades solo perpendiculares al campo

II.4.6 GENERALIDADES (N 2)

Este método se basa en el principio de que las líneas de fuerza magnéticas cuando se presentan en un material ferromagnético se distorsionan a causa de un cambio en la continuidad del material, tal como un cambio dimensional o una discontinuidad. Si la discontinuidad es abierta o cercana a la superficie del material magnetizado, las líneas de flujo serán distorsionadas en la superficie, es lo que se conoce como dispersión de flujo o campos de fuga. Cuando unas partículas magnéticas finas se aplican sobre el área de la discontinuidad, en presencia de la dispersión de flujo, éstas se mantienen en el lugar y su acumulación es visible bajo condiciones adecuadas de iluminación⁴.

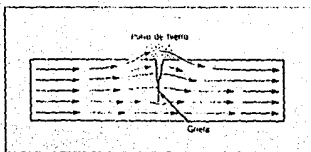


Fig. 2.11 Dispersión de campo en puntos defectuosos.(3)

⁴ Existen hasta 32 variantes del método, que sin embargo siguen todas el mismo principio general.

II.4.7 PROCEDIMIENTO (N 2)

Debido a la diversidad de variantes del método en equipo, materiales y procedimientos, debemos tomar en cuenta el tipo, la forma, cantidad y peso de las piezas a inspeccionar, a fin de lograr una correcta selección de equipo. Existen 4 pasos básicos comunes, los cuales son:

II.4.7.A LIMPIEZA

Las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas, entendiéndose por limpia, libre de grasas, suciedad, cascarilla, arena, óxido u otro material extraño que pueda interferir en el resultado. Se seleccionará entonces un método de limpieza que garantice una eliminación total de impurezas. (como en el caso de los líquidos penetrantes).

Una vez finalizado el proceso de limpieza, se procede a la magnetización de la pieza.

II.4.7.B MAGNETIZACION DE LA PIEZA

Se debe magnetizar la pieza o la parte que se va a inspeccionar, lo cual puede lograrse mediante un imán permanente, por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza o finalmente mediante un electroimán. Se puede magnetizar total o parcialmente la pieza de acuerdo a las necesidades o al tamaño y capacidad del equipo.

II.4.7.B.1 CORRIENTES DE MAGNETIZACION

Se utilizan 3 tipos de corrientes para la magnetización de las piezas, las cuales son:

- a) Corriente alterna (CA)
- b) Corriente alterna rectificada monofásica (CARM)
- c) Corriente alterna rectificada trifásica (CART)

La elección del tipo de corriente depende de si los defectos son superficiales o si se encuentran completamente debajo de la superficie. En el primer caso se utiliza la corriente alterna (CA), ya que las corrientes se concentran en la región cercana a la superficie.

La corriente rectificadora es más útil para localizar defectos bajo la superficie debido a la penetración mucho más profunda de la corriente de la pieza.⁵ La CARN se usa en equipos móviles y portátiles, mientras que la CART debido a que suministra corrientes de alta magnetización se usa en la inspección de piezas grandes (vaciadas o forjadas).

II.4.7.B.2 TECNICAS DE MAGNETIZACION

Una vez seleccionada la corriente, sigue la elección de la técnica de magnetización de la pieza, es decir, elegir entre el método de magnetización continua o magnetización residual.

La magnetización continua se realiza en el caso que la pieza tenga baja retentividad y alta permeabilidad, (los aceros al carbón o sin tratamiento térmico de endurecimiento), en ésta modalidad se mantiene el paso de la energía eléctrica mientras se efectúa la inspección, se genera un campo muy intenso durante la permanencia de la corriente de magnetización, se aplica la corriente en pulsos pequeños (de 0.5 segundos aproximadamente) durante este intervalo de tiempo las partículas magnéticas se aplican a la superficie y tienen libertad de movimiento hacia el sitio de los campos de dispersión (área con defecto).

La magnetización residual se utiliza en el caso contrario, cuando la pieza tenga una alta retentividad. En este procedimiento se hace pasar la corriente de magnetización y después de haberse suprimido ésta, es entonces cuando se aplican las partículas. Este método es particularmente adecuado para la inspección en el proceso de producción de múltiples componentes.

II.4.7.B.3 DIRECCION DE CAMPO

También se debe elegir la dirección del campo de magnetización dentro de la pieza.

La magnetización circular, es cuando el campo fluye circunferencialmente alrededor de la pieza, y al pasar corriente a través de ella entre dos electrodos de contacto, se inducen campos magnéticos en ángulos rectos con respecto al flujo de corriente,

⁵ Algunos autores le llaman corriente directa (CD).

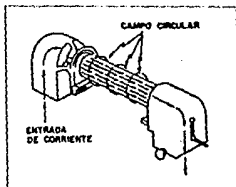


Fig. 2.12 Magnetización entre cabezales. (7)

asi permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza. Para lograr la magnetización circular se utilizan las técnicas de cabezales en donde los contactos son colocados en los extremos de la pieza.

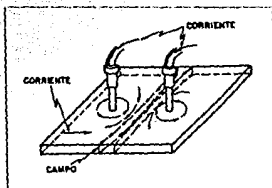


Fig. 2.13 Magnetización con puntas de contacto. (7)

O por puntas de contacto que sólo se recomiendan para piezas burdas o en proceso de semiacabado; las puntas deben ser de aluminio, acero o plomo para evitar los depósitos de cobre que pudieran iniciar puntos de corrosión.

Este tipo de magnetización se recomienda para la detección de defectos paralelos respecto a la superficie de la parte o que se encuentran en un ángulo menor de 45°, además es factible inspeccionar configuraciones complicadas.

La magnetización longitudinal, se produce mediante la colocación de la pieza en una bobina, haciendo pasar corriente a través de ella, así se crea un campo que se establece en forma longitudinal a lo largo de la pieza, el cual será paralelo al eje de la bobina. Se puede lograr también de dos formas. Por yugo, que sólo se permite para la detección de defectos superficiales dado que tiene poca penetración y en los yugos se produce el campo lineal entre sus polos.

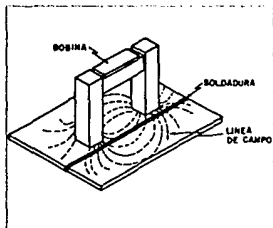


Fig. 2.14 Magnetización por yugo.
(7)

O por bobina (solenoide) de uso más común, se crea el campo en forma longitudinal colocando la pieza dentro de una bobina, procurando que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina, lo cual se puede lograr enredando el cable de magnetización alrededor de la pieza. Entre mayor número de espiras tenga la bobina, presentará un mayor poder de magnetización.

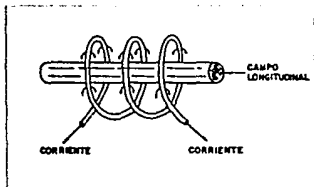


Fig. 2.15 Magnetización por bobina.
(7)

TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL

Esta forma de magnetizar se utiliza para detectar discontinuidades transversales al eje del componente en prueba.

Magnetización multidireccional. Es un término usado cuando el campo magnético se hace oscilar de una dirección a otra en la pieza (90°). Esto permite la formación de indicaciones en más de una dirección.

También reciben el nombre de magnetización directa o indirecta, según el contacto físico entre la parte ferromagnética y la corriente. La magnetización por contacto directo es la circular, en la que hay contacto por medio de los electrodos, así la magnetización indirecta corresponde a la magnetización lineal donde no se presenta el contacto.

II.4.7.B.4 INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNETICO

La densidad de las líneas de fuerza que conforman el campo magnético debe ser lo suficientemente intensa para poder indicar las discontinuidades, sin embargo no debe ser extremadamente alta ya que ocasionaría una excesiva acumulación de las partículas y por tanto se enmascararían las discontinuidades reales.

Entonces, para producir indicaciones satisfactorias, la intensidad de campo debe ser controlada dentro de límites razonables, pero es difícil establecer reglas estrictas. Influyen factores tales como; tamaño, forma y material de la pieza, por eso lo mejor es experimentar con las piezas que tengan discontinuidades conocidas antes de determinar los requisitos reales para las piezas (Ver tabla 2 en el anexo A).

Una vez considerado lo anterior se procede a la aplicación de las partículas.

II.4.7.C APLICACION DE LAS PARTICULAS

Existen varios tipos de partículas que conforman dos grupos generales. Uno es conocido como polvos secos (partículas secas), las cuales son de acero dulce (bajo en carbono) con alta permeabilidad y baja retentividad, poseen diferentes formas y tamaños para responder a campos de dispersión débiles o intensos, también varían en color (incluso fluorescentes) para incrementar el contraste con las diferentes superficies.

Se aplican por medio de rocío o espolvoreados directamente en la superficie de manera que formen un recubrimiento delgado y uniforme.

También se encuentran disponibles las partículas magnéticas en forma húmeda (en suspensión), lo cual proporciona la forma más sensible de detección. Consiste en partículas extremadamente finas de óxido de hierro que se encuentran en suspensión en un líquido que puede ser petróleo destilado (de baja viscosidad), agua o aceite, poseen permeabilidad más baja que las secas y sus pequeñas masas les permiten ser mantenidas por los campos débiles de dispersión en grietas superficiales muy finas, también se proveen en diferentes colores. Se suministran en forma de concentrado seco o en pasta, la cual el usuario mezcla con el líquido y se aplican por medio de rocío.

En ambos casos se debe evitar que las partículas se contaminen, las secas se degradan por la presencia de grasa, aceite, arena de fundición o calentamiento excesivo, mientras que las húmedas por polvo, escamas, aceites, pelusa, aglomeraciones de partículas, etc.

II.4.7.D INTERPRETACION DE LAS INDICACIONES

La inspección visual de las indicaciones se efectúa en parte durante la magnetización y continúa el tiempo necesario después de que el medio de inspección se haya estabilizado.

Se forman dos tipos de indicaciones, relevantes y no relevantes. Las relevantes son causadas por la distorsión de los campos de flujo en las discontinuidades que pueden ser o no aceptables, deben ser evaluadas por comparación con patrones aceptables por el usuario. Las no relevantes pueden ocurrir solas o en conjunto como resultado de la distorsión de flujo creado por condiciones tales como desecación, propiedades inherentes del material o pueden asociarse con discontinuidad no perjudicial.

Las discontinuidades superficiales producen indicaciones claras y bien definidas puesto que las partículas quedan fuertemente adheridas, mientras que las subsuperficiales producen indicaciones borrosas y poco claras ya que las partículas quedan débilmente adheridas.

II.4.7.E REGISTRO DE INDICACIONES

Cuando sea necesario un registro permanente de localización, dirección y frecuencia de indicaciones, éste se puede realizar por varios métodos, como: la fotografía; que es por medio de cinta o película desprendible, por calca; en donde se aplica papel secante o filtro sobre las figuras de polvo magnético (imagen invertida), por lavado; en la que se lava la pieza con tetracloruro de carbono y se le aplica papel celofán en donde queda registrada una imagen directa.

II.4.8 DESMAGNETIZACION (N 9)

Cuando se especifique que las partes deben desmagnetizarse después de la inspección, de manera que el campo residual no interfiera con futuras operaciones de soldadura o maquinado, con los instrumentos magnéticos usados cerca de la parte, o que el campo residual pueda causar problemas durante el servicio del componente, especialmente cuando éste opera en condiciones de fricción o en contacto dinámico, esto se realiza sometiendo la parte a un campo igual o mayor al que se empleó para magnetizarla y con el mismo tipo de corriente, invirtiendo la dirección del campo mientras decrece gradualmente hasta cero.

II.4.9 LIMPIEZA FINAL

Es necesaria una limpieza después de la inspección para evitar que interfiera en los procesos posteriores o en los requisitos de servicio a los que está destinada la pieza, por medio de aire comprimido, secado de la suspensión, eliminación por solventes, etc.

II.4.10 PATRONES DE ACEPTACION

Los patrones de aceptación deben estar sujetos a un acuerdo previo entre fabricante y comprador y deben establecerse en una norma o código de referencia.

II.4.11 SELECCION DE EQUIPO

Existe equipo portátil y estacionario. La selección del equipo depende de la naturaleza y ubicación de la prueba. Los equipos portátiles se encuentran a disposición en unidades ligeras (de 18 a 41 Kg), que son fácilmente transportables al sitio de inspección.

Los equipos funcionan a 115, 230 o 460 V de corriente alterna y se suministran salidas de corriente de 750 a 1500 Amperes con rectificación de media onda o en corriente alterna.

CAPITULO 3

TECNICAS DE

INSPECCION

VOLUMETRICA

CAPITULO 3

TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA

En este capítulo se describirán aquellas técnicas utilizadas para conocer la integridad de un material y detectar aquellas discontinuidades que no están abiertas a la superficie de la pieza inspeccionada.

III.1 RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

III.1.1 FINALIDAD

Es un procedimiento de inspección no destructivo que emplea rayos X, rayos gamma, o similar radiación penetrante diseñada para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

III.1.2 MIDE O REVELA

Huecos, inclusiones, grietas, porosidades, variaciones geométricas, falta de fusión, variaciones de densidad, corrosión, espesor de pared de recubrimientos, penetración incompleta en la raíz, defectos internos.

III.1.3 VENTAJAS

- Se obtiene un registro permanente de la inspección
- Puede ser portátil
- Se obtiene una imagen visual del interior del material
- Completamente automático
- Extremadamente exacto
- No requiere acoplante
- Su uso se extiende a diversos materiales
- Descubre errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas

III.1.4 LIMITACIONES

- Altos costos iniciales
- Su empleo requiere del cumplimiento de estrictas medidas de seguridad (riesgo de radiación)

- Requiere de personal altamente capacitado, calificado y con experiencia
- Insensible para imperfecciones laminares
- Transformación lenta de imagen
- La pieza a inspeccionar debe tener acceso al menos por dos lados

III.1.5 APLICACIONES TÍPICAS

Piezas fundidas, conjuntos eléctricos, piezas forjadas, conjuntos de partes soldadas, ensambles estructurales, objetos no metálicos, motores de cohete con carga propulsora sólida, lámina, placa, tira, tubería, barras de combustible para reactor nuclear, latas envases, partes estañadas, niqueladas, etc.

III.1.8 GENERALIDADES (3)

La diferencia entre las dos técnicas de radiografía más empleada (rayos X y rayos gamma) es el origen de la radiación.

Los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, es decir, por dispositivos electrónicos, mientras que los rayos gamma, por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.

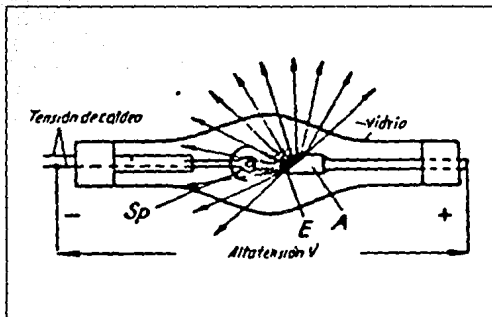


Fig. 3.1 Lámpara de rayos X (3)

Los rayos X se originan por el brusco frenado de los electrones de alta velocidad en un tubo de vacío. Un tubo de rayos X contiene un filamento caliente (cátodo) y un blanco (ánodo); la intensidad de la radiación es casi directamente proporcional a la corriente del filamento (mA), el voltaje del tubo (KV) determina la capacidad de penetración de los rayos.

Esta capacidad de penetración de los rayos aumenta al crecer la energía radiada, es decir, la tensión (KV) y disminuir la longitud de onda. Se distinguen, pues, rayos blandos de poca penetración y rayos duros de gran penetrabilidad. Existe entonces una escala de dureza que es la siguiente:

Rayos	[kV.]
Muy blandos	<20
Blandos	20 ... 60
Semiduros	80 ... 150
Duros	150 ... 400
Muy duros	400 ... 3000
Ultraduros	>3000

Tabla 3.1 Escala de dureza de los rayos X.(3)

Los rayos se aceleran mediante un campo magnético y se frenan con una capa metálica. Su emisión es provocada en todas direcciones; pero la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través de un orificio que existe para tal fin.

Los rayos gamma se emiten desde el núcleo de elementos radioactivos, naturales: radio y artificiales: cobalto 60, iridio 192, cesio 137 y tulio 170. La vida media de estos isótopos es el tiempo requerido para que se desintegren espontáneamente la mitad del material radiactivo, éste varía desde unas horas hasta muchos años.

Estos isótopos están contenidos dentro de una cápsula donde los rayos son absorbidos por el blindaje; cuando tal fuente es sacada del contenedor la radiación se dispersa en todas direcciones y es empleada para crear una radiografía.

III.1.7 Sustancias Radioactivas

Las sustancias radioactivas se encuentran en dos formas:

III.1.7.A Como materias radioactivas naturales, que son isótopos inestables de uranio, radio, torio (mesotorio), potasio y rubidio, cuya desintegración emite los rayos α (núcleos de helio) o β (electrones) o γ (rayos Röntgen). Para el caso de la radiografía se utilizan como emisores de rayos gamma el radio (Ra) y el mesotorio (Mth).

Serie del radio	Tiempo de reducción a la mitad (aproximadamente)
U 238	5×10^9 años
Ra 226	1500 años
Rn 222	4 días
RaA 218	3 min
RaB 214	27 min
RaC 214	20 min
Pb 206	∞

Tabla 3.2 Serie de desintegración de Ra. (3)

Serie del mesotorio	Tiempo de reducción a la mitad (aprox.)
Th 232	10 años
Mth 228	7 años
RaTh 228	2 años
ThX 224	4 días
Th 220	1 min
Pb 208	∞

Tabla 3.3 Serie de desintegración del Mth (3)

III.1.7.B Materias con radiactividad artificial, llamadas abreviadamente isótopos. Se obtienen haciendo penetrar un neutrón en el núcleo de un elemento químico, o por tratamiento químico de los productos de desintegración de una pila atómica que haya funcionado durante bastante tiempo (iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170).

Sustancias radiactivas	Tiempo de reducción a la mitad (aprox.)
(Naturales)	
Radio	1580 años
Radón	4 días
Hesotorio	26 años
(Artificiales)	
Cobalto 60	5.3 años
Tantalio 182	111 días
Iridio 192	74 días
Cesio 137	33 años

Tabla 3.4 Emisores de rayos gamma más importantes (3)

Al aplicar cualquiera de las dos técnicas a un material, (exposición radiográfica), la energía de la radiación es absorbida o atenuada por el material, la cual es proporcional a las propiedades del material de la pieza inspeccionada, que son: densidad, homogeneidad, espesor, geometría, etc., lo que determina que los rayos sean absorbidos en forma diferente.

Es un ensayo de gran empleo, pues proporciona información para determinar la confiabilidad e integridad de un elemento. Al igual que todos los ensayos proporciona información para mejorar la técnica de producción o el desarrollo y perfeccionamiento de un producto en particular.

III.1.8 PROCEDIMIENTO (N 1)

Con respecto a su funcionamiento, la radiografía gamma (llamada también gamagrafías) difiere poco en la práctica normal con la radiografía por rayos X.

En general el método consiste en proyectar un haz de rayos generados por una fuente, desde diferentes trayectorias a una pieza en la cual y dependiendo de la opacidad de ésta, se atenuarán tales rayos a medida que atraviesen la muestra; tal atenuación será registrada por una película.

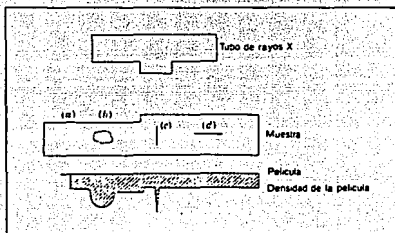


Fig. 3.2 Representación esquemática de la prueba de radiografía (2)

III.1.8.A INFORMACION PREVIA

El inspector debe conocer la siguiente información: Descripción o croquis del objeto, tipo de material y espesor, distancia de fuente o fopelícula, radioactividad o intensidad de corriente por minuto empleadas en la exposición, colocación de la fuente para un objeto irregular.

Toda esta información es importante, tanto para reducir el costo de la inspección, como para servir de comunicación entre el intérprete de la radiografía (radiólogo) y el operador (radiógrafo).

Con la información anterior se estará en condiciones de seleccionar el voltaje más adecuado y la selección de película con las características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima para un registro con la nitidez deseada.

III.1.8.B PELICULAS

Las películas radiográficas varían en velocidad, contraste y tamaño de grano, las llamadas películas lentas tienen el tamaño de grano más pequeño y producen más contraste, éstas se usan cuando se desea claridad óptima y máximo contraste. Las películas rápidas se emplean cuando se van a radiografiar objetos con grandes diferencias de espesor y puede sacrificarse contraste para acortar el tiempo de exposición.

La exposición de una película radiográfica resulta de la radiación directa y de la radiación dispersa, la radiación directa es la que forma la imagen, por tanto es deseable, mientras que la dispersa ocurre en el objeto que se examina con rayos X o en los objetos vecinos, produce imágenes indeseables sobre la película y pérdida de contraste. Para corregir esto, se emplean los filtros, el enmascaramiento y las pantallas.

III.1.8.B.1 FILTROS

Los filtros son capas uniformes de materiales colocados entre la fuente de radiación y la película con el propósito de absorber los componentes más débiles de la primera radiación con lo que se disminuye la dispersión de la radiación y se incrementa el contraste, mientras que en las partes de espesor variable reduce el contraste.

III.1.8.B.2 ENMASCARAMIENTO

El enmascaramiento consiste en cubrir el derredor de la probeta o alguna sección delgada, con un material absorbente y es un auxiliar en la reducción de la radiación dispersada. Dicho material puede usarse para igualar la absorción de diferentes secciones.

III.1.8.B.3 PANTALLAS

Las pantallas son hechas de hojas de plomo, 0.013 cm a 0.25 cm de espesor. Son usadas en contacto directo con la película y dependiendo del espesor de la pantalla y composición de la pieza, realizará una emisión de electrones que, en contacto íntimo con la película produce el oscurecimiento adicional de la misma. El tiempo de exposición puede reducirse mediante el uso de pantallas intensificadoras arriba y abajo de la película.

III.1.8.C PROTECCION

Las altas tensiones que se emplean para alimentar los tubos de rayos X son muy peligrosas; los cables están perfectamente aislados por envolturas con la parte exterior, metálica, puesta a tierra. El tubo va encerrado en una envoltura metálica especial, llamado funda, que proporciona la protección necesaria.

Las fuentes de rayos gamma requieren una licencia y reglas de seguridad que se observen en forma muy estricta. Los depósitos de la fuente se inspeccionan con regularidad en busca de escapes o fugas de radiación.

Debe hacerse notar que, cuando el tubo de rayos X se apaga y la fuente de rayos gamma se devuelve a su depósito, no existe ningún peligro de radiación, ya que no hay radiación residual en los objetos radiografiados.

El operador (radiógrafo) debe tener conciencia de que la fuente radioactiva siempre está en funcionamiento y constituye una causa potencial de peligro. Los efectos nocivos de los rayos X y gamma sobre las células vivas del cuerpo humano, exigen medidas protectoras en todas las instalaciones de este genero.

Mantenerse el menor tiempo posible expuesto a la radiación, así como a una distancia prudente y utilizar la protección adecuada entre el individuo y la fuente.

El personal ha de utilizar guantes y delantales de caucho con plomo, así como gafas de vidrio al plomo. Asimismo ha de llevar consigo una cámara de ionización graduada (radiómetro), que permita medir cada día, la radioactividad absorbida. Además, los operarios han de someterse periódicamente a un análisis de sangre biológico.

La utilización de rayos potentes exige el empleo de protecciones fijas y totales, tras las cuales se manipulan. Para ello, las piezas a examinar se introducen en "bloques de inspección radioactivas" con paredes muy gruesas (1.20 m, por ejemplo) construidas en hormigón. Las puertas de entrada y salida están blindadas con gruesas planchas de plomo.

III.1.8.D EXPOSICION

Una vez realizados todos los pasos anteriores se hace el arreglo para colocar la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película del otro lado de este, para registrar la radiación que logre atravesar al material sujeto a inspección.

Esta radiación provocará la impresión de la película radiográfica, que corresponde al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad de radiación que incida sobre la película más se ennegrecerá ésta.

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

III.1.8.E REVELADO

El proceso de revelado se realiza en un laboratorio específico para tal fin, conocido como cuarto oscuro. El revelado es una de las partes más críticas de la radiografía industrial y consiste en convertir la imagen virtual producida por el paso de la radiación a través de la película en una imagen real por medio de una serie de reacciones químicas.

El revelado se efectúa en varios pasos: baño de ácido, baño de fijado y lavado final. Al terminar el revelado se debe de secar la película y posteriormente se produce la interpretación de la imagen obtenida, siendo primero evaluada para comprobar si reúne los requisitos de calidad indicados por el procedimiento de inspección.

III.1.8.F INTERPRETACION

Las radiografías para ser confiables necesitan cumplir con ciertos requisitos, fijados por las normas correspondientes, tales como densidad radiográfica y calidad de imagen.

La densidad radiográfica de una película es su grado de "ennegrecimiento", es decir, la cantidad de luz que puede pasar de un lado al otro de ésta. Para que una película pueda interpretarse confiablemente, debe tener una densidad entre 2 y 4, dependiendo del tipo de fuente empleada.

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

III.1.9 CALIBRACION

Con el objeto de determinar la sensibilidad y calidad de una radiografía se emplean indicadores de imagen, mal llamados penetrámetros. Al realizar la inspección, los indicadores de calidad de imagen se eligen normalmente de manera que el espesor de éstos represente aproximadamente el 2% del espesor de la parte a inspeccionar y, siempre que sea humanamente posible, se colocarán del lado de la fuente de radiación. Estarán fabricados del mismo material que la pieza sometida a prueba.

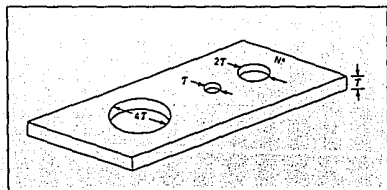


Fig. 3.3 Penetrámetro (N 1)

Existen además placas muestra que contienen varios tipos de defectos y en diferentes posiciones y con variaciones geométricas, con las que se puede comparar y evaluar radiografías.

III.2. RADIOGRAFIA NEUTRONICA

III.2.1 FINALIDAD

La radiografía neutrónica es un ensayo no destructivo que utiliza radiación proyectada a través de un material para poder inspeccionar su estructura interna.

III.2.2 HIDE O REVELA

Emisión de radiación que resulta por activación de neutrones, oxígeno en el acero, nitrógeno en productos alimenticios, silicio en metales y minerales, contaminación de hidrógeno de las aleaciones de titanio o zirconio, dispositivos pirotécnicos defectuosos, montaje impropio de partes metálicas y no metálicas.

III.2.3 APLICACIONES

Metalúrgicas, exploración, registro de pozos, oceanografía, evaluación de materiales líquidos o sólidos mediante proceso en computadora, dispositivos pirotécnicos, conjuntos metálicos, no metálicos, especímenes biológicos, elementos combustibles para reactores nucleares y barras de control

III.2.4 VENTAJAS

- Sistemas automáticos
- Exacto
- Rápido
- Sin contacto con la muestra
- Mínima preparación de la prueba
- Alta absorción de neutrones por hidrógeno, boro, litio, cadmio, uranio y plutonio.
- Baja absorción de neutrones por la mayor parte de los metales.
- Complemento para radiografía de rayos X o rayos gamma.

III.2.5 LIMITACIONES

- Equipo muy costoso
- Se requiere acelerador o reactor nuclear
- Requiere físicos adiestrados
- Riesgo de radiación
- No portátil
- Requiere pantallas de indio o gadolimo

III.2.6 GENERALIDADES

Básicamente los métodos de radiografía: rayos X, rayos gamma y neutrografía, se basan en la aplicación de procedimientos similares, es decir, generar radiación y proyectarla hacia un cuerpo sólido. Se utilizan para fines idénticos y en los tres casos es latente el peligro de radiación.

Es decir, siguen el mismo lineamiento general, sin que esto implique que son lo mismo, por lo tanto y dado que se describió anteriormente el desarrollo para radiografía se omitirá aquí tal inciso. A continuación se describen algunos aspectos importantes que diferencian la neutrografía de la radiografía industrial.

III.2.7 EL ORIGEN DE LA RADIACION (3)

Mientras que los rayos X resultan al frenar los electrones de alta velocidad y los rayos gamma se emiten desde los núcleos de los elementos radioactivos, para lograr radiación en neutrografía se pueden utilizar ambas formas; por emisión de elementos radioactivos naturales y utilizando un acelerador de partículas o un reactor nuclear. Este tipo de radiación es diferente a las anteriores, los elementos que la provocan son los siguientes:

- a) Radioisótopo +Be (Berilio)
- b) Radioisótopo +D (Deuterio, isótopo natural del hidrógeno)

Y por fisión espontánea ^{252}CF (Californio).

III.2.8 ACELERADOR (6)

Un acelerador consiste en una serie de electrodos tubulares. Alternando rápidamente la polaridad de estos electrodos, una partícula cargada es repelida simultáneamente por el tubo a través del cual ha sido impulsado, siendo atraída por el siguiente y su aceleración se produce en cada espacio sucesivo entre los tubos.

El alto vacío en el que se encuentra el tubo de impulsión reduce la posibilidad de colisiones indeseables entre las partículas.

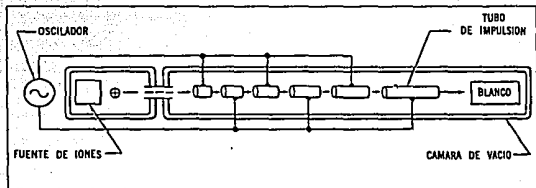


Fig. 3.4 Modelo de acelerador lineal (6)

III.2.9 REACTOR NUCLEAR (5)

Es un reactor diseñado para desarrollar un alto flujo de neutrones, que puede hacerse fácilmente asequible para el efecto de bombardeo de neutrones en los materiales; en este tipo de reactor los productos adicionales (calor y productos de fisión) deben eliminarse para permitir la operación continua. En general, las temperaturas de operación son tan bajas que la pérdida de calor por radiación es insuficiente para mantener las temperaturas apropiadas, a menos que la intensidad de los neutrones y por lo tanto el ritmo de producción de calor sea muy bajo. Un refrigerante estará circulando continuamente a través del reactor, mientras éste se encuentra en operación, los productos de fisión se eliminan a intervalos. Estos reactores operan a un flujo alto de neutrones (intensidad) pero a un nivel de potencia bajo.

III.2.10 INSPECCION

Todos los materiales pueden inspeccionarse mediante métodos radiográficos, pero hay limitaciones en cuanto a las configuraciones de las piezas en materiales muy densos como el plomo. La neutrografía los realiza más fácilmente que los rayos X o los rayos gamma, pero es atenuada por los materiales de bajo peso atómico como el plástico.

La neutrografía es un ejemplo de técnica óptima para la inspección, como en el caso de los recipientes a presión de acero soldado con espesor de pared de 50 cm pueden inspeccionarse en forma rutinaria mediante aceleradores de alta energía como fuente de radiación.

III.2.11 RADIOGRAFIA (2)

Una radiografía es un registro fotográfico producido por el pasaje de radiación penetrante de una película.

Un vacío o masa reducida aparece como imagen más oscura en la película, a causa de la menor absorción de la energía y la exposición adicional resultante de la película. La cantidad de radiación absorbida por el material aumenta en general, según aumenta el número atómico.

Al igual que en la toma de radiografías con rayos X y que en las gammagrafías, en la neutrografía la película tiene las características de velocidad y sensibilidad.

Del mismo modo se utilizan pantallas de protección y los accesorios son en general similares, naturalmente, cada uno adaptado a las características particulares.

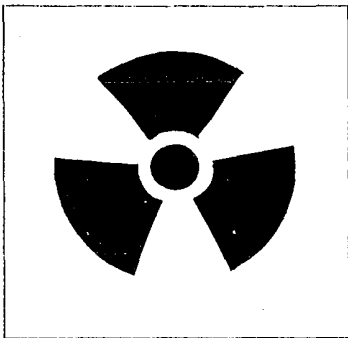


Fig. 3.5 Señal de actividad radioactiva.

III.3 ULTRASONIDO INDUSTRIAL

III.3.1 FINALIDAD

Es un método de inspección no destructiva que emplea energía vibracional mecánica de alta frecuencia (propagación de ondas sonoras).

III.3.2 APLICACIONES TÍPICAS

Materiales compuestos, metales trabajados en caliente, juntas de soldadura fuerte, juntas con ligazón de adhesivo, piezas fundidas, objetos no metálicos, partes en funcionamiento, plásticos

no celulares, cerámica, vidrio, hule, concreto nuevo y materiales orgánicos.

III.3.3 VENTAJAS

- Evalúa materiales metálicos y no metálicos
- Capacidad de registro permanente y automática
- Delineado claro de la discontinuidad, tamaño, localización y orientación.
- Resultados de prueba conocidos inmediatamente
- Excelente profundidad de penetración
- Puede ser portátil
- Sólo se requiere acceso por un lado del material que se está inspeccionando.

III.3.4 LIMITACIONES

- Requiere acoplante
- Partes complejas, delgadas y pequeñas: son difíciles de verificar.
- Requiere normas de referencia
- Operadores adiestrados para la inspección
- Mayor entrenamiento y experiencia que para cualquier otro método de inspección.
- Dependiendo del nivel de sensibilidad y sofisticación requerido, el costo del equipo puede ser elevado.

III.3.5 GENERALIDADES

El método de ultrasonido está fundamentado en la impedancia acústica (que es el producto de la velocidad máxima de propagación de las ondas sonoras entre la densidad de un material), midiendo la pérdida de la intensidad en la energía acústica al viajar a través del material. Para esto se emplea un emisor y receptor de onda ultrasónica.

Las pruebas ultrasónicas y acústicas adoptan muchas formas, desde el simple golpeo con una moneda hasta la transmisión de ondas sonoras dentro de un material y el análisis de los ecos de regreso con respecto a la información que contienen acerca de la estructura interna del material.

III.3.6 PROCEDIMIENTO (2)

Una pulsación eléctrica es generada en un instrumento de prueba y transmitida a un transductor, que convierte la pulsación eléctrica en vibraciones mecánicas. Estas vibraciones de bajo grado de energía se transmiten a través de un líquido de acoplamiento dentro del objeto que se prueba, en donde la energía ultrasónica se atenúa, se dispersa, se refleja o resuena para indicar condiciones dentro del material. La energía del sonido reflejada, transmitida o resonante se convierte en energía eléctrica mediante el mismo transductor y se retorna al instrumento de prueba, en donde se amplifica.

La energía recibida se exhibe después comúnmente en un tubo de rayos catódicos. La presencia, posición y amplitud de los ecos indican condiciones del material que se prueba.

Para la transmisión se aplica al cristal (transductor) un pulso eléctrico de corta duración y alto voltaje, lo cual provoca que cambie rápidamente su configuración geométrica deformándose y emita un pulso de energía acústica (onda) de alta frecuencia. Para la recepción se efectúa de manera inversa, la onda ultrasónica que regrese a través de la trayectoria acústica comprime el cristal produciendo una señal eléctrica que se amplifica y procesa en un receptor.

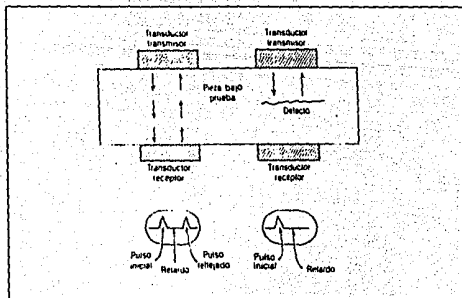


Fig. 3.6 Forma de exploración (scan) (2)

III.3.6.A CONSIDERACIONES DEL EQUIPO

El equipo de manera general está compuesto por una unidad de inspección ultrasónica, cable coaxial, palpadores y un dispositivo de lectura el cual puede ser, una pantalla de rayos catódicos (osciloscopio), un sistema graficador, una computadora, una pantalla digital o analógica.

Los equipos difieren según cualquiera de las tres modalidades en las que se realiza esta prueba, que son; contacto, inmersión y alta temperatura.

III.3.6.B METODOS DE RECONOCIMIENTO (3)

Según el tipo de ondas de sondeo hay tres tipos de formas de hacer el reconocimiento de las piezas, las cuales son:

- 1) Sondeo con ondas ultrasónicas directas.

En el cuerpo a examinar se aplica un emisor (S) de ondas ultrasónicas, el detector o micrófono (E) captará una debilitación o disminución de la cantidad de energía en los puntos donde el material tenga algún defecto.

Normalmente el emisor y el receptor se sitúan en extremos opuestos de la pieza, sin embargo, en ocasiones como en los casos de placas y planchas, o soldaduras y recubrimientos, se puede aprovechar la reflexión intermedia en una de las superficies interiores y situar dos instrumentos en un mismo lado del objeto.

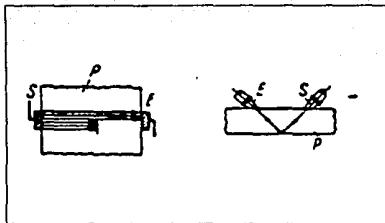


Fig. 3.7 Exploración por sondas (3)

2) Exploración o sondeo por eco (reflexión de las ondas sonoras).

En este caso el receptor captará la energía de la onda ultrasónica reflejada en el defecto interno, midiendo el trayecto recorrido y mediante un osciloscopio se medirá la profundidad.

Casi siempre el emisor envía impulsos cortos, de modo que una vez enviado el primero es hasta el impulso siguiente cuando queda libre el aparato para actuar como receptor. Basta pues un sólo instrumento que explora por el eco de su propia onda emitida desde el mismo sitio.

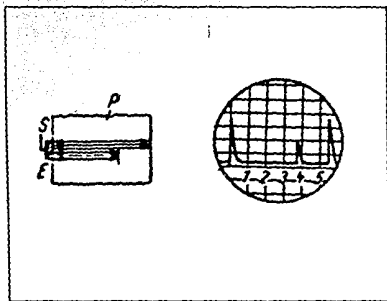


Fig. 3.8 Exploración por eco (3)

3) Sondeo por resonancia de las ondas

Este método excita en el emisor ondas que oscilan periódicamente entre límites de frecuencia, formando así ondas estacionarias dentro de las piezas.

Una vez proyectada la banda de frecuencias en el osciloscopio, la frecuencia de resonancia (originada como respuesta a las frecuencias anteriores) destaca por su amplitud, por ésta se deducirá el trayecto de la onda ultrasónica desde el emisor hasta el punto donde se ha reflejado (método para la medición de espesores).

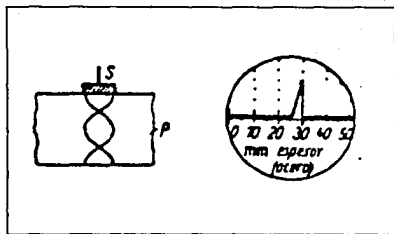


Fig. 3.9 Sondeo por resonancia (3)

Es importante utilizar un medio de acoplamiento entre la pieza a inspeccionar y el transductor, con el objeto de que no haya pérdidas de energía en la interfase acústica, conformada por el espacio de aire entre el material y el palpador (para mejorar la transmisión del sonido).

El empleo de un líquido de acoplamiento posee la ventaja de amplificar los ecos de regreso, también retarda o temporiza la entrada de los ecos que se regresen entre la superficie frontal y la superficie posterior del componente. Así, cualquier eco inusual que se presente puede mostrarse por separado o bien, cuando las circunstancias lo aconsejen utilizar para hacer sonar una alarma.

Un acoplante debe contar con ciertas características que permitan que sea digno de confianza, tales como: ser inerte al material de inspección, de fácil eliminación después de terminar la inspección y debe formar una capa homogénea en la superficie de contacto. Su costo deberá ser bajo y de fácil adquisición.

III.3.6.D TRANSDUCTORES

Los transductores son unidades piezoeléctricas que convierten energía eléctrica en energía acústica y viceversa, de la misma frecuencia.

El cuarzo, el titanato de bario, el sulfato de litio, el metaniobato de plomo, son cristales de transductor comúnmente usados que se montan en general con un respaldo de amortiguación dentro de una caja. Varían de tamaño los transductores desde 0.15 a 12.7 cm y son de forma circular o rectangular.

Las ondas ultrasónicas pueden enfocarse para mejorar su definición. Las características del transductor y el patrón de ondas, dependen de la frecuencia, tamaño material del cristal y construcción.

III.3.6.E FRECUENCIA DE PRUEBA (1)

Las frecuencias de 500 KHz y 25 MHz se aplican para revelar defectos y medir espesores, las de 2.25 y 5 MHz son las más utilizadas para detectar rajaduras. las bajas frecuencias de 40 KHz a 1 MHz se usan en materiales de bajo modulo elástico o de tamaño grande de grano. Las frecuencias altas de 2.25 a 25 MHz proveen mejor transformación de pequeños defectos y se utilizan en materiales de grano fino y secciones delgadas.

Las frecuencias mayores de 25 MHz se emplean para investigar y medir propiedades físicas relacionadas con la atenuación acústica.

III.3.7 INTERPRETACION DE RESULTADOS (N7)

Una vez aplicada la señal en la pieza, se observa el comportamiento de la misma en el material. Si es constante en cuanto a su intensidad y posición en los medios de registro, se considera que no hay indicaciones de discontinuidad, pero si se presentan cambios en las propiedades acústicas del material, es causa de que un defecto, discontinuidad o variación del volumen del material lo ha provocado. Si el haz de ultrasonido ha sido reflejado, atenuado o dispersado, esto se registra como una disminución en la amplitud de onda de la señal.

También se pueden registrar como zonas de desaparición, esto sólo en el método de pulso-eco. Se registra una desaparición en el espacio entre el pulso inicial y el primer eco. Valuado en porcentajes de la reflexión total del material se establecen parámetros de aceptación o rechazo.

No es fácil la aplicación e interpretación de éste método, por lo que se exige una alta capacitación para el personal que ha de aplicarlo, para poder asegurar la confiabilidad de las interpretaciones.

III.3.8 CALIBRACION (N 7)

La calibración se realiza por medio de bloques de calibración, los cuales poseen defectos conocidos y deben fabricarse de un material ultrasónicamente similar al material a inspeccionar y con un estado de superficie también similar al de la superficie de las piezas a inspeccionar.

III.4 EMISION ACUSTICA

III.4.1 FINALIDAD

El ensayo de emisión acústica consiste en el registro de los sonidos emitidos por un material o una estructura durante el servicio, lo cual permite detectar pequeñas discontinuidades y además evaluar el comportamiento de dicho material.

III.4.2 MIDE O REVELA

Inicio de rajaduras y proporción de crecimiento, rajaduras internas en las soldaduras durante el enfriamiento, ebullición o cavitación, fricción o desgaste, deformación plástica, transformaciones de fase.

III.4.3 APLICACIONES TÍPICAS

Recipientes a presión, estructuras esforzadas, turbinas o cajas de engranes, investigación mecánica de fracturas, soldaduras, análisis de señal sónica.

III.4.4 APLICACIONES ESPECIALES

Debido al amplio desarrollo de esta técnica (especialmente con el empleo de las computadoras para la interpretación de resultados) se emplea en el estudio de estructuras sujetas a esfuerzos

cíclicos, como en el caso de las estructuras aeronáuticas, recipientes a presión, edificios o puentes, y evaluación del comportamiento de nuevos materiales, como en el caso de los tejidos a base de Kevlar, de las fibras de carbono monodireccionadas, fibras de elementos cerámicos y los materiales compuestos a base de cerámico-metales y de plásticos reforzados con fibras.

III.4.5 VENTAJAS

- Vigilancia remota y continua.
- Registro permanente.
- Portátil.
- Uso de técnicas de triangulación para localizar defectos.
- Permite detectar un defecto o fractura durante su desarrollo, aún antes de que sea posible detectarla por algún otro tipo de ensayo no destructivo.
- Permite tener un patrón del comportamiento de la estructura sujeta a prueba, la cual puede ser tomada como referencia para evaluar su comportamiento después de haber estado en servicio y conocer si ha sufrido algún daño o debilitamiento.

III.4.6 LIMITACIONES

- La interpretación de los resultados, ya que para una evaluación completa se requieren procesadores que tengan alta velocidad y gran capacidad de memoria y almacenamiento, por tal motivo un trabajo de inspección por AET puede realizarse rápidamente pero a un costo no muy bajo.
- El inspector debe tener gran capacidad y experiencia en la interpretación de señales y en la disposición de los transductores de inspección; quién se especializa en esta técnica requiere por lo menos de un año de trabajo previo antes de ser calificado como nivel 1 y de casi dos años para ser nivel 2.
- Los transductores deben estar en contacto sobre la superficie de la pieza.
- Los materiales altamente dúctiles dan emisiones de baja amplitud.
- La parte a probar debe estar esforzada o en operación.
- Se necesitará separar el ruido del sistema de prueba.

III.4.7 GENERALIDADES (2)

El ensayo de señal acústica comprende el análisis de la energía de sonido emitida por un objeto para determinar sus características. Tal objeto puede ser una simple fundición o un sistema complejo de fabricación. Una prueba pasiva es aquella en que se transmite energía sónica dentro del objeto, generalmente se revela un modo de resonancia para correlacionar con rajaduras o variaciones estructurales, que causan un cambio en el módulo efectivo del objeto, como la fundición de hierro nodular. Una prueba activa es aquella en la que el objeto emite un sonido como resultado de ser golpeado o de estar en operación, en este caso las características del objeto pueden correlacionarse con el tiempo de amortiguación de la energía del sonido o con la presencia o ausencia de cierta frecuencia de la energía del sonido.

En la emisión acústica la deformación produce irrupciones de energía en el objeto. Estas son reveladas por transductores ultrasonicos acoplados al objeto o por el registro de la razón de tiempo de las pulsaciones de energía de la clase ultrasónica.

III.4.8 PROCEDIMIENTO (7)

Tal como es posible escuchar la emisión de sonidos al doblar una lamina de aluminio o de estaño, de igual modo en algunos casos los materiales sujetos a un esfuerzo emiten sonidos audibles antes de fallar, tal emisión acústica es causada por la deformación de fallas microscópicas y macroscópicas de un material sujeto a esfuerzos.

Para poder registrar tales emisiones (en frecuencias ultrasónicas, dado que por razones técnicas no es posible trabajar con frecuencias audibles), se sigue el procedimiento a continuación.

III.4.8.A PREPARACION

Este ensayo para su desarrollo no requiere que la pieza a inspeccionar sea tratada bajo un método de limpieza, por la siguiente razón; El método de emisión acústica es un ensayo de carácter mecánico, es decir, la pieza a inspeccionar estará sometida a las condiciones de servicio (esfuerzos). Con el fin de provocar una deformación plástica en el material inspeccionado, en dicha zona de deformación es en donde se producirán las emisiones que busca registrar el ensayo, así que sólo en el caso de que el inspector considere que las condiciones ameritan un tratamiento

previo de limpieza, ésta se realiza. Generalmente se aplica cuando los transductores no realizan un buen acoplamiento con el objeto o pieza evaluada.

III.4.8.B SELECCION DE FRECUENCIAS

Para comenzar con el proceso de inspección, primero se deberá realizar la selección de las frecuencias de rastreo y éstas dependerán del origen de la onda y el tipo de discontinuidad que se desea detectar. El rango de frecuencias de que se dispone para esta selección varía en un intervalo de entre 1 KHz a 1 MHz, como se ve, son frecuencias ultrasónicas.

III.4.8.C LOCALIZACION DE PUNTOS

El punto crítico de éste método de inspección lo constituye el hecho de seleccionar los puntos en los cuales se deben localizar los transductores (como ya se mencionó anteriormente, un transductor es un elemento que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa) ya que para la determinación de la ubicación de los defectos es por medio de triangulación, en función del tiempo que tarda la señal en ser recibida por los distintos elementos.

El arreglo en triangulación provee la disposición más adecuada para captar la vibración mecánica (extremadamente baja) provocada por la emisión de sonido de la pieza en una frecuencia ultrasónica, la cual es captada por los transductores que a su vez la transforman en una señal eléctrica que viaja al equipo de registro o interpretación.

III.4.8.D INICIO DE LA PRUEBA

Una vez que el equipo está dispuesto y se han calibrado los instrumentos, se inicia la prueba aplicando un esfuerzo mecánico a una velocidad conocida (o bajo condiciones de trabajo, en el caso de un proceso de producción). Las señales que emita el componente se registran y graban por medio de computadoras, las cuales analizan la cantidad de eventos que se detectan por unidad

de tiempo y son; la intensidad de las emisiones y el tiempo que tardan las señales en ser registradas por los diferentes transductores.

Existen variaciones del método por la aplicación de los diversos equipos existentes, algunas de esas variaciones son; las pruebas a bajas y altas temperaturas, pruebas intermitentes (incluyendo ciclo de fatiga), pruebas prolongadas, y pruebas en ambientes de alto ruido.

III.4.8.E INTERPRETACION

El último paso y el más difícil es analizar el tipo de emisor que ha generado la señal de emisión acústica, a fin de saber si es tan sólo una deformación elástica o de relajación, o bien si se trata de una fractura que está desarrollándose durante la deformación del material. Y es aquí donde se hace uso de la experiencia del inspector para lograr una correcta interpretación de las señales.

La forma de presentación de los datos y la interpretación de los mismos se da por una correlación emisión-fuente, o con la comparación de señales de calibración.

III.4.9 CONSIDERACIONES IMPORTANTES

El principio de la emisión acústica es la detección de ondas elásticas que se crean de forma espontánea en aquellos puntos del material que se está deformando de manera elástica o plástica, al ser sometido a un esfuerzo (carga estática o carga dinámica), o por esfuerzos residuales que están presentes en el material.

Los deformaciones de tipo cortante o que produzcan deslizamientos de los planos cristalinos son las fuentes principales de la emisión acústica. En el caso de los metales, la emisión detecta la acumulación de los deslizamientos y dislocaciones inter-cristalinas, que de continuar el esfuerzo darán inicio a una fractura.

Cuando el material se encuentra sano, la emisión más intensa se produce en la porción elástica de la curva de esfuerzo-deformación, alcanzando su máximo en el punto del límite elástico, a partir de la cual la emisión decrece abruptamente.

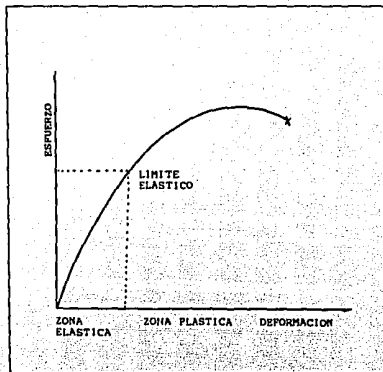


Fig. 3.10 Diagrama esfuerzo-deformación (11)

La causa de este comportamiento es el efecto que puede tener sobre la movilidad de los planos de dislocación el endurecimiento por deformación que presenta el material al ser sometido a tensión.

Sin embargo cuando el material presenta una discontinuidad y ésta se propaga, se tiene una emisión constante que se va incrementando hasta que el material falla por fractura.

Uno de los inconvenientes que presenta esta técnica de inspección, es que la emisión continua es un proceso irreversible (efecto Kaiser), esto quiere decir, que una vez que el material ha sido sometido a esfuerzo hasta un valor determinado, y después se reduce el esfuerzo, cuando se vuelva a someter a tensión el material la emisión no se iniciará si no hasta que exceda el valor máximo del primer esfuerzo.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA

La emisión acústica se presenta como pulsos definidos que se propagan en el material de forma radial a la velocidad del sonido.

Los pulsos se caracterizan por tener la forma de un tren de ondas atenuadas y con una amplia variedad de frecuencias que van desde la región audible hasta varios Megahertz. La duración del pulso es muy corta, del orden de nanosegundos a milisegundos, por lo que su detección debe efectuarse por medios electrónicos que producirán una señal también muy débil, del orden de unos cuantos electrón-volt.

III.4.10 CALIBRACION

El efecto Kaiser hace imposible la creación de patrones de calibración, así que se realiza por medio del envío de señales directamente a los transductores, éstas señales, bien definidas, serán verificadas en los medios de registro del equipo de AET.

CAPITULO 4

TECNICAS DE

INSPECCION

DE LA

HERMETICIDAD

CAPITULO 4

TECNICAS DE INSPECCION DE LA HERMETICIDAD

En éste capítulo se darán a conocer las técnicas utilizadas para la verificación de la hermeticidad, que es un conjunto de ensayos no destructivos que se aplican a los elementos que contienen un fluido y que están sometidos a presión.

Las técnicas de inspección de la hermeticidad son las siguientes:

- Cámara de Burbujas
- Detector de Halógenos
- Prueba Hidrostática
- Prueba Neumática

Primero se describirán las características generales de este conjunto de ensayos y posteriormente se explica de manera general en que consiste cada ensayo.

IV.1 FINALIDAD

Las técnicas de inspección de la hermeticidad, conocidas también como técnicas de inspección de la integridad reúnen un grupo de pruebas que tienen como finalidad el comprobar la capacidad de un componente o de un conjunto de partes soldadas para contener un fluido (líquido o gaseoso) a una presión dada.

IV.2 MIDEN O REVELAN

Escapes: Helio, amoníaco, humo, agua, gas radioactivo, halógenos y burbujas de aire.

IV.3 APLICACIONES TIPICAS

Juntas soldadas, de soldadura fuerte, ligadas con adhesivos, conjuntos sellados, cámaras de presión o de vacío, tanques de combustible o gas.

IV.4 VENTAJAS

- Alta sensibilidad a separaciones ligeras extremadamente pequeñas no revelables por otros métodos de END
- Sensitividad relacionada con el método seleccionado
- Aumenta el margen de seguridad industrial

IV.5 LIMITACIONES

- Se requiere accesibilidad a ambas superficies del componente
- El metal manchado o los contaminantes pueden evitar la revelación
- Costo relacionado con la sensibilidad

IV.6 GENERALIDADES (15)

Este tipo de pruebas comprende la aplicación de una carga o presión igual o mayor que la esperada en servicio, pero no lo suficientemente grande como para dañar al elemento. Son técnicas para asegurar que el elemento (tuberías, tanques, calderas, etc.) está sano y servible en el momento de la prueba. Tales pruebas son comunes en el caso de recipientes soldados; las pruebas pueden usarse para verificar el hermetismo, confirmar la resistencia o la seguridad del recipiente.

Un buen criterio determinará la presión que deba revelar los defectos que posteriormente pudieran causar fallas en el servicio. Por lo general se elige algún múltiplo del valor de diseño, la aceptación de estas pruebas en las que el elemento o conjunto soldado se somete a presiones varias veces mayores que la del servicio mayor no significa que pueden usarse presiones de trabajo de aquella magnitud. La experiencia indica que más adelante pueden ocurrir fallas a presiones mucho menores, como resultado de la fatiga, la corrosión o elevadores de esfuerzos.

Para evitar daños debe siempre realizarse la prueba a un valor un poco menor que el de la resistencia a la fluencia del componente más débil. Generalmente es deseable limitar la presión o fuerza al 75 % del punto de fluencia calculado, a veces, la combinación de los esfuerzos residuales con el esfuerzo en la prueba puede ocasionar cierta cedencia local sin daños, la prueba, de hecho, puede actuar hasta un grado limitado como una operación de relevado de esfuerzos.

Puede usarse aire, agua, aceite y gases para suministrar la presión al probar un recipiente. Las fugas se manifiestan por caídas de presión o se detectan visualmente. El aceite delgado penetra en orificios por los que no pasa el agua; el aire se fuga por donde el aceite no lo logra, y el hidrógeno se fuga por donde el aire no puede. (El hidrógeno es sumamente explosivo y nunca debe usarse en donde haya la posibilidad de llama o chispa). Las fugas de aceite o agua se observan fácilmente. La presión del aire o del gas tendrá una caída si existe una fuga.

IV.7 PRUEBAS DE HERMETICIDAD

Los tipos de ensayos que constituyen las pruebas de hermeticidad se dividen en dos grupos: (N 19)

-Pruebas por pérdida de fluido

-Pruebas por cambio de presión

En la primera categoría la verificación de la hermeticidad de un elemento se realiza mediante la inspección minuciosa de la superficie en busca de fugas, mientras que en la segunda se consideran las variaciones de presión que se presentan en el componente durante la realización de la prueba.

IV.7.1 PRUEBAS POR PERDIDA DE FLUIDO (20)

IV.7.1.A CAMARA DE BURBUJAS

Una cámara de burbujas es un instrumento que permite ver y fotografiar las trayectorias que en su interior describen partículas tales como electrones, protones, etc. Basada en la cámara de Wilson, su funcionamiento es el siguiente:

En un recipiente con hidrógeno líquido y manteniendo éste a la presión correspondiente a su vapor de saturación, bastará una brusca baja de presión para que el líquido alcance el punto límite de su transformación en vapor, o sea que inicie la transformación en burbujas. Si en el instante anterior al comienzo de la formación de éstas, una partícula ionizada atraviesa el líquido provocará a su paso la aparición de otras burbujas menores al quedar el líquido ionizado. Simultáneamente a éste fenómeno se

disparan las cámaras fotográficas y captarán la trayectoria de la partícula por el desprendimiento de burbujas. Todo éste proceso se efectúa en fracciones de segundo y se repite incansablemente tomándose fotografías mientras dura la inspección.

La compresión y la descompresión del hidrógeno se realiza mediante un pistón montado directamente sobre la cámara en la que aquel está contenido.

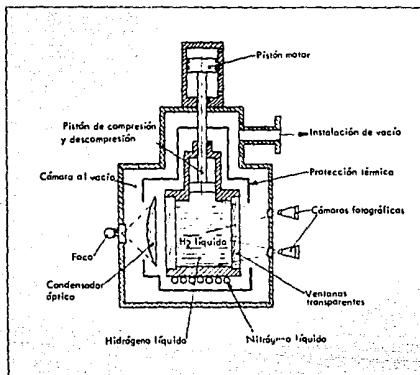


Fig. 4.1 Diagrama de una cámara de burbujas (20)

La cámara llena de hidrógeno líquido debe ser mantenida a una temperatura de -260°C y a un vacío comprendido entre 10^{-5} y 10^{-6} Torr. que evite en lo posible el calentamiento del hidrógeno que de producirse provocaría su evaporación. Para evitar radiaciones térmicas procedentes del exterior, la cámara va rodeada de una pantalla de protección constituida por una superficie metálica enfriada por nitrógeno líquido (-180°C), lo que economiza notablemente el consumo de hidrógeno.

TECNICAS DE INSPECCION DE LA HERMETICIDAD

El vacío que rodea la cámara de burbujas aísla y evita transmisiones de calor por convección y por conducción, también tiene la finalidad de impedir el empañamiento de las ventanas de observación por condensación de vapores sobre la superficie interior de las mismas, fenómeno que se produciría de no existir un vacío elevado.

Para poder distinguir de las partículas que entran en la misma de las que nacen debido a las reacciones nucleares que en ella se desarrollan toda la cámara se encuentra bajo los efectos de un potente campo magnético, con lo cual las partículas están obligadas a describir trayectorias curvas que permiten diferenciar unas de otras.

IV.7.1.B DETECTOR DE HALOGENOS (20)

(Detección por pulverización o absorción de halógenos)

Existen aparatos que se les da el nombre de detectores de fugas de halógenos, por emplear precisamente gases de éste grupo, en particular el freón. Su funcionamiento se basa en los siguientes hechos:

Si disponemos de un ánodo de platino y lo calentamos hasta 800°C en presencia de las moléculas de un gas halógeno, producirá una emisión de iones, ya que dichas moléculas actúan como catalizador. Estos iones forman una débil corriente eléctrica, que podrá medirse tras su correspondiente amplificación electrónica. La presión mínima que debe tener el gas halógeno para producir éste efecto es del orden de los 10⁻⁶ Torr.

Existen dos sistemas para efectuar la detección por medio de halógenos, los detectores de fugas están equipados para ambas posibilidades.

El primero, de absorción, consiste en efectuar el vacío en la instalación para que, una vez cerradas todas las válvulas que la comunican con las bombas, llenarlas con freón hasta una presión del orden de 400 gr/cm². Entonces mediante un pequeño aparato en forma de pistola, que lleva incorporado un aspirador, se recorre la instalación siguiendo de cerca todas las juntas, soldaduras, etc. Si existe una fuga constituida por freón mezclado con aire, será aspirada por el aparato, cuyo ánodo de platino en presencia de las moléculas de freón formará una corriente eléctrica que un microamperímetro indicará, pudiendo así ser observada.

Este sistema permite apreciar fugas de hasta 10^{-5} y 10^{-8} Torr. Para que esta operación se efectúe con éxito debe trabajarse en salas airadas y sin que los operarios fumen, puesto que el humo activa el aparato y este señala fugas donde no las hay.

El otro sistema, denominado pulverización se procede como sigue:

Sobre la instalación se monta un tubo detector, en cuyo interior va el ánodo de platino que es alimentado desde el panel de control.

Se efectúa el vacío en la instalación y mediante una pistola que va conectada a un recipiente con freón y que dispone de una válvula de cierre, se envía un chorro de este gas sobre las partes sospechosas de la instalación. De existir una entrada de aire en alguno de sus puntos, el freón penetrará también y el microamperímetro lo señalará rápidamente.

Este procedimiento es más sensible que el anterior, además de ser más real, ya que se trabaja con la instalación sometida al vacío. Permite descubrir fugas de presiones de hasta 10^{-6} Torr. utilizándose en laboratorios por su gran sensibilidad.

A fin de facilitar su empleo y eliminar el inconveniente que representa el mirar simultáneamente el lugar al que se dirige el chorro de freón y el indicador de fugas del aparato, los modernos detectores incorporan un altavoz de forma que la corriente produce una señal acústica cuando localiza una fuga.

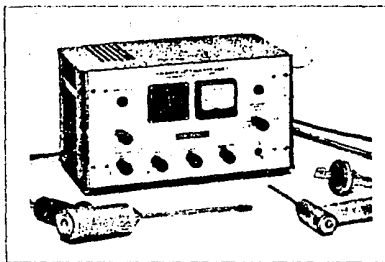


Fig. 4.2 Detector de fugas por pulverización (20)

IV.7.2 PRUEBAS POR CAMBIO DE PRESION

IV.7.2.A PRUEBA HIDROSTATICA (21)

Las pruebas hidrostáticas a base de agua a presión son hechas en el lugar de manufactura de los recipientes a presión.

La prueba hidrostática tiene por objeto la comprobación de la hermeticidad así como averiguar la resistencia mínima de la unidad.

Si se prueba un recipiente contra fugas, la presión hidrostática aplicada no debe ser menor que la máxima presión a la que reacciona la válvula de seguridad, pero no debe ser mayor que la de la prueba requerida para la comprobación de la resistencia.

La experiencia ha demostrado que un cordón de soldadura en un tanque puede resistir una presión determinada en una prueba, para fallar posteriormente bajo una presión igual o ligeramente menor.

Por otra parte la falla es muy improbable a una presión de trabajo no mayor a las dos terceras partes de la presión de prueba salvo que haya un punto de concentración de esfuerzos, por ejemplo, una soldadura defectuosa que sufrirá fatiga prematura como consecuencia de la repetición de esfuerzos.

Las pruebas hidrostáticas no siempre revelan los defectos que más tarde dan origen a fallas.

Esto sucede particularmente donde aparecen focos de tensión, como los ocasionados por fusión incompleta en la base de la soldadura, cuando éstas partes reciben golpes o esfuerzos repentinos en forma de choques.

Es muy posible que en tales condiciones ocurra posteriormente una ruptura originada por fatiga, a consecuencia de la acción de un esfuerzo repetido mucho menor que el aplicado durante la prueba.

La hermeticidad es muy importante en la construcción de recipientes a presión. Las fugas se detectan por observación o son indicadas por la pérdida de presión en un recipiente. El aceite particularmente si es delgado o está caliente, escapará frecuentemente por fugas donde el agua no escaparía a igual presión, por tal razón su uso es también común.

IV.7.2.B PRUEBAS NEUMATICAS (10)

Cuando se emplea agua o aceite para aplicar presión a un recipiente, habrá pocas dificultades para localizar las fugas en la parte exterior de las soldaduras hechas a tope, si éstas están limpias.

Las soldaduras de los chaflanes interiores y exteriores de una junta de solapa pueden tener pequeñas fugas, en cuyo caso el agua no será perceptible.

A veces se aplica presión entre las soldaduras barrenando una placa y roscando el barreno. Aplicando presión con aire o gas generalmente aparecerán las fugas de inmediato.

Cuando se efectúa una prueba con aire o gas a presión las fugas se localizan sumergiendo el cuerpo en agua y cubriéndolo con jabón líquido, o empleando algún indicador químico que responda con el gas a presión cuando escapa.

La ruptura de un domo o de un casco ocasionada por presión de agua es diferente a la ruptura ocasionada por aire a presión. Una ruptura ocasionada por agua, alivia la presión casi instantáneamente, permaneciendo pequeña la ruptura. En cambio la ruptura causada por el medio gaseoso a presión, no disminuye la presión, sino cuando ha escapado un considerable volumen de gas. Como consecuencia de que la presión permanece alta, tiende a desgarrar la abertura, convirtiéndola en un boquete grande que abarca generalmente la longitud total del domo.

IV.8 METODOS ALTERNATIVOS

Existen otras formas de detectar fugas, las cuales son utilizadas en la industria, y aunque son prácticas y económicas no ofrecen la misma calidad en sus resultados, comparadas con las técnicas anteriores.

IV.8.1 DETECCION DE FUGAS MEDIANTE EL MANOMETRO PIRANI

El manometro Pirani es un dispositivo que mide la presión mediante la conductividad térmica del gas. A bajas presiones la conductividad térmica de los gases disminuye.

TECNICAS DE INSPECCION DE LA HERMETICIDAD

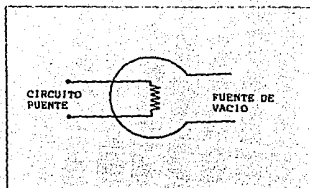


Fig. 4.3 Esquema del manómetro Pirani (13)

Su funcionamiento consiste en un filamento calentado eléctricamente en el interior del espacio vacío; La pérdida de calor del filamento depende de la conductividad térmica del gas y de la temperatura del filamento. Mientras más baja es la presión más baja es la conductividad térmica y, por lo tanto más alta la temperatura del filamento para una determinada entrada de energía eléctrica.

La medición de la temperatura se efectúa mediante la variación de la resistencia del material del filamento (tungsteno, platino, etc.). La medición de la resistencia puede realizarse mediante un circuito puente apropiado. La pérdida del calor del filamento también es un factor de la temperatura ambiente. Para compensar las variaciones posibles en las condiciones ambientales se pueden conectar en serie dos manómetros, haciéndose el vacío en el manómetro medidor y exponiéndose a las condiciones ambientales el manómetro sellado; el circuito puente se ajusta por medio de una resistencia para producir una condición nula. (13)

La sensibilidad de los manómetros Pirani puede emplearse para el descubrimiento de fugas, principalmente si se dispone de gas hidrógeno.

El procedimiento a seguir consiste en la misma lámpara que indica el grado de vacío alcanzado, como elemento detector, procediendo de la siguiente forma: (20)

Efectuando el vacío en la instalación hasta alcanzar la presión límite provocada por la existencia de la fuga y con el Pirani conectado, se recorre toda la instalación con un chorro de hidrógeno gaseoso. Al encontrar la fuga el hidrógeno penetra en ella y puesto que es mejor conductor de calor que el aire, provocará un rápido aumento de la corriente en la resistencia que forma el Pirani, que se pondrá de manifiesto por la variación de la aguja indicadora. Este es un sistema similar al de los halógenos, pero no tan sensible ya que sólo permite detectar fugas de hasta 10^{-3} Torr. aproximadamente. No obstante, es un procedimiento muy práctico y que se emplea con frecuencia hasta el extremo de que casi todas las empresas disponen de un aparato de este tipo en sustitución de un detector de fugas, que suele ser un aparato de alto precio y cuya adquisición no siempre resulta amortizable.

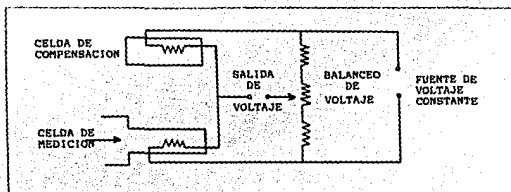


Fig. 4.4 Arreglo del manómetro Pirani para compensar los cambios de temperatura ambiental (13)

IV.8.2 DETECCION POR INMERSION EN AGUA

Es el mismo procedimiento clásico utilizado en muchos talleres y que al mismo tiempo se emplea también para la comprobación de recipientes sometidos a presión.

Para su puesta en práctica es preciso disponer de un recipiente abierto lleno de agua y de una línea de aire a una presión de 5 a 8 Kg/cm². Las piezas a ensayar deben ser obturadas en todas

TECNICAS DE INSPECCION DE LA HERMETICIDAD

sus aberturas, salvo en una, que se utilizará para conectar la línea de aire a presión. Seguidamente se sumerge la pieza en el agua, dándole paso al aire, el cual de existir alguna fuga, la hará visible rápidamente por las burbujas producidas. Una vez localizada la fuga se marca y se procede a su reparación.

La simplicidad de éste procedimiento presenta algunas limitaciones, como por ejemplo:

a) No se puede aplicar en piezas de gran tamaño dada la dificultad que supondría localizar exactamente la procedencia de las burbujas, además, la construcción de recipientes excesivamente grandes.

b) Dado que la presión es interior y que cuando se efectúa el vacío es exterior, es posible en ocasiones que la misma presión del aire cierre un poro, sea taponándolo con polvo o material de la misma pieza o bien, que las tensiones que crea este aire a presión, sean causa de la deformación de la pieza o del material cerrándolo. Por otra parte, las microfugas que son precisamente las que más perjuicio pueden causar, no producen suficientes burbujas como para ser observadas a simple vista.

Cuando las piezas son demasiado grandes o pesadas y por lo tanto no pueden introducirse en el recipiente, se procede como antes, introduciendo aire a presión una vez taponadas todas sus aberturas, marcando luego las partes sospechosas con un pincel mojado en agua jabonosa. Donde exista una fuga se producirán burbujas siempre y cuando ésta sea de cierta importancia, ya que si se tratase de un microporo pasaría inadvertido. Por partes "sospechosas" de una pieza o instalación se entienden todas aquellas en las que existen posibilidades de fuga, por ejemplo, soldaduras, juntas, empalmes, uniones, tomas para manómetros, ejes de rotación, pasos de líquido o corriente, etc. y finalmente el propio material de la pieza, que si es de fundición es muy posible que tenga poros, mientras que si se trata de chapa laminada y principalmente de acero inoxidable ésta posibilidad es mucho menor.

CAPITULO 5

CERTIFICACION

DE LOS

E N D

CAPITULO 5

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

El objetivo de este capítulo es el de documentar la evaluación y capacitación técnica del personal que realiza, testifica, supervisa y evalúa los ensayos no destructivos.

La confiabilidad y validez de los resultados de los Ensayos No Destructivos, están sustentados en la experiencia y habilidad del individuo que los realiza, por tal motivo se hace necesaria una certificación de tal capacidad; por esto, se presta atención especial a tal capacitación, con la calificación, certificación y actualización del individuo.

Los procedimientos oficiales para la capacitación, calificación y certificación de personal en END en México están regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-B-482-1991.

V.1 ENSAYOS

Los ensayos regulados por esta norma son:

Líquidos Penetrantes	(PT)
Partículas Magnéticas	(MT)
Radiografía Industrial	(RT)
Ultrasonido Industrial	(UT)
Hermeticidad	(LT)
Emisión Acústica	(AET)
Neutrografía	(NRT)
Visual	(VT)
Electromagnetismo	(ET)

V.2 PRINCIPIOS GENERALES DE CERTIFICACION

La responsabilidad de las actividades de capacitación y certificación en los END recae en un cuerpo colegiado formado por representantes de asociaciones profesionales en END, institutos de investigación de END y dependencias gubernamentales.

V.3 RESPONSABILIDAD DEL CUERPO COLEGIADO

La responsabilidad del cuerpo colegiado en forma general es la de iniciar, mantener y promover este esquema de certificación.

Administrar y supervisar los procedimientos de certificación.

Evaluar, aprobar y supervisar de forma periódica los centros de capacitación y calificación (en los cuales delega parte de su responsabilidad) para que cuenten con el equipo apropiado, personal capacitado y certificado.

Mantiene todos los registros y emite los testimonios escritos de certificación.

V.4 REQUISITOS PARA PRESENTAR EL EXAMEN

Los candidatos deben cumplir con requisitos de escolaridad, entrenamiento y experiencia que garantice la comprensión de los principios y procedimientos aplicables a los END.

Estos requerimientos varían de acuerdo al nivel que se pretenda alcanzar. Existen tres niveles para cada tipo de ensayo, los cuales van aumentando en complejidad, según se describirán a continuación.

V.4.1 REQUERIMIENTOS PARA NIVEL I y II

Escolaridad: Para los ensayos de PT, MT y LT se necesita una educación básica de por lo menos 9 años. Para los ensayos restantes se requiere de bachillerato concluido.

Experiencia: Se debe tener una experiencia mínima en meses de práctica como aprendiz en el ensayo al cual se aspira, según lo establece la tabla 5.1.

La experiencia de trabajo en meses en una semana nominal de 40 horas (175 horas por mes). Cuando una persona trabaja más de 40 horas semanales se le puede acreditar la experiencia basada en el total de horas trabajadas, pero se requiere que presente pruebas de esta experiencia.

Los meses de experiencia para Nivel I son como aprendiz, desarrollando actividades comparables a las de Nivel I. Los de experiencia para Nivel II, son desarrollando actividades de Nivel I.

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Método	Meses de experiencia	
	Nivel I	Nivel II
Electromagnetismo	3	9
Líquidos Penetrantes	1	2
Partículas Magnéticas	1	3
Radiografía Industrial	3	9
Ultrasonido Industrial	3	9
Hermeticidad	4	6
Emisión Acústica	6	18
Neutrografía	6	24
Visual	1	2

Tabla 5.1 Experiencia mínima requerida.

Para la certificación como Nivel II se considera como experiencia de trabajo el tiempo que ha laborado como Nivel I. Si el individuo va a calificarse directamente a Nivel II sin certificación en el Nivel I, la experiencia debe consistir en la suma de los periodos requeridos para los Niveles I y II.

V.4.2 REQUERIMIENTOS PARA NIVEL III

Para obtener el Nivel III, se debe ser Nivel II o tener experiencia equivalentes al Nivel II. También se presenta la condición de la escolaridad, si se ha concluido o no una carrera de ciencias o ingeniería. Los casos anteriores se contemplan en los siguientes apartados.

A) Para acceso al Nivel III de un operario certificado en el Nivel II.

A.1 Grado académico: Graduado en una carrera de cuatro años en una escuela de ciencias o ingeniería o de un programa universitario acreditado.

Experiencia requerida: 12 meses como Nivel II

A.2 Grado académico: Por lo menos de dos años de estudio aprobados en ingeniería o ciencias en una universidad o escuela técnica acreditada.

Experiencia requerida: 24 meses como Nivel II

B) Para el acceso directo al Nivel III por operario no certificado con una experiencia equivalente al Nivel II.

B.1 Grado académico: Graduado en una carrera de cuatro años en una escuela de ciencias o ingeniería o de un programa universitario adecuado.

Experiencia requerida: 24 meses como Nivel II

B.2 Grado académico: Por lo menos dos años de estudio aprobados en ingeniería o ciencias en una universidad o escuela técnica acreditada.

Experiencia requerida: 48 meses como nivel II

V.4.3 REQUERIMIENTOS ADICIONALES

Además de los antes mencionados hay que cubrir requisitos de aptitud física. Se debe presentar una prueba de agudeza visual satisfactoria, emitida por un oftalmólogo u optometrista, que cumpla con lo siguiente:

- Agudeza visual lejana (con o sin anteojos).
- Agudeza visual cercana (con o sin anteojos)
- Discriminación cromática

Los dos primeros deben realizarse por lo menos cada dos años.

V.5 PRESENTACION DE EXAMENES

Los exámenes para la certificación en Ensayos No Destructivos también están normalizados, y poseen las siguientes características: deben aplicarse a libro cerrado, todo el material e información necesaria para resolver cuestionarios tales como gráficas, tablas, especificaciones, códigos, etc. deben proporcionarse libremente durante el periodo de exámenes.

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

V.5.1 Para los Niveles I y II

El exámen consiste en una serie de preguntas elaboradas por el cuerpo colegiado, respecto a los principios básicos del método con el número mínimo de preguntas mostrado por la tabla 5.2.

Método de prueba	Nivel I Número de preguntas	Nivel II Número de preguntas
Electromagnetismo	40	40
Líquidos Penetrantes	30	30
Partículas Magnéticas	30	30
Radiografía Industrial	40	40
Ultrasonido Industrial	40	40
Visual	30	30
Hermeticidad	20	20
Emisión Acústica	40	40
Neutrografía	40	40

Tabla 5.2

El número de preguntas relacionadas con el equipo, procedimiento y operación va de acuerdo a la tabla 5.3

Método de prueba	Nivel I Número de preguntas	Nivel II Número de preguntas
Electromagnetismo	40	40
Líquidos Penetrantes	40	40
Partículas Magnéticas	40	40
Radiografía Industrial	40	40
Ultrasonido Industrial	40	40
Visual	40	40
Hermeticidad	30	30
Emisión Acústica	40	40
Neutrografía	30	30

Tabla 5.3

Posteriormente se realiza un tercer examen en el cual se evalúa la habilidad y destreza para operar el equipo de END, registrar y analizar los resultados para el nivel requerido.

En éste se debe desarrollar un procedimiento para la inspección que incluya: La descripción de la muestra, la forma de inspeccionarla, puntos de inspección y criterios de aceptación y rechazo.

Para lo cual, el cuerpo colegiado proporcionará muestras con características que sean acordes al procedimiento que se empleará en el examen. Dicho examen debe incluir por lo menos 10 puntos de verificación para comprobar que el candidato tiene habilidad práctica para realizar una inspección siguiendo el procedimiento.

V.5.2 Examen para Nivel III

El examen básico para Nivel III incluye lo siguiente:

- 15 Preguntas sobre la comprensión de la Norma NOM-B-482-1991
- 20 Preguntas sobre materiales, sus procesos y tecnología de fabricación.
- 20 Preguntas, basándose en las normas NOM-CC de la 1 a la 8 vigentes.
- 30 Preguntas con grado de dificultad de Nivel II de las técnicas de END.

El examen del método contiene:

- 30 Preguntas sobre fundamentos y principios de la técnica solicitada.
- 15 Preguntas sobre la aplicación, establecimiento y procedimiento del método.
- 20 Preguntas sobre la capacidad para interpretar códigos, normas y especificaciones, nacionales y extranjeras relacionadas con el método en que el candidato va a calificarse.

El examen específico contiene 20 preguntas sobre especificaciones, equipo, técnicas y procedimientos aplicables en el sector industrial en el que el candidato va a calificarse.

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

V.6 REQUISITOS DE CERTIFICACION

Se considera que el individuo puede certificarse si el promedio simple de los exámenes general, específico y práctico para el Nivel I y II es de 80% o mayor.

Y para la certificación en el Nivel III el promedio simple de los exámenes básico, del método y específico es de 80% o mayor.

V.7 REEXAMINACION

Si el candidato no obtuvo el promedio mínimo requerido, deberá esperar por lo menos 30 días antes de volver a presentar el examen, y si lo sorprendieron en una acción fraudulenta no podrá postularse antes de un año.

En caso de haber reprobado alguno de los dos exámenes escritos, podrá presentar un examen suplementario de la parte no aprobada siempre y cuando sea dentro de los 12 meses siguientes.

V.8 CERTIFICACION

Una vez cumplidos los requisitos, el cuerpo colegiado de certificación directamente o a través de una de sus entidades autorizadas emite el certificado y credencial correspondiente que contiene los siguientes datos:

- 1.- Nombre del individuo certificado
- 2.- Fecha de certificación
- 3.- Fecha de vencimiento
- 4.- Nivel de certificación
- 5.- Método de END
- 6.- Sector industrial involucrado
- 7.- Número único de identificación
- 8.- Firma de la persona certificada
- 9.- Fotografía de la persona certificada
- 10.- Sello de la entidad nacional de certificación sobre la foto.

V.9 VALIDEZ Y RENOVACION

El periodo de validez para el certificado es de 3 años para los Niveles I y II y de 5 años para el Nivel III a partir de la fecha de certificación.

La renovación del certificado es realizada por el cuerpo colegiado por un periodo de duración similar si se cumple con las siguientes condiciones:

Que se proporcione pruebas de un examen físico bienal, continuo y satisfactorio y que presente pruebas de actividad continua en su trabajo sin existir interrupciones significativas (6 meses o más).

V.10 TEMARIOS

Los temarios que componen el programa que debe cubrirse como mínimo en la capacitación del personal de Ensayos No Destructivos se presentan a continuación.¹

A partir de aquí se presentan los temarios para los niveles I y II de cada uno de los métodos contemplados por la norma citada.

El temario para el Nivel III no se presenta por la razón de que al momento de elaborar la presente tesis aún se encontraba en proceso de elaboración por la Dirección General de Normas y por ende no están publicados.

V.10.1 INSPECCION VISUAL

V.10.1.A Temario para Nivel I

- Introducción
- Definiciones
- Fundamentos
- Equipo
- Aplicaciones
- Pruebas visuales para procedimientos específicos

¹Para mayor información sobre el contenido de cada uno de los puntos mencionados en el listado de los temarios, remitirse a la Norma oficial Mexicana NOM-B-482-1991

V.10.1.B Temario para Nivel II

- Repaso del Nivel I
- Visión
- Iluminación
- Atributos de los materiales
- Factores ambientales y psicológicos
- Percepción visual
- Equipo
- Aplicaciones
- Criterios de aceptación y rechazo
- Registros e informes

V.10.2 PARTICULAS MAGNETICAS

V.10.2.A Temario para Nivel I

- Principios de los imanes y campos magnéticos
- Características de los campos magnéticos
- Efecto de las discontinuidades de los materiales
- Magnetización por medio de corriente eléctrica
- Selección del método apropiado de magnetización
- Materiales de inspección
- Principios de la desmagnetización
- Equipo de prueba de partículas magnéticas
- Tipos de discontinuidades detectadas por la prueba de partículas magnéticas
- Indicaciones e interpretaciones de la prueba con partículas magnéticas

V.10.2.B Temario para Nivel II

- Principios
- Campos de flujo
- Efectos de las discontinuidades en los materiales
- Magnetización por medio de corriente eléctrica
- Selección del método apropiado de magnetización
- Procedimientos de desmagnetización
- Equipo
- Tipos de discontinuidades
- Técnicas de evaluación
- Control de calidad del equipo y procesos

V.10.3 INSPECCION CON LIQUIDOS PENETRANTES

V.10.3.A Temario para Nivel I

- Introducción
- Inspección por líquidos penetrantes
- Métodos y técnicas de líquidos penetrantes
- Equipo empleado en la inspección con líquidos penetrantes

V.10.3.B Temario para Nivel II

- Revisión del curso del Nivel I
- Selección del método y técnicas apropiadas para la prueba con líquidos penetrantes
- Evaluación de los materiales
- productos conformados
- Procedimientos de inspección y normas

V.10.4 INSPECCION POR ELECTROMAGNETISMO

V.10.4.A Temario para Nivel I

- Física básica de electromagnetismo
- Introducción a las pruebas por electromagnetismo (corrientes de Eddy y flujo de fuga)
- Teoría electromagnética
- Técnica electromagnética
- Equipo de lectura
- Tipos de elementos sensores de la corriente de Eddy
- Tipos de elementos sensores de flujo de fuga

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

V.10.4.B Temario para Nivel II

- Evaluación electromagnética
- Factores que afectan la impedancia de la bobina
- Factores que afectan los campos de flujo de fuga
- Relación señal-ruido
- Selección de la frecuencia de prueba
- Relación de frecuencia para el tipo de prueba
- Selección del método de magnetización para la prueba de flujo de fuga
- Acoplamiento
- Intensidad del campo y su selección
- Orientación del campo para la prueba del flujo de fuga
- Consideraciones del diseño del instrumento
- Aplicaciones
- Uso de normas y procedimientos de operación

V.10.5 NEUTROGRAFIA

V.10.5.A Temario para Nivel I

- Operación de equipo neutrográfico e instrucciones de emergencia
- Seguridad del personal
- Instrumentos para la medida de radiación
- Medida de la radiación en áreas
- Radioactividad
- Prácticas de seguridad en áreas de radiación
- Reglamentaciones estatales, federales e internacionales
- Seguridad del personal y protección a la radiación
- Curso básico de física de la neutrografía
- Principios físicos
- Fuentes de radiación para neutrones (descripción específica)
- Aceleradores
- Detección de la radiación con formación de imágenes
- Proceso de la neutrografía: consideraciones básicas de formación de imagen
- Interpretación de los resultados de la prueba

V.10.5 B Temario para Nivel II

- Introducción
- Revisión de principios físicos
- Fuentes de radiación para neutrones
- Detección de la radiación
- Seguridad del personal y protección a la radiación
- Curso de técnica neutrográfica
- Proceso de neutrografía
- Interpretación de los resultados de prueba

V.10.6 ULTRASONIDO

V.10.6.A Temario para Nivel I

- Introducción
- Principios básicos de la acústica
- Equipo
- Métodos básicos de prueba
- Métodos de prueba
- Calibración electrónica y funcional
- Examen con haz recto para procedimientos específicos
- Examen con haz angular para procedimientos específicos

V.10.6.B Temario para Nivel II

- Curso de evaluación ultrasonido
- Evaluación de materiales
- Productos conformados
- Evaluación de uniones soldadas
- Evaluación de estructuras unidas por adherencia
- Detección de las discontinuidades
- Evaluación

V.10.7 EMISION ACUSTICA

V.10.7.A Temario para Nivel I

- Principios de las pruebas por emisión acústica
- Detección de la emisión acústica
- Instrumentación y procesamiento de la señal
- Procedimientos de prueba de emisión acústica
- Aplicaciones de las pruebas por emisión acústica

V.10.7.B Temario para Nivel II

- Curso de física de la emisión acústica
- Principios de las pruebas por emisión acústica
- Detección de la emisión acústica
- Instrumentación y procesamiento de las señales
- Procedimientos de prueba de emisión acústica
- Aplicaciones de las pruebas por emisión acústica

V.10.8 RADIOGRAFIA

V.10.8.A Temario para Nivel I

- Curso de operación de equipo radiografico e instrucciones de emergencia
- Control del personal
- Instrumentos de Inspección
- Prueba de hermeticidad de fuentes radioactivas herméticas
- Informes de medición de radiación
- Prácticas de trabajo radiográfico
- Dispositivos de exposición
- Procedimiento de emergencia
- Almacenamiento y embarque de dispositivos, de exposi-tivos y fuentes
- Reglamentaciones estatales y Federales
- Curso de física de radiografía básica
- Propiedades fundamentales de la materia
- Materiales radioactivos
- Tipos de radiación
- Interacción de la radiación con la materia
- Efectos biológicos de la radiación
- Detección de la radiación
- Dispositivos de exposición y fuentes de radiación

- Fuentes especiales radiograficas y técnicas
- Curso de técnica radiográfica
- Principios básicos de radiografía
- Radiografías
- Calidad de imagen radiográfica
- Técnicas de exposición y radiografía
- Técnicas fluoroscópicas

V.10.8.B Temario para Nivel II

- Calidad de la película y procesos de manufactura
- Revisión de principios básicos de radiografía
- Instalación de cuarto oscuro, técnicas y proceso
- Indicaciones, discontinuidades y defectos
- Procesos de manufactura y discontinuidades asociadas
- Revisión de principios de seguridad radiológica
- Evaluación e interpretación de la radiografía
- Observación radiográfica
- Técnicas de aplicación
- Evaluación de fundiciones
- Evaluación de soldaduras
- Normas, códigos y procedimientos para radiografía

V.10.9 HERMETICIDAD

V.10.9.A Temario para Nivel I

- Fundamentos de las pruebas de hermeticidad
- Seguridad en pruebas de hermeticidad
- Consideraciones de seguridad
- Precauciones de seguridad
- Precauciones con la presión
- Dispositivos de seguridad
- Seguridad del gas de rastreo y sus riesgos
- Tipos de equipo de control
- Reglamentos de seguridad
- Métodos de prueba de hermeticidad
- Esquema del curso de métodos de hermeticidad

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

V.10.9.B Temario para Nivel II

- Principios de la prueba de hermeticidad
- Principios físicos en las pruebas de hermeticidad
- Principios del flujo de gas
- Tecnología de presión
- Tecnología de vacío
- Selección del procedimiento de la prueba de hermeticidad

V.11 DEFINICIONES

Es conveniente definir de manera estricta conceptos que se manejan en el proceso de certificación en Ensayos No Destructivos, por lo tanto a continuación se presentan algunas de las definiciones más importantes.

APRENDIZ. Individuo que está en entrenamiento o capacitación para ser calificado y certificado para el Nivel I y que debe trabajar bajo la supervisión directa de personal certificado como Nivel II o III, no siendo aún apto para realizar de forma independiente una prueba, la interpretación de una indicación, interpretar y evaluar los resultados o de elaborar un informe de resultado. El período de aprendiz no debe exceder de dos veces el tiempo de experiencia requerido para el Nivel I de acuerdo a la tabla 5.1

CAPACITACION EN END. Es el curso de entrenamiento en el método END, para el cual se aspira a certificarse, que tiene como finalidad proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas necesarias para efectuar una inspección de manera confiable. En la tabla 5.4 establece la duración de los cursos para los diferentes métodos.

CALIFICACION. Demostración por medio de exámenes debidamente preparados de que el individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para desarrollar correctamente los END.

Método	Horas		
	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Electromagnetismo	40	80	80
Líquidos Penetrantes	24	24	40
Partículas Magnéticas	24	24	40
Radiografía Industrial	80	40	80
Ultrasonido Industrial	40	40	80
Hermeticidad	24	24	40
Emisión acústica	40	40	80
Neutrografía	40	40	80
Visual	24	24	40

Tabla 5.4

CANDIDATO. Individuo que aspira a certificarse en alguno de los diferentes niveles establecidos por el esquema nacional de entrenamiento, calificación y certificación.

CERTIFICACION. Procedimiento que permite la emisión del testimonio escrito sobre la capacidad técnica de un individuo para realizar las tareas concernientes a un método específico de END.

CERTIFICADO. Testimonio escrito de la capacitación, calificación y experiencia de un individuo para aplicar un método de END.

ENTIDAD CALIFICADORA. Organismo competente e independiente autorizado por el Comité Nacional de Certificación para aplicar y ponderar los exámenes de calificación al personal que realiza los END.

EXPERIENCIA. Periodo durante el cual el candidato trabaja bajo la supervisión del personal debidamente calificado y certificado, utilizando el método específico de END, como actividad principal, incluyendo la aplicación del método a materiales, partes o estructuras, pero sin incluir las prácticas efectuadas para la capacitación. El tiempo de capacitación no debe incluirse en la experiencia.

CERTIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

NIVELES DE CERTIFICACION. Se establecen tres niveles de certificación para cada uno de los END, en función de los conocimientos, habilidad, experiencia y responsabilidad en el trabajo que debe tener el individuo al ser certificado. El individuo que todavía no haya obtenido ningún nivel de certificación debe registrarse como aprendiz o asistente.

NIVEL I. Aptitud para efectuar correctamente la calibración y ajuste de un equipo de inspección; realizar una inspección específica, aplicar los criterios de aceptación o rechazo definidos en un procedimiento o instrucción de inspección, informar o realizar los registros de éstas actividades. El inspector con Nivel I debe ser entrenado y supervisado por personal certificado como Nivel II o III.

NIVEL II. Es la aptitud para efectuar correctamente las actividades para un Nivel I. Conocer las técnicas para realizar o verificar el ajuste cuando el equipo de inspección presente cambios en sus condiciones normales de funcionamiento, interpretar los resultados obtenidos durante una prueba, evaluándolos conforme a un código, norma o especificación aplicable. Quien posee este nivel, debe estar familiarizado con los alcances y limitaciones de su técnica y puede ser responsable de la capacitación práctica y supervisión de los individuos con Nivel I y aprendices. Debe ser responsable de preparar instrucciones de inspección, organizar, revisar y emitir los dictámenes de los resultados y de las pruebas efectuadas por él o bajo su supervisión.

NIVEL III. Es aquél nivel que se aplica a un individuo que ha sido capacitado y está calificado para efectuar correctamente las actividades para los niveles I y II, establecer técnicas definidas y procedimientos generales de inspección, interpretar los códigos normas y especificaciones para establecer métodos, técnicas y procedimientos específicos a ser empleados.

Debe ser responsable de las pruebas de END, para las cuales esté certificado.

Debe ser capaz de evaluar e interpretar los resultados con los criterios establecidos por códigos, normas y especificaciones.

Es el responsable en primera instancia de las pruebas efectuadas por él o bajo su supervisión.

Quien posee un Nivel III debe tener un conocimiento general sobre materiales, métodos y tecnología de fabricación que le permita conocer la técnica a emplear durante la inspección y para poder asesorar en la selección de los criterios de aceptación cuando estos no estén definidos.

Debe estar familiarizado con los demás métodos de inspección. Puede ser el responsable y debe estar capacitado para impartir el entrenamiento y seleccionar a los candidatos a ser calificados y certificados con Nivel I y II.

PROCEDIMIENTO DE END. Son instrucciones escritas de forma ordenada que describen en forma detallada los medios y la secuencia en que debe aplicarse un tipo y método de END a un material parte o componente.

CAPITULO 6

SELECCION

DE

EQUIPO

CAPITULO 8

SELECCION DE EQUIPO

El objetivo de la industria es entregar productos que satisfagan los requerimientos del cliente. Para lo cual se deben establecer ensayos que verifiquen la integridad del producto y establezcan su rentabilidad.

La aplicación de un ensayo en el proceso de producción permite reunir información durante el ciclo de manufactura. Con los resultados del ensayo se podrán hacer ajustes al proceso evitando la aparición de defectos en el producto terminado.

Limitando de esta forma, las pérdidas en tiempo, energía, material y mano de obra. Así mismo mejora la relación del costo de producción por unidad, lo que reditúa en mayores beneficios para la industria.

Por tal motivo se hace necesario establecer un laboratorio capaz de desarrollar dichos ensayos y brindar un servicio a la industria, para que ésta pueda cumplir con sus objetivos.

Una vez tomada la decisión de construir un laboratorio de END, justificado y aceptado el proyecto, el siguiente paso es el de especificar el equipo de que debe constar. (9)

Al establecer las necesidades de equipo entre más detallados y explícitos sean los requerimientos del mismo, mejor criterio se tendrá para la evaluación de los equipos existentes en el mercado.

Así, que antes de proceder a la compra, hay que considerar los niveles de costo implicados en el proyecto. Por lo general, esto se lleva a cabo realizando una investigación documentada, consultando los catálogos de diversos proveedores, con lo cual se obtiene la estimación de lo que costará el proyecto. La estimación o cálculo se compara con el presupuesto original y esto será fundamental para la elección del equipo a adquirir.

VI.1 Criterios de Carácter Técnico (9)

Los siguientes criterios a considerar son de carácter técnico, conocidos como requisitos de funcionamiento del equipo. La correcta selección de estos nos garantizará un servicio satisfactorio.

En forma general son los siguientes:

- a) Indicar de forma explícita las posibilidades de uso del equipo para cada uno de los ensayos.
- b) Indicar los atributos físicos del equipo, es decir, tamaño y peso.
- c) Señalar los recursos de energía requeridos, frecuencia de trabajo, tensión de alimentación, etc.
- d) Señalar requisitos adicionales de sistemas eléctricos, como por ejemplo, dispositivos, lámparas, controles, interruptores, etc.
- e) Indicar requisitos ambientales.
- f) Indicar requisitos de seguridad.

Hay que considerar que al establecer las especificaciones no se debe caer en excesos, es decir, no siempre el equipo más caro o el más moderno es el más adecuado.

VI.2 Selección de Equipos de Ensayo (18)

La selección de aparatos para un ensayo particular involucra consideraciones de:

- 1.- Propósito del Ensayo
- 2.- Exactitud Requerida
- 3.- Conveniencia o Disponibilidad
- 4.- Economía

En cierto número de casos, la elección final representa un compromiso entre las últimas tres. Para el ensayo comercial la exactitud requerida debe ser conocida y mantenida. El requerimiento usual para las máquinas de ensayo ordinario es que sean exactas hasta un 1 % dentro del rango de uso.

Para labor de precisión debe enfatizarse que la exactitud consistente de todas las mediciones es deseable. Eso puede requerir algún estudio del comportamiento de varias piezas de aparatos, para seleccionar el equipo adecuado para un ensayo particular.

Las consideraciones de conveniencia y economía generalmente son dictadas por el equipo disponible de un laboratorio en particular. Sin embargo dentro de los límites de exactitud requeridos, debe seleccionarse ciertamente el procedimiento más simple y que consuma menos tiempo.

VI.3 Equipo Necesario (N 19)

A continuación se establecerán los elementos que constituyen el equipo para la práctica de cada uno de los Ensayos No Destructivos, tomando en cuenta que no todos ellos son indispensables, y dependiendo de la complejidad del servicio que se pretenda prestar.

VI.3.1 Inspección Visual

- Espejos
- Lentes de aumento
- Endoscopios
- Circuito cerrado de televisión
- Fuente de luz e iluminación especial
- Indicadores, escalas, patrones y herramientas especiales
- Sistemas automatizados
- Sistemas de digitalización de imagen
- Sistemas ópticos especiales

VI.3.2 Partículas Magnéticas

- Equipo portátil
- Equipo estacionario
- Equipo tipo automático
- Líquidos y polvos
- Equipo de iluminación normal
- Equipo de iluminación ultravioleta y fluorescente
- Instrumentos sensibles a la luz
- Alarmas y mecanismos de rechazo
- Accesorios

VI.3.3 Líquidos Penetrantes

- Equipo de iluminación normal (luz visible)
- Equipo de iluminación luz negra (luz ultravioleta)
- Solventes y equipo de limpieza
- Penetrantes
- Reveladores
- Atomizadores
- Accesorios

VI.3.4 Electromagnetismo

- Bobinas
- Sondas
- Osciloscopios
- Equipo de medición
- Graficador
- Sistemas de marcado
- Compuertas de clasificación y tablas de referencia
- Accesorios

VI.3.5 Neutrografía

- Dosímetros personales
- Acelerador
- Reactor nuclear
- Películas
- Pantallas
- Instrumentación
- Dispositivos de no formación de imagen
- Equipo de detección de radiación
- Alarmas
- Equipo de blindaje
- Accesorios

VI.3.6 Ultrasonido

- Bloques de calibración
- Acoplantes
- Transductores
- Tubo de rayos catódicos (amplitud y barrido)
- Equipo de registro
- Sistemas automáticos y semiautomáticos
- Alarmas
- Accesorios

VI.3.7 Emisión Acústica

- Sensores
- Filtros
- Amplificadores
- Contadores digitales y procesadores
- Osciloscopios
- Unidades de ganancia y medición
- Sistemas de amplificación específica
- Accesorios

VI.3.8 Radiografía

- Dosímetros
- Fuente de radiación
- Instrumentos de medición
- Películas
- Pantallas
- Blindaje
- Equipos varios
- Penetrámetros
- Equipo para procesos de la película (visor de luces, revelador, fijador, etc.)

VI.3.9 Hermeticidad

- Dispositivos de localización de fuga (cámara de burbujas, detector de halógenos, etc.)
- Dispositivos de seguridad (válvulas de control y seguridad)
- Equipo de control de área
- Equipo de control de personal
- Bombas de vacío.

VI.4 COTIZACIONES DE EQUIPO

En la cotización no se considerarán los ensayos de : Emisión acústica, Hermeticidad y Neutrografía, dado que no se justifican tanto por lo sofisticado y caro de las instalaciones que requieren como por sus aplicaciones muy específicas y de poca demanda en nuestro país.

Consideramos que para los fines de la E.N.E.P. Aragón, que son los de capacitar a los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la aplicación de los Ensayos No Destructivos, y prestar servicio de los mismos a nivel industrial, lo más adecuado es¹ la cotización de los equipos más indispensables para cada ensayo.

Además tomando en cuenta que el principio de funcionamiento para los equipos ligeros (o portátiles) es el mismo que para los equipos estacionarios (de mayor capacidad), hemos elegido los primeros, que son de menor precio, cumplen el mismo objetivo de enseñanza, satisfacen las necesidades técnicas y proporcionan la posibilidad de realizar la inspección correspondiente en los lugares en los que la industria lo requiera, que como se ha mencionado es una de las ventajas más importantes de dichos ensayos.

Los equipos requieren alimentación de 115 o 220 Volts, tensiones de alimentación con las que cuenta la E.N.E.P. Aragón, lo que facilita su instalación.

Los equipos cotizados cuentan con especificaciones de funcionamiento y aplicaciones similares, que se encuentran disponibles en el mercado nacional.

Se evitó cotizar los múltiples accesorios con que se pueden complementar cada equipo, por razones de espacio y tiempo. Por lo tanto, cada equipo cuenta sólo con lo indispensable (pero suficiente) para su funcionamiento.

Por último, el inciso correspondiente a los requerimientos ambientales, sólo tiene efecto para el caso de manejar equipo radiográfico. En la construcción de un laboratorio de este tipo deberá remitirse a las reglamentaciones correspondientes de la SECOFI.

¹ Para esta fecha de Febrero de 1994.

SELECCION DE EQUIPO

A continuación presentamos un listado de las empresas distribuidoras de equipos de las que se obtuvo la información que posteriormente se presentará en forma de tablas con los equipos seleccionados.

- A) Comercio y Tráfico de México
Retorno de M. Lanz Duret No. 44
Col. Periodista C. P. 11220 México D.F.
Tel. 3 95 32 19
 3 95 20 76
 3 95 39 54
Fax 5 57 32 82
- B) Naumex
Calle 5 No. 1 Naucalpan esquina con 16 de Septiembre
Tel 3 59 52 70
 5 78 19 44
 5 78 25 57
Fax 5 78 23 57
- C) Preussag México
Felix Parra No. 187 Col. San José Insurgentes
C.P. 03900 México D.F.
Tel 8 80 59 11
Fax 5 93 14 96
- D) AEISA Asesoría y Equipos de Inspección S.A. de C.V.
Luis Espinoza No. 9 Circuito Ingenieros
Cd. Satelite C.P. 53100 Edo. de México
Tel 2 86 55 10
- E) LOG S.A de C.V.
Calzada Misterios No. 538 Col. Industrial
México D.F. C.P. 07800
Tel. 7 39 19 74
Fax 7 39 19 14

Equipo para inspección por Partículas Magnéticas

Yugos Magnéticos

Características :

Son portátiles

Ligeros

La alimentación es a 120 V o 220 V

Utilizan CA o CD de 2 a 5 Amperes

Pueden ser de patas rígidas o flexibles.

Uso rudo

- 1) Marca: Econospec
Distribuidor: AEISA

Modelo	Longitud del yugo	Tipo de patas	Amp.	Volt.	Precio (N\$)
ESC 32	15 cm	rígida	3	120	1 600.00
ESC Y52	20 cm	rígida	5	120	1 700.00
ESC Y80	15 cm	flexible	5	120	1 700.00
Y54	15 cm	rígida	2	220	1 750.00

- 2) Marca: Parker
Distribuidor: LOG S.A. de C.V.

Modelo	Longitud del yugo	Tipo de patas	Amp.	Volt.	Precio (N\$)
B 300	15 cm	flexible	5	120	1 750.00

SELECCION DE EQUIPO

3) Marca: Tiede
 Distribuidor: Comercio y Tráfico de México

Modelo	Longitud del yugo	Tipo de patas	Amp.	Volt.	Precio (N\$)
TWH 42N	15 cm	Flexible	2	220	2 000.00
TWH 220N	20 cm	Flexible	5	220	2 200.00

Lámpara de Luz Negra

Características:

Onda de luz ultravioleta de 365 nanometros
 Transformador incluido
 Portátil
 Uso rudo
 Peso aprox. 2 Kg. (lámpara, cable y transformador)
 120 V 100 W 60 Hz

Marca: Magnaflux
 Distribuidor: Comercio y Tráfico de México
 Preussag México

Modelo: ZB 100
 Precio: N\$ 1 800.00

Marca: Econospec
 Distribuidor: AEISA
 Modelo: B-100A
 Precio: N\$ 1 700.00

Marca: Spectroline
 Distribuidor: AEISA
 Modelo: Lamp UV
 Precio: N\$ 1 700.00

Fuentes de Magnetización
(Magnetización por puntas o por bobinas)

Marca: Econospec
Distribuidor: AEISA
Modelo: ESC 27 DE
ESC 27 D

Entrada: 110 Volts de CA
35 Amps
Salida: 1 a 750 amps de CA o CD
Características: Portátiles
Peso 12 Kg
5 m de cable
2 puntas de prueba
circuito de estado sólido
Precio: N\$ 35 000.00

Marca: Magnaflux
Distribuidor: Preussag México
Modelo: P-70

Entrada: a) 115 V de CA a 50 o 60 Hz
26 amps
b) 230 V de CA a 50 o 60 Hz
13 amps
Salida: 1 a 750 Amps de CA o CD
Características: Portátil
Peso de 15 Kg
Duración de ciclos de trabajo:
2 minutos encendida y 2 minutos apagada
Precio: N\$ 37 000.00

Marca: Tiede
Distribuidor: Comercio y Tráfico de México
Modelo: Ferrotest 10
Entrada: 220 V de CA
35 Amps
50 Hz
Salida: 1 a 1000 Amps

Características:

Portátil
Digital
Peso 29 Kg
Duración de ciclo: intermitente

Precio: N\$ 50 000.00

Partículas Magnéticas

Marca: Magnaflux
Distribuidor: Preussag México
Comercio y Tráfico de México
Presentación: 1 Kg
Tipo: Visibles y fluorescentes
Precio: N\$ 250.00

Líquidos Penetrantes

Marca: Magnaflux
Distribuidor: Preussag México
Presentación: 0.5 litros Aerosol
Tipo: Visibles
Precio:
penetrante: N\$ 25.00
revelador : N\$ 24.00
removedor : N\$ 22.00

Tipo: Fluorescentes
Precio:
penetrante: N\$ 30.00
revelador : N\$ 28.00
removedor : N\$ 26.00

Marca: Ziglo
Distribuidor: Preussag México
Presentación: 0.5 litros Aerosol
Tipo: Visibles
Precio:
penetrante: N\$ 23.00
revelador : N\$ 20.00
removedor : N\$ 20.00

Tipo: Fluorescentes

Precio:

penetrante: N\$ 28.00

revelador : N\$ 25.00

removedor : N\$ 25.00

Equipo para Corrientes de Eddy

Probador de Conductividad

Marca: Zetec

Distribuidor: Preussag México

Modelo: MIZ-8

Precio: N\$ 24 000.00

Características:

110 V 60 Hz

Equipo portátil

Peso aprox. 4 Kg

Sistema de calibración integrado

Dos escalas

Probador de diversos materiales

Probador de Materiales

Marca: Zetec

Distribuidor: Preussag México

Modelo: MIZ 20A

Precio: N\$ 90 000.00

Características:

Prueba materiales ferrosos y no ferrosos

Es portátil

Opera con baterías o CA (115 O 130 V)

Tamaño compacto

Alarma de seguridad

Rango de frecuencia de 50 Hz a 2MHz

Pantalla de cristal líquido de 6 x 12 cm

Graficador capaz de rotar figura

Comparador con estándares de aceptación

Interfase Rs-232 para computadora

Probador de Materiales

Marca: Zetec
Distribuidor: Preussag México
Modelo: MIZ 40
Precio: N\$ 150 000.00

Características:

Equipo Multifrecuencia
Pantalla de toque
Rango 100 Hz a 8 Mhz
Tamaño compacto
Fácil manejo
Alarma audio-visual
Cuatro canales de prueba de materiales
Interfase RS-232 para computadora
(entrada y salida)
Compatible con sistemas de registro
(video y cinta)
Memoria de registro de 256 Kb
Alta velocidad de inspección
Interfase HP 2225P para impresora

Palpadores para corrientes de Eddy

Presentación: Kit Zetec
Distribuidor: Preussag México
Precio: N\$ 1 200.00

Probadores de tuberías para corrientes de Eddy

Presentación: Kit Zetec
Distribuidor: Preussag México
Precio: N\$ 1 300.00

Equipo para inspección por Ultrasonido

Medidor de Espesor Ultrasonico

Características:

- Portátil
- Fácil de manejar
- Lecturas en centímetros o pulgadas
- Opera con baterías
- Fácil de calibrar
- Prueba diversos materiales

Marca: Krautkramer Branson

Distribuidor: Comercio y Tráfico de México
Naumex

Modelo: DM2E

Rango de temperatura: -10°C a 50°C

Precio: N\$ 9 200.00

Modelo: DME DL

Tres velocidades de inspección

Capacidad de memoria de lecturas

Precio: N\$ 16 000.00

Modelo: DR1

Capacidad de memoria de lecturas

Interfase para impresora o computadora

Programable

Precio: N\$ 19 000.00

Marca: Magnaflux

Distribuidor: Comercio y Tráfico de México

Modelo: MX-10

Prueba de materiales con temperaturas hasta 316°C

Precio: N\$ 7 000.00

Marca: STRESSTEL

Distribuidor: Preussag México

Modelo: T-MIKE EZ

Rango de temperatura -18°C a 150°C

Precio: N\$ 8 500.00

Marca: NDT Instruments Inc.
Distribuidor: AEISA
Modelo: Nova 100-D
Precio: 7 000.00

Marca: Dupont
Distribuidor: AEISA
Modelo: ML1
Capacidad de memoria de lecturas
Salida de interfase RS-232 para computadora o impresora
Precio: N\$ 13 000.00

Detector de flujo ultrasonico

Características:

Analogico
Funciones básicas
Peso 5 Kg (aprox.)
Rango:
Mínimo 0.5 pulgadas
Máximo 150 pulgadas (acero)
Opera con corriente alterna o baterías

Marca: Magnaflux
Distribuidor: Comercio y Tráfico de México
Modelo: FX-1
Precio: N\$ 17 800.00

Marca: Krautkramer Branson
Distribuidor: Naumex
Modelo USM 3
Precio: N\$ 20 000.00

Equipos con Optimización de pulsos, filtración separada y controles de rectificación:

Marca: Dupont
Distribuidor: AEISA
Modelo: Pulsar 5000
Precio: N\$ 25 000.00

Marca: Krautkramer Branson
Distribuidor: Naumex
Modelo: USM 3S
Precio: N\$ 30 000.00

Marca: Magnaflux
 Distribuidor: Comercio y Tráfico de México
 Modelo: FX-5
 Precio: N\$ 25 000.00

Equipos digitales

Marca: Panametrics
 Distribuidor: LOG S.A. de C. V.
 Modelo: EPOCH IIB
 Precio: N\$ 40 000.00

Marca: Krautkramer Branson
 Distribuidor: LOG S.A. de C.V.
 Modelo: USN 50
 Precio: N\$ 40 000.00

Marca: Krautkramer Branson
 Distribuidor: LOG S.A. de C.V.
 Modelo: USD 10
 Precio: N\$ 45 000.00

Equipo para Inspección Radiográfica

Película radiográfica

Características:

Caja con 110 placas
 tamaño de la placa 36 x 43 cm.

Distribuidor: LOG S.A. de C.V.

Marca	Precio (N\$)
Dupont	1 250.00
Kodak	1 365.00
Afga	1 200.00
Fuji	1 250.00

Equipo de rayos X

Sistema de 200 kV
Alimentación a 220 V de CA o CD
Tubo de rayos X
Panel de control
Mangueras
Marca: XMAS
Distribuidor AEISA
Modelo: XMAS
Precio: N\$ 35 000.00

Sistema de 300 kV
Alimentación a 220 V de CA o CD
Tubo de rayos X
Panel de control
Mangueras

Marca: XMAS
Distribuidor: AEISA
Modelo: ITE
Precio N\$ 130 000.00

VI.5 Recomendaciones

Para la inspección con partículas magnéticas recomendamos el yugo magnético de la marca Econospec modelo ESC Y60 de 15 cm con patas flexibles, de 120 V y consumo de 5 amps, cuyo precio es de N\$ 1 700.00, lo preferimos en lugar de una fuente de magnetización por su versatilidad, por su menor precio y por ser de una marca reconocida, lo cual asegura la calidad de sus equipos.

Seleccionamos la lámpara de luz negra Econospec modelo B-100A con un porecio de N\$ 1 700.00 la cual cubre las necesidades de inspección tanto para partículas magnéticas como para líquidos penetrantes.

Las partículas magnéticas seleccionadas son las producidas por Magnaflux, que son las de mayor renombre. Es deseable que sean de ambos tipos, visibles y fluorescentes.

Al igual que en las partículas magnéticas, para los líquidos penetrantes recomendamos la marca Magnaflux por las mismas razones.

Para el caso de las corrientes de Eddy no recomendamos la adquisición de un equipo para este tipo de ensayo ya que no es ampliamente utilizado en la industria, consideramos que puede ser reemplazado por otro ensayo (ultrasonido o partículas magnéticas).

En el ensayo de ultrasonido, para la medición de espesores recomendamos el medidor MX-10 de Magnaflux, porque proporciona un amplio rango de temperatura y su precio es accesible N\$ 7 000.00.

Para el medidor de flujo ultrasonico, existe una amplia variedad de modelos analógicos y digitales, de los cuales recomendamos un modelo analógico, con funciones básicas que consideramos es el más adecuado para los objetivos de enseñanza y servicio. El modelo elegido fué el USM-3 de Krautkramer Branson, con un precio de N\$ 20 000.00.

Y finalmente para el ensayo de radiografía seleccionamos un sistema de 200 KV marca XMAS modelo XMAS cuyo precio es de N\$ 35 000.00, siendo una fuente de tipo portátil, ligero y eficiente para cubrir las necesidades de un buen laboratorio.

Las películas elegidas son de la marca Dupont, ya que reúnen los requisitos de calidad para una buena radiografía.

Se proveen por caja conteniendo 100 placas de 36 x 43 cm a un precio de N\$ 1 250.00.

En el caso de requerir información adicional sobre algún equipo o accesorio específico, recurrir a los proveedores mencionados.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Y

COMENTARIOS

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El desarrollo de un tema de tesis siempre presenta los obstáculos de búsqueda, selección y manejo de la información.

El trabajo que presentamos es el resultado de una intensa investigación acerca de los ensayos aplicados a los materiales con técnicas nuevas y muy eficaces. La búsqueda de tal información constituyó el mayor conflicto para el desarrollo de nuestro tema. La información bibliográfica es pobre e inadecuada, tratan los temas de manera vaga y superficial.

Las fuentes que poseen tal información son escasas y no permiten un fácil acceso a la misma; tales fuentes están constituidas por compañías que aplican los ensayos en sus procesos, grupos que se dedican a prestar este servicio a empresas que lo solicitan y otras que funcionan como distribuidores en la venta de equipo para la realización de los ensayos (Equipo extranjero, de origen estadounidense y alemán).

Los ensayos No Destructivos son de gran importancia actualmente y su aplicación industrial se enfoca en dos áreas; El control de calidad y la verificación de elementos en servicio.

Dentro del control de calidad, su utilidad comienza desde la recepción del material, en donde se examina que cumpla con las características que se exigen al adquirirlo. Durante el proceso de producción verificando la ausencia de defectos en el maquinado de los materiales, así como sus dimensiones, el adecuado acoplamiento de la piezas, la composición de las aleaciones y el acabado final.

Por otro lado en la evaluación de partes y componentes en servicio, se conocen las condiciones en las que se encuentra el elemento, estableciendo así la vida remanente del mismo. De esta manera se hará posible determinar el tiempo en que deberá ser reemplazado permitiendo optimizar la planeación del mantenimiento correctivo.

A pesar de las ventajas y de la extensa gama de aplicaciones de cada uno de los métodos, hay que hacer notar que ninguno de ellos es tan eficiente que sea capaz de sustituir a los demás, desde el más sencillo hasta el más complejo son necesarios, es decir se complementan entre sí.

Dependiendo de la necesidad se selecciona el que sea capaz de cubrirla con mayor confiabilidad. De tal modo que en ocasiones será suficiente con un sólo ensayo mientras que en otras se pueden llegar a necesitar dos o más.

En cuanto a la regulación de estos ensayos cabe aclarar que la mayoría no están normalizados y las pocas normas existentes no son de carácter obligatorio. Dichas normas están deficientemente elaboradas porque no son explícitas en la descripción de la forma en que se debe desarrollar el ensayo, además de contar con errores de redacción.

La certificación está dada por asociaciones civiles afiliadas a la ASNT, organización internacional que se encarga de regular la certificación y calificación de los inspectores, la aprobación de equipo y técnicas de inspección.

Sea cual sea el equipo elegido para la adquisición, éste deberá estar a cargo de personal calificado para su manejo y calibración, así como para que instruya a los alumnos en las técnicas relativas de operación al mismo.

El desarrollo de los ensayos de hermeticidad no es tan amplio como quisiéramos, debido a que los ensayos de cámara de burbujas y detector de halógenos no se aplican en México debido a su alto costo y complicaciones técnicas que representan; en su lugar se utilizan métodos más simples como los que se mencionaron en el capítulo correspondiente. Por tal motivo la información relativa a los mismos es aún más escasa. Caso similar es el de la neutrografía.

Esperamos que nuestra tesis cumpla con su objetivo entre los estudiantes de ingeniería y sea un útil elemento de trabajo en la difícil tarea de formarse y perfeccionarse como un auténtico profesional de la ingeniería.

ANEXO A

ANEXO A

El objetivo del este anexo es el de presentar algunas tablas (de manera resumida) como ejemplo, de las que se utilizan como guías de referencia para los inspectores que aplican los Ensayos No Destructivos.

La Tabla A.1 se refiere a los tiempos de penetración sugeridos por la norma NOM 8133/01-1988 (N 3), para la inspección por líquidos penetrantes. Se establece el tipo de material, la forma de la pieza inspeccionada, el tipo de discontinuidad esperada y por último el tiempo de penetración sugerido para proceder posteriormente al lavado. Esta primera tabla corresponde a los penetrantes removibles con agua.

La tabla A.2 es también para el ensayo de líquidos penetrantes, pero los tiempos sugeridos en ésta tabla corresponden a los penetrantes post-emulsificables y penetrantes removibles con solventes. Contiene los mismos elementos que la tabla A.1. y corresponden a la misma norma.

En la tabla A.3 se muestran propiedades acústicas de los materiales para el ensayo de ultrasonido industrial. Estos valores se deberán tomar en cuenta al momento de calibrar el equipo antes de realizar la inspección. Se da información de diferentes tipos de materiales, tales como; Líquidos, sólidos-metales y sólidos cerámicos. Tomados de la referencia bibliográfica No. 2.

La tabla A.4 es utilizada en la inspección por el método radiográfico y se establece una relación entre la sensibilidad radiográfica y el mínimo grosor perceptible del penetrámetro.

La sensibilidad radiográfica se expresa como función del penetrámetro más delgado perceptible, en porcentaje del grosor de la pieza, y el mínimo diámetro perceptible de dicho penetrámetro (2).

La tabla A.5 Se refiere a los factores de equivalencia radiográfica para varios metales con respecto al acero. Dicha tabla se utiliza para hacer los ajustes necesarios al momento de tomar una placa radiográfica (N1).

Para comprender la utilidad de la tabla A.5 considérese el siguiente ejemplo. Supóngase que una tarea común de inspección implica la radiografía de piezas fundidas de acero delgado, típicamente de 1/4 a 1 pulgada de grosor, y que se ha pedido la inspección de grietas en una pieza forjada de titanio, en una sección cuyo grosor es igual a 1/2 pulgada. Con referencia a

la tabla A.5 debe observarse que el factor de equivalencia para el titanio es de 0.54, para los 220 kV de que se dispone en el laboratorio. Para lograr una radiografía equivalente de esta nueva muestra, es necesario multiplicar su grosor, 1/2 pulgada por su factor de equivalencia, 0.54, a fin de obtener como resultado 0.27 pulgadas. En consecuencia, si la radiografía se tomara con los ajustes que normalmente se utilizan para la pieza de acero de 0.27 o aproximadamente de 1/4 de pulgada de espesor, debe producirse una radiografía equivalente a las que se suelen obtener con muestras de acero. (2).

Reportes.

En la segunda parte del presente anexo incluimos los reportes de la realización de algunos de los ensayos anteriormente descritos a los que tuvimos oportunidad de asistir, gracias a las facilidades prestadas por la empresa SIDAT, la cual se dedica a prestar este tipo de servicio (los Ensayos No destructivos) a las empresas que lo requieran.

TABLA A.1

TIEMPOS DE PENETRACION SUGERIDOS PARA PENETRANTES LAVABLES CON AGUA

MATERIAL	FORMA	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION (MIN)
Aluminio	Pzas coladas	Porosidad	5 a 15
		Traslapes	30
	Extrusiones y forjas	Falta de fusión y porosidad	30
		Todas	Grietas
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	15
		Traslapes	30
	Extrusiones y forjas	Falta de fusión y porosidad	30
		Todas	Grietas
Acero	Fundiciones	Porosidad	30
		traslapes	60
	Extrusiones y forjas	Falta de fusión y porosidad	60
		Todas	Grietas
Latón y Bronce	Fundiciones	Porosidad	10
		Traslapes	30
	Extrusiones y forjas	Falta de fusión y porosidad	15
		Partes soldadas	Grietas
Plásticos	Todas	Grietas	5 a 30
		Grietas	5 a 30
Herramientas de carburo	Todas	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
		Grietas	10
Cerámicas	Todas	Grietas	5
		Porosidad	5

TABLA A.2

TIEMPOS DE PENETRACION SUGERIDOS PARA PENETRANTES
REMOVIBLES CON SOLVENTE

MATERIAL	FORMA	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION (MIN)
Aluminio	Fundiciones	Porosidad	5
	Extrusiones y forjas	Traslapes	10
	Soldaduras	Falta de fusión	5
	Todas	Grietas	10
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	5
	Extrusiones y forjas	Traslapes	10
	Soldaduras	Falta de fusión	20
	Todas	Porosidad	20
Acero	Fundiciones	Porosidad	5
	Extrusiones y forjas	Traslapes	10
	Soldaduras	Falta de fusión	20
	Todas	Porosidad	20
Latón y Bronce	Fundiciones	Porosidad	5
	Extrusiones y forjas	Traslapes	10
	Partes soldadas	Falta de fusión	10
Plásticos	Todas	Grietas	5
Vidrio	Todas	Grietas	5
Herramientas de carburo		Falta de fusión	5
		Porosidad	5
		Grietas	20
Cerámica	Todas	Grietas	5
		Porosidad	5
Titanio y aleaciones de alta temperatura	Todas		20 - 30

TABLA A.3
PROPIEDADES ACUSTICAS

MATERIAL	VELOCIDADES DE ONDA (10^3 cm/s)		DENSIDAD (g/cm^3)
	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	
LIQUIDOS			
Aceite de condensador	1.432		-
Aceite SAE 20	1.74		0.87
Agua destilada	1.482		1.00
Benceno	1.326		0.879
Gasolina	1.25		0.803
Mercurio	1.451		13.546
SOLIDOS-METALES			
Acero 1020	5.89	3.24	7.71
Acero 4340	5.85	3.24	7.80
Acero Inoxidable	5.99	3.27	7.83
Hierro fundido	3.5 - 5.8	2.2 - 3.2	8.95 - 7.35
Aluminio	6.37	3.11	2.70
Cadmio	2.78	1.50	8.84
Cobre	4.75	2.37	8.93
Molibdeno	8.29	3.35	10.25
SOLIDOS-CERAMICOS			
Vidrio Crown	5.88	3.42	2.50
Porcelana	5.34	3.12	2.41
Concreto (hormigón)	4.25 - 5.25	-	2.60
Cuarzo natural	5.73	3.52	2.65
Grafito	4.21	2.03	2.25
SOLIDOS-POLIMEROS			
Acetato de celulosa	2.45		1.30
Baquelita	2.59		1.40
Caucho natural	1.55		1.12
Noepreno	1.73		1.42
Nylon	2.88		-
Polipropileno	2.85	1.30	0.91
Resina acrílica	2.67	1.12	1.18

TABLA A.4
SENSIBILIDAD RADIOGRAFICA

Sensibilidad Radiográfica	Mínimo grosor perceptible del penetrámetro (% del espesor de la pieza)	Mínimo diámetro perceptible de de agujero
0.7	1	1 T
1.0	1	2 T
1.4	2	1 T
2.0	2	2 T
2.8	2	4 T
4.0	4	2 T

TABLA A.5
FACTORES DE EQUIVALENCIA RADIOGRAFICA APROXIMADOS

METAL	NIVEL DE ENERGIA		
	100 kV	150 kV	220 kV
Magnesio	0.05	0.05	0.08
Aluminio	0.08	0.12	0.18
Aleación de Aluminio	0.10	0.14	0.18
Titanio		0.54	0.54
Hierro (aceros)	1.0	1.0	1.0
Cobre	1.5	1.8	1.4
Cinc		1.4	1.3
Latón		1.4	1.3
Inconel X		1.4	1.3
Monel	1.7		1.2
Zirconio	2.4	2.3	2.0
Plomo	14.0	14.0	12.0
Hafnio			14.0
Uranio			20.0

TABLA A.5
(Continuación)

METAL	NIVEL DE ENERGIA			
	250 kV	400 kV	1 MeV	2 MeV
Titanio		0.71	0.9	0.9
Hierro (aceros)	1.0	1.0	1.0	1.0
Cobre	1.4	1.4	1.1	1.1
Cinc		1.3		
Latón		1.3	1.2	1.1
Inconel X		1.3	1.3	1.3
Zirconio	1.7	1.5	1.0	1.0
Plomo			5.0	2.5
Hafnio	12.0	9.0	3.0	
Uranio	16.0	12.0	4.0	

INSPECCION POR RADIOGRAFIA

REPORTE

Objetivo:

Inspección y evaluación de la soldadura aplicada a tres recipientes cilindricos de diferentes dimensiones y espesores por medio del método radiográfico. Para la empresa Asesores Industriales S.A. de C. V. ubicada en la ciudad de México D. F.

Equipo:

Fuente radioactiva
Película radiográfica
Penetrámetros
Radiómetro
Cronómetro
Tabla de tiempo de exposición
Caracteres de plomo
Cinta adhesiva
Flexómetro
Lámpara portátil

Generalidades:

Una inspección por radiografía se puede realizar de tres formas, según las recomendaciones de las normas de la ASNT (American Society for Non Destruction Testing) que son las que se utilizan de manera general en México. Las cuales son:

1. Completa (Full). En la que se inspecciona todo el cordón de soldadura.
2. Inspección parcial (Spots). En la cual sólo se inspeccionan algunas zonas predeterminadas del cordón de soldadura.
3. No necesaria (None). Cuando se establece que no es necesaria una inspección radiográfica de la soldadura.

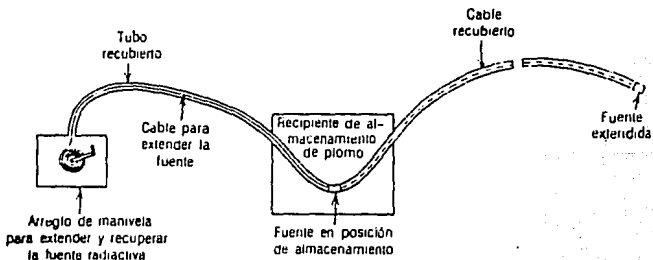
En este caso la inspección se realizó en la modalidad de inspección parcial (Spots).

Tipo de fuente: Emisor de rayos gamma.

Descripción de la fuente:

Fuente de tipo portátil, la cual consiste en una caja de plomo que contiene un elemento radioactivo (Iridio 192). La caja tiene conectado un tubo flexible en cada uno de sus extremos. Con el primero de los tubos por medio de un chicote se controla el desplazamiento del elemento radioactivo hacia el exterior de la caja de plomo utilizando una manivela situada en el extremo de dicho tubo, con lo cual se logra una distancia adecuada para el manejo del elemento radioactivo.

En el segundo de los tubos viaja de manera interna el elemento radioactivo desde la caja contenedora hasta el punto de emisión aumentando así la distancia entre el operador y el lugar de la toma radiográfica. Figura A.1



Película: Película radiográfica de densidad 7 cubierta con pantallas de plomo.

Datos que contiene la radiografía para su identificación:

- 1) Fecha de la toma
- 2) Nombre de la empresa contratante
- 3) Nombre de la empresa inspectora
- 4) Número de placa
- 5) Orientación de la placa
- 6) penetrómetro

Cabe aclarar que los nombres de las empresas que se incluyen en la placa se escriben en forma abreviada.

Desarrollo:

Los recipientes se encontraban en el taller en donde acababan de ser manufacturados, colocados en posición horizontal.

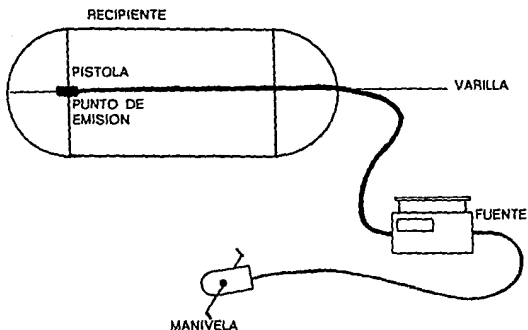
Para que la radiografía se tomará en la forma correcta la fuente se tenía que ubicar dentro del recipiente sobre su eje longitudinal y a la altura del cordón de soldadura, de tal forma que la radiación fuera equidistante a todo el cordón de soldadura. Figura A.2

El recipiente mayor (5000 lts) no permitía el acceso a su interior excepto por un orificio de 1 pulgada de diámetro en uno de sus extremos, por lo cual fué necesario colocar una varilla que sirviera como soporte para la pistola de la fuente (punto al que debe llegar el elemento radioactivo al momento de tomar la placa). Cabe mencionar que la colocación de esta varilla complicó la inspección ya que en el otro extremo del recipiente tenía soldado un pequeño tubo en ángulo recto y había que localizarlo desde el otro extremo del cilindro, la varilla misma no permitía una fácil manipulación debido a su longitud (aproximadamente 3 metros).

Los recipientes restantes (3500 y 1500 lts respectivamente) contaban con dos orificios, uno en cada extremo, esto y el hecho de que fueran de menor tamaño facilitaron la introducción de la varilla.

Una vez colocada la pistola de la fuente sobre la varilla en el punto adecuado (a la altura de la costura) se procedió a determinar las zonas que serían radiografiadas.

Por las dimensiones de los tanques y por el tipo de inspección (spots) se eligieron tres zonas por cordón, las cuales estaban espaciadas a la misma distancia una de otra.



Una vez elegidas las zonas se procedió a colocar los identificadores (los datos que contiene la radiografía escritos con los caracteres de plomo), con el fin de poder reconocer a cual zona y a que recipiente correspondía cada radiografía. Se colocaron en línea paralela al cordón de soldadura a una distancia aproximada de dos centímetros, fijados con cinta adhesiva; el penetrámetro se ubicó en posición perpendicular al cordón de soldadura.

Una vez realizado lo anterior se procedió a colocar las películas sobre las zonas elegidas cuidando que el cordón quedara al centro de la película y además cubriera todos los identificadores. Se realizó una toma de radiografía por cada cordón de soldadura, es decir, como cada recipiente contaba con dos cordones de soldadura a evaluar se realizaron seis tomas de radiografías, en las que para cada toma el procedimiento se tuvo que repetir.

Antes de activar la fuente de radiación para tomar la radiografía se calculó el tiempo que debía estar expuesta la película a la radiación para un buen registro de imágenes.

Este tiempo se obtuvo de una tabla considerando los siguientes factores:

- 1.- Material del recipiente (placa de acero)
- 2.- Espesor del recipiente (3/8 y 1/4 de pulgada)
- 3.- Tipo de radiación (Rayos gamma, Iridio 192, 100 Curies)
- 4.- Distancia del emisor de radiación al cordón (75, 50 y 37.5 cm respectivamente)

El tiempo calculado fué el siguiente:

Para el recipiente de 5000 lts fueron 7 minutos

Para los recipientes de 3500 y 1500 lts fueron 5 minutos

Hay que tener la precaución de poner a salvo todas las películas, las vírgenes y las ya utilizadas para evitar que éstas se dañen.

Posteriormente se procedió a evacuar la zona, se activó la fuente y se aleja el operador. La distancia segura de alejamiento la determina el radiómetro, se enciende y se aleja a una distancia en la que la lectura sea de 3 mr/hr o menos.

Pasado el tiempo de exposición se desactivó la fuente (retornando el elemento radioactivo a la caja contenedora) y se retiraron las radiografías recién tomadas y se procedió a preparar la siguiente toma.

Por cada cordón de soldadura se tomaron tres radiografías, cada recipiente tenía dos cordones y eran tres recipientes, por tanto se tomaron 18 placas radiográficas.

Por último se procedió al revelado de cada una de las placas en el correspondiente laboratorio para que posteriormente el inspector procediera a la interpretación.

INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS

Reporte

Objetivo:

Inspección de los domos de la caldera número 2 de la planta química de los laboratorios SYNTEX ubicada en la Cd. de Cuernavaca, Morelos.

Se inspeccionó al domo debido a que es en éste, en donde hay más posibilidades de que se presente agrietamiento debido a los esfuerzos de la tubería que desembocan en él.

Equipo:

1. Yugo ferromagnético
2. Lámpara de luz negra
3. Partículas magnéticas
4. Atomizador
5. Lijas
6. Extensión eléctrica (cable)

Generalidades :

El yugo ferromagnético utilizado tiene la posibilidad de trabajar con corriente alterna o corriente directa, en este caso se utilizó alterna.

Las partículas magnéticas utilizadas fueron fluorescentes de color verde en suspensión utilizando como medio de suspensión agua.

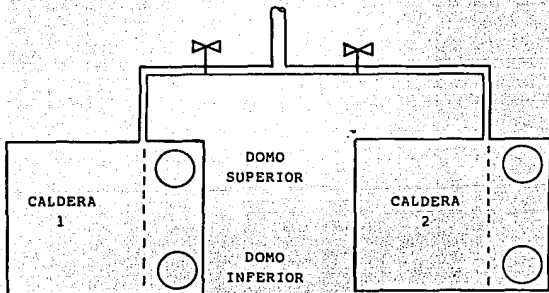
Condiciones de trabajo :

Los laboratorios SYNTEX de Cuernavaca, Morelos, cuentan con dos calderas conectadas en serie, lo que significa que comparten la misma tubería por donde fluye el vapor, sin embargo, puede ponerse fuera de servicio una sin que afecte el funcionamiento de la otra, dado que pueden aislarse por medio de válvulas.

Para realizar la inspección hubo necesidad de bloquear las válvulas de la caldera 2, dejarla enfriar (aproximadamente dos días) y posteriormente abrir las compuertas de la caldera y los domos. Sin embargo debido al mal estado de las válvulas no se pudo evitar el flujo de vapor por completo y debido a la presencia de dicho vapor no fué posible inspeccionar el domo superior.

El vapor circulaba por los tubos de convección y llegando al domo inferior, durante el recorrido se condensaba y caía en forma de gotas de agua que al juntarse formaban una pequeña corriente

de agua la cual hubo necesidad de sacarla para poder realizar la inspección, como el flujo de vapor era constante no se pudo secar por completo el interior del domo de tal manera que la inspección se realizó en un medio muy húmedo.



Selección de las zonas a inspeccionar.

Los domos son recipientes cilíndricos en posición horizontal, en los que se eligieron dos zonas en el interior para la inspección, la primera de ellas ubicada a un metro del extremo cerrado del domo y la segunda a la mitad del domo, ambas en el área de la tubería. Las zonas consistían en áreas circulares de aproximadamente 5 cm de diámetro.

A cada una de las zonas elegidas se les eliminó la acumulación de sales, de manera que quedara la superficie del metal expuesta, para lo cual se utilizó una lija.

La inspección corrió a cargo de dos inspectores trabajando simultáneamente.

El primero se encarga de aplicar las partículas magnéticas fluorescentes mediante un atomizador y de activar el campo magnético por medio del yugo, al mismo tiempo, el segundo se encargaba de alumbrar con la lámpara de luz negra y verificaba la integridad del domo.

A causa del agua presente en el interior del domo, al activar el yugo magnético para la inspección, los inspectores recibían descargas eléctricas pequeñas pero molestas, esto aunado a que el diámetro de los domos es muy pequeño (aproximadamente de 60 cm) y no permitían maniobrar en su interior. El desarrollo del ensayo tomo más tiempo y esfuerzo del esperado.

Como resultado de la inspección se encontró que los domos no mostraban agrietamientos y presentaban buenas condiciones para continuar con su funcionamiento normal.

Cabe mencionar que las calderas fueron construidas en 1957 por CE-REY S.A.

Medición de Espesores

Reporte

Objetivo:

Medir el espesor de la tubería de la caldera número 2 de la planta química de SYNTEX.

Con el fin de cuantificar el desgaste que ha sufrido la tubería de la caldera.

Equipo:

1. Pulidor
2. Medidor ultrasónico de espesores (manual)
3. Grasa
4. extensión eléctrica

Generalidades:

Dentro de la caldera, una vez destapada y enfriada, se procedió a pulir en tres pequeñas zonas diferentes cada uno de los tubos en los que transita el vapor de agua.

Para poder realizar la inspección hubo necesidad de colocar por medio de la extensión eléctrica un foco en la parte superior de la caldera al centro, lo que proporcionaba una iluminación suficiente para realizar la inspección.

El pulidor consiste en un pequeño esmeril eléctrico, el cual se utiliza para remover el hollín de la superficie de los tubos, con el fin de que el palpador del equipo ultrasónico pueda hacer un

buen contacto con el metal y la lectura sea la correcta. Al pulir la superficie debe de cuidarse de apenas llegar al metal del tubo para evitar dañarlo.

El área pulida debe ser un poco mayor del tamaño del cristal del palpador (aproxinadamente 1 cm^2). Sobre dicha área pulida se aplica un poco de grasa que será el acoplante.

Las áreas se eligieron de la siguiente manera; para cada uno de los tubos, la primera se ubicó a unos 20 centímetros del piso de la caldera (recubrimiento refractario), la segunda a la mitad de la altura de la caldera y la tercera a unos 20 centímetros del techo de la caldera. Generalmente también se verifica espesor de los tubos en las zonas donde tienen un cambio de dirección (doblez) y en el techo, sin embargo en este caso no se realizó porque la empresa SYNTEX no lo solicitó, a pesar de nuestra sugerencia.

Para el registro de las mediciones se procedió de la siguiente manera; los tubos se enumeraron de derecha a izquierda, tomando como referencia que el inspector estaba dando la espalda a la entrada de la caldera.

A continuación se procedió a la calibración del equipo por medio de su probeta de calibración y posteriormente se efectuó la medición.

En la medición, el inspector se colocaba de frente al tubo con el medidor de espesores en una mano y con la otra colocaba el palpador en la zona pulida, presionando fijamente alrededor de 4 segundos para que se estabilizara la lectura y finalmente otra persona era la encargada de ir anotando las mediciones.

Este tipo de trabajo se realiza de manera rápida, el resultado de las mediciones fué que en promedio la tubería había perdido 50 milésimas de su espesor, lo que significa que aún se encuentra en buenas condiciones para prestar servicio.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1) Plan de Estudios de la Carrera de
Ingeniería Mecánica Eléctrica
Publicaciones UNAM

- 2) Enclopedia de la Mecánica
Ingeniería y Técnica.
Robert L. Crane
Ronald Selmer
Ed. AFWAL/MLLP
1a. Edición 1990
España

- 3) Manual del Ingeniero
Hütte
Ed. Gustavo Gili S.A.
3a. Impresión 1980
Barcelona
Tomo 1

- 4) Nondestructive Testing
Warren J. McGonnagle
Ed. Gordon and Breach
Science Publications 1971 USA
Third Edition

- 5) Elementos de Ingeniería Nuclear
Glen Murphy
Ed. CECSA 1982
México

- 6) Química
Gregory R. Choppan
Bernard Jaffe
Ed. Publicaciones Cultural S.A.
México 1982

BIBLIOGRAFIA
(continuación)

- 7) Introducción a los Ensayos No Destructivos
Alfonso García Cueto
Ed. Ingeniería y Capacitación en
Ensayos No Destructivos
México 1992

- 8) Fundamentos del Corte de Metales y
de las Máquinas Herramientas
Geoffrey Boothroyd
Ed. McGraw Hill Latinoamericana S.A.
México 1978

- 9) Productividad y Optimización
Ingeniería de Manufactura
Daniel T. Koenig
Ed. Publicaciones Marcombo S.A.
México 1990

- 10) Tecnología de la Calderería
Uniones Provisionales y Permanentes
C. H. Lobjois
Ed. CEAC
Barcelona 1980
Tomo II

- 11) Ciencia de Materiales para Ingeniería
Carl A. Keyser
Ed. LINUSA
México 1982

- 12) Soldadura y Metalurgia
Guillermo Fernández Flores
Ed. CECSA
México 1986

BIBLIOGRAFIA
(continuación)

- 13) Métodos Experimentales para Ingenieros
Jack P. Holman
W. J. Gajda Jr.
Ed. McGraw Hill
México 1988

- 14) Tecnología de la Fundición
Dr. Ing. Eduardo Capello
Ed. Gustavo Gili
Barcelona 1974

- 15) Soldadura y Aplicaciones Prácticas
Henry Horwitz P.E.
Ed. Alfa Omega
México 1990

- 16) Acero para Herramientas
Frank R. Palmer
George V. Luerssen
Joseph S. Pendleton Jr.
Ed. Representaciones y servicios de Ingeniería
México 1986

- 17) Procesos de Manufactura
B.H. Amstead
Phillip F. Ostwald
Ed. Cía Ed. Continental SA de CV
México 1986

- 18) Ensayo e Inspección de los
Materiales en Ingeniería
Harmer E. Davis
George Earl Troxell
Clement T. Wiskocil
Ed. CECSA
México 1981

BIBLIOGRAFIA
(continuación)

- 19) Materiales para Ingeniería y
sus Aplicaciones
Richard A. Flinn
Paul K. Trojan
Ed. McGraw Hill
México 1991
- 20) Obtención y Aplicaciones
Industriales del Vacío
Pedro Egea Gill
Ed. Gustavo Gili
Barcelona 1973
- 21) Calderas: Tipos, Características
y sus Funciones
Carl D. Shield
Ed. CECSA
8a. Impresión
México 1979
- 22) Manual del Ingeniero Mecánico "Marks"
Theodore Baumeister
Eugene A. Avollone
Theodore Baumeister III
2a. Edición en Español
Vol. 1

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

- 1) NOM B-086-1981
Guía para examen radiográfico
No obligatoria
- 2) NOM B-124-1987
Práctica recomendada para la inspección
con partículas magnéticas
No obligatoria
- 3) NOM B-133/01-1988
Métodos de inspección con líquidos penetrantes
No obligatoria
- 4) NOM B133/02-1978
Métodos de inspección con líquidos
penetrantes (pruebas de fugas)
No obligatoria
- 5) NOM B-261-1990
Método de inspección ultrasónica
en planchas de acero
No obligatoria
- 6) NOM B-454-1988
Método para el examen ultrasónico
en forjas de acero de espesor grueso
No obligatoria
- 7) NOM B-405-1988
Inspección ultrasónica por el método
de contacto pulso -eco-haz recto
No obligatoria
- 8) NOM B-488-1988
Definición de términos relativos a
inspección con líquidos penetrantes
No obligatoria

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

- 9) NOM B-478-1990
Método para inspeccionar con partículas magnéticas, piezas forjadas de acero
No obligatoria
- 10) NOM B-011-1987
Método de inspección ultrasónica de tubos metálicos
No obligatoria
- 11) NOM B-012-1987
Método de inspección ultrasónica para soldadura longitudinal de tubos soldados
No obligatoria
- 12) NOM B-014-1987
Método de inspección con corrientes parásitas (corrientes de Eddy), con saturación magnética, de productos tubulares
No obligatoria
- 13) NOM B-049-1988
Definición de los términos empleados en los métodos de inspección ultrasónica
Obligatoria
- 14) NOM B-085-1990
Método de inspección electromagnética de corrientes parásitas (corrientes de Eddy) para tubos con o sin costura de acero austenítico, inoxidable y aleaciones similares
No obligatoria
- 15) NOM H-11-1988
Símbolos para soldadura y pruebas no destructivas
Obligatoria

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

- 16) NOM W-017-1981
Tubos de cobre-Determinación
electromagnética con corrientes parásitas
Método de prueba
No obligatoria

- 17) NOM W-117-1982
Recubrimientos no conductivos sobre bases
metálicas no magnéticas - Medición
del espesor de recubrimiento -
Método de corrientes de Eddy
No obligatoria

- 18) NOM H-67-1987
Términos y definiciones empleados en radiografía
con rayos X y Gamma
No obligatoria

- 19) NOM B-482-1991
Capacitación, Calificación y Certificación
de personal de Ensayos No Destructivos