

11
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN



**"APLICACION DE LOS ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS PARA EVALUAR
LAS CONDICIONES ACTUALES DE
LOS EQUIPOS E INSTALACIONES
DEL SISTEMA DE TRANSPORTE
COLECTIVO METRO."**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO
E L E C T R I C I S T A
P R E S E N T A N :

ALBERTO ISAAC BARRON MANCILLA
PABLO SERGIO RIVERA HERNANDEZ

Asesor: Ing. Javier Nava Perez

MEXICO

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

GRACIAS:

**Dios mío, por darme la existencia
y permitirme llegar a este momento
de mi vida.**

A mis Padres:

**Ramón Barrón Hernández
Teresa Mancilla García**

**Gracias por darme un hogar, por estar conmigo
siempre, brindándome su apoyo en todos los
aspectos.**

**Por su amor, comprensión, ejemplo y por todo
aquello que con palabras no les alcanzo a
agradecer. Los amo. Dios los bendiga.**

**A mis hermanos.
Eduardo, Hector y Olivia**

**Quienes son parte fundamental
en mi vida, mi familia.
Por su cariño y apoyo. Gracias.**

A mi Esposa

Angélica Hernández Paredes.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, y demás Instituciones que han hecho posible mi formación como profesionista. Gracias a cada uno de los profesores que al brindar su tiempo a tan noble labor, compartiendo sus conocimientos, contribuyeron a alcanzar esta meta.

AL ING. JAVIER NAVA PÉREZ

Como muestra de profundo agradecimiento a mi Gran Maestro de Profesión. Con cariño, admiración y respeto.

A quien además de brindarme la oportunidad de iniciar mi formación como ingeniero, me ha manifestado su apoyo profesional en todo momento.

GRACIAS:

**Dios mío, por darme la existencia
y permitirme llegar a este momento
de mi vida.**

A mis Padres:

**Rivera López Lucio
Hernández Cedillo Amelia**

**Gracias por darme un hogar, por estar conmigo
siempre, brindándome su apoyo en todos los
aspectos.**

**Por su amor, comprensión, ejemplo y por todo
aquello que con palabras no les alcanzo a
agradecer. Los amo. Dios los bendiga.**

**A mis hermanos.
Araceli, Fernando, Angeles, Jorge
Yolanda y Lucia**

**Quienes son parte fundamental
en mi vida, mi familia.
Por su cariño y apoyo. Gracias.**

A mi Esposa

Martha Eréndida Miranda Montoya

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, y demás Instituciones que han hecho posible mi formación como profesionista. Gracias a cada uno de los profesores que al brindar su tiempo a tan noble labor, compartiendo sus conocimientos, contribuyeron a alcanzar esta meta.

AL ING. JAVIER NAVA PÉREZ

Como muestra de profundo agradecimiento a mi Gran Maestro de Profesión. Con cariño, admiración y respeto.

A quien además de brindarme la oportunidad de iniciar mi formación como ingeniero, me ha manifestado su apoyo profesional en todo momento.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
DESCRIPCIÓN DE LOS CARROS DESTINADOS AL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.....	6
1.1. CARRO UTILIZADOS DESDE 1968.....	6
1.2. BOGIES Y PARTES FUNDAMENTALES	8
1.3. VÍAS Y SUS ELEMENTOS.	16
1.4. OBRA CIVIL GENERALIDADES	23
CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	
2.1. INSPECCIÓN VISUAL	28
2.2. LÍQUIDOS PENETRANTES	31
2.3. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	46
2.4. TERMOGRAFÍA	64
2.5. ULTRASONIDO.....	72
2.6. RADIOGRAFÍAS	85
2.7. PRUEBAS PROPUESTAS PARA LA OBRA CIVIL DE SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.	96
CAPÍTULO III	
3.0. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	100
3.1. APLICACIONES	105
3.1.1. PARA EL CHASIS O H.....	111

3.2 PARA MASAS DE RUEDAS PORTADORAS.....	113
3.3. PARA VÍAS Y SUS ELEMENTOS	115
CAPÍTULO IV	
COSTOS.....	120
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES	126
GLOSARIO	133
ANEXOS.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	180

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del crecimiento demográfico la demanda de transporte público se ha ido incrementando de manera continua, ya que desde los años 60's los problemas de transporte, tránsito y contaminación eran evidentes en la ciudad de México.

Antes este panorama de crecimiento, durante el periodo de los años 1960 - 1967, se planeó la creación de un nuevo medio de transporte colectivo, seleccionándose lo más moderno que existía en la fecha en que fue ordenado (1967-1968). Buscando que satisficiera las necesidades de transporte de tan creciente población.

Este nuevo medio de transporte fue el Sistema de Transporte Colectivo (Metro), que desde su origen fue construido con características operacionales, tales que proporciona un servicio eficiente, masivo, no contaminante, económico y seguro. Convirtiéndose desde entonces en el transporte de mayor demanda y accesible a todo el público usuario.

El metro de la ciudad de México, transporta actualmente a poco mas de cinco millones de usuarios, durante todos los días del año. Esto significa que los trenes, vías y demás infraestructura deben mantenerse en óptimas condiciones operacionales bajo un estricto programa de mantenimiento. De tal forma que durante el tiempo que lleva de servicio el S.T.C. Metro, se ha programado un cambio periódico de algunas piezas que por características operacionales su vida es muy corta o surgen algún fenómeno y por tal motivo se cambian, sin embargo por una encuesta realizada en las diferentes áreas que componen este organismo, existen elementos que han sido relegados en su mantenimiento, como la masa de la red portadora, chasis o H en

el material rodante; barra guía y riel de seguridad en las instalaciones fijas y así mismo los túneles de la obra civil entre las más importante, anteponiendo a esto que son costosas y que se destina pocos recursos económicos para mantenerlas en óptimas condiciones operacionales.

De esta manera al no darles la importancia requerida las líneas, 1, 2 y 3 así como los trenes MP 68, NM 73A y NM 73 B y el encontrarse con más de 27 años de servicio involucra un envejecimiento y deterioro de las piezas antes mencionadas, que ponen en peligro que las discontinuidades aceptables en las mismas, rebasen los límites permitidos y con esto un número creciente de fallas que desequilibran la operación y servicio, teniendo como consecuencia retrasos excesivos, costos por mantenimiento y en algunos casos la pérdida de vidas humanas. Por tal motivo esta Tesis es un llamado a las autoridades del S.T.C. Metro a prestar atención a los elementos antes descritos para evitar los posibles incidentes, ya que como veremos más adelante éstas fallas están consideradas en el departamento de fallas varios y que estadísticamente están creciendo por que el tiempo de vida útil para muchos de los casos han rebasado su límite. Consideramos entonces necesaria una evaluación que nos muestre el estado real de algunas partes de las instalaciones y equipos que son utilizados para dar servicio al S.T.C. Metro, sin que ello implique la destrucción, deterioro o desmontaje de las piezas, ya que esto implicaría movimientos operacionales en tiempos de arribo y de salida de los trenes. Por que actualmente circulan un promedio de 43 carros por línea y el estarlos sometiendo a estudios prolongados significaría el retraso de miles de usuarios y con ello grandes trastornos de vialidad y desplazamiento. Para ello se han seleccionado a los ensayos no destructivos los cuales no afectan ni la conformación, ni la constitución física de un componente, es decir antes y después del ensayo no destructivo la pieza conserva su estado inicial además de que nos proporcionan los siguientes beneficios.

- Proporcionan un control de inspección de partes o materiales.
- Determinan su calidad con base a una norma o especificación que predice su comportamiento en operación.
- Son herramientas para diagnosticar y determinar condiciones adecuadas para las etapas de mantenimiento.

Así esta tesis es una propuesta de valoración por medio de los ensayos no destructivos (END) para evaluar los componentes antes mencionados que actualmente operan en dicho sistema. La selección de los elementos fue realizada en los talleres de las áreas afines, para el material rodante en talleres de revisión general ubicado en Zaragoza y Ticoman, así como en talleres de mantenimiento menor Zaragoza, Ticoman, Taxqueña y Rosario, para instalaciones fijas, en Zaragoza y en las diversas permanencias ubicadas para este aspecto, en Pino Suarez línea 1, Chabacano línea 2, Frayservando Teresa de Mier línea 4, y para la obra civil en el departamento de obras ubicado en la estación Revolución de la línea 2.

En el capítulo I hacemos una breve descripción de los elementos que componen a los trenes, vías, así como de obra civil que opera en el S.T.C. Metro.

El capítulo II se hace mención de las técnicas de los Ensayos No Destructivos, que tomaremos como base para la valoración de las partes y piezas que se seleccionaran para nuestro estudio. Buscando dejar claro la metodología con la que operan cada uno de ellos.

El capítulo III es una propuesta de evaluación mediante la aplicación de los E.N.D. más afines, con el objetivo de aplicar todas las ventajas que nos ofrecen estas técnicas en nuestra valoración.

El capítulo IV contienen una estimación económica de la aplicación de nuestro estudio e intentamos comparar el costo si no se aplicasen dichos estudios.

En el capítulo V desarrollamos nuestras conclusiones y comentarios.

Finalmente se encuentra el anexo, donde se dan algunas gráficas y tablas que se utilizan en el empleo de los Ensayos No Destructivos, así como la definición de términos poco comunes.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LOS CARROS DESTINADOS

AL

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO

METRO.

CAPÍTULO I

1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS CARROS UTILIZADOS EN EL S.T.C. METRO EN LAS LÍNEAS 1, 2 Y 3.

El metro de la ciudad de México, es operado con un material rodante cuya característica principal es la de asegurar su guiado por medio de ruedas neumáticas sobre una vía especial permitiendo lograr:

- 1.- Mayor confort para los pasajeros, ya que reduce el ruido y los movimientos laterales bruscos de los carros.
- 2.- Elevar considerablemente el número de pasajeros transportados por hora, ya que el material rodante permite mayores aceleraciones y desaceleraciones en los trenes, permitiendo de esta manera disminuir el intervalo de tiempo entre trenes y aumentando el número de estos que pueden circular en una línea.
- 3.- Evitar problemas al vecindario al aminorarse la transmisión de ruidos y vibraciones a los edificios contiguos de las diferentes líneas.
- 4.- Mayor vida útil del equipo.

El tren consta de tres elementos, cada elemento está formado a su vez por dos carros motrices y un remolque; de esta forma está constituido de nueve carros, dos motrices M con cabina de conducción, cuatro motrices sin cabina N y tres remolques R, uno de ellos con pilotaje automático PR, que para un mejor funcionamiento se

ubican en medio de los motrices. Siendo cada una de estas unidades incapaz de funcionar por sí sola, en la figura I.1.A se ilustra la configuración de un tren.

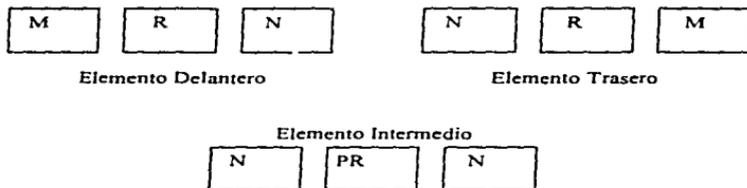


Figura I.1.A

A continuación se da una síntesis de las dimensiones, pesos y capacidades de los carros:

Dimensiones:

Longitud de un carro motor con cabina entre planos de enganche.	17.18 Mts.
Longitud de un carro motor sin cabina o de carro remolque entre planos de enganche.	16.18 Mts.
Anchura todo incluido	2.50 Mts.
Altura total sobre el riel (peso propio del carro y neumáticos nuevos).	3.60 Mts.
Altura del piso sobre el riel (peso propio del carro neumáticos nuevos).	1.20 Mts.

Longitud entre los ejes de los pivotes.	11.00 Mts.
Peso libre entre las puertas (4 por lado)	
Altura	1.87 Mts.
Anchura	1.30 Mts.

Pesos:

Carro M	25 400 Kgs.
Carro N	24 600 Kgs.
Carro R	20 000 Kgs.

Capacidad:

Tipo de Unidad	# de pasajeros			Peso de pasajeros Aprox. 70 Kgs. c/u
	sentados	parados	total	
M	38	132		11900
N	39	131		11900
R	39	131		11900

1.2. LOS BOGIES.

El material rodante está dotado de dos tipos de bogies, motores y portadores, contruidos ambos con el mayor número de piezas comunes y teniendo como elementos principales:

1. Un chasis
2. Dos ejes
3. Cuatro ruedas metálicas auxiliares

4. Cuatro ruedas portadoras con neumáticos
5. Cuatro ruedas guías con neumáticos
6. Suspensión primaria
7. Suspensión secundaria
8. Pivote
9. Frenos.

En caso de los bogies Motores, además de lo antes descrito:

- Dos puentes motores
- Dos motores eléctricos de tracción
- Escobillas de toma y regreso de corriente.

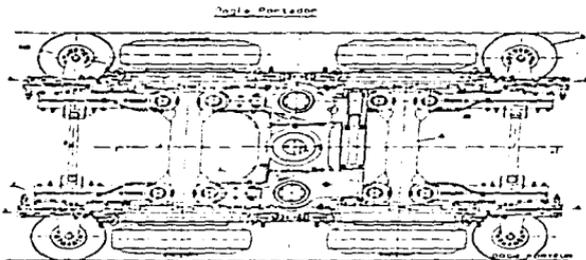
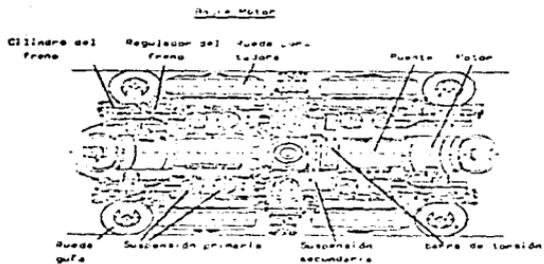
CHASIS DEL BOGIE.

El chasis del bogie tiene la forma de una H, y está compuesto por dos largueros tubulares formados cada uno por dos perfiles conformados en U; estos dos largueros están unidos por un travesero central constituido por dos piezas dispuestas de tal forma, que ensambladas junto con los largueros hacen la caja central del bogie donde se aloja el pivote.

En la figura II.2-A se ilustra:

a) Un bogie motor, b) Un bogie portador y c) Un chasis del bogie; en seguida se da una breve descripción de los elementos principales.

Figura II.2 -A



EJES.

Existen dos tipos de ejes, los motrices y los portadores; los motrices forman parte del diferencial al cual son acoplados los motores de tracción y los portadores giran libremente, estos ejes portan las ruedas metálicas auxiliares y las neumáticas portadoras. En los ejes motores un motor se fija directamente sobre una brida del diferencial de cada uno de los puentes.

RUEDA METÁLICA AUXILIAR.

Esta rueda es más ligera que las ruedas clásicas de ferrocarril aunque tienen la misma forma, en funcionamiento normal la rueda no entra en contacto con el riel, a excepción de los cambios de vía y es utilizada como tambor de freno. En caso de pérdida de presión en los neumáticos portadores la rueda metálica auxiliar asegura el correcto rodamiento o guiado.

RUEDAS PORTADORAS NEUMÁTICAS.

Son las que soportan el peso del carro y están construidas especialmente para el Metro; son infladas con nitrógeno (gas poco activo para evitar explosiones por calentamiento), a una presión de 9 kgs / cm² (123.8 Lbs / pulg²), para llantas motrices y de 6.5 kgs / cm² para los remolques.

RUEDAS GUÍAS O NEUMÁTICOS.

El guiado del bogie se asegura por medio de 4 ruedas horizontales, provistas de neumáticos dispuestas en sus extremos y rodando sobre la cara vertical de una pista. Esta disposición contribuye a acrecentar el confort de los pasajeros anulando

el juego de la vía y por consecuencia los movimientos transversales y trepidatorios de los carros. Estos neumáticos también son inflados con gas Nitrógeno a una presión de 10 Kgs / cm².

SUSPENSIÓN PRIMARIA.

Las orejas del diferencial del eje motor, o cuerpo central del eje portador poseen unos tacos elásticos que junto con la elasticidad de las ruedas neumáticas constituyen la suspensión primaria. Estos tacos son de caucho relativamente duro y son necesarios para dar y mantener el alineamiento del rodaje, para permitir el cambio rápido y fácil de los ejes. Siendo las ruedas portadoras elásticas, no es necesario dar a los tacos una mayor elasticidad. Contrariamente a lo acostumbrado, el chasis del bogie está dispuesto bajo los ejes con el doble objeto de abatir el punto de articulación del pivote y de reducir la altura del piso a la caja.

PIVOTE.

Contrariamente a lo que sucede en la mayor parte del material ferroviario, el pivote del material rodante no transmite carga vertical alguna de la caja del bogie. El pivote no transmite más que esfuerzos prácticamente horizontales, esto comprende esencialmente que:

a) El cuerpo del pivote, está unido rígidamente a la caja y en su parte inferior termina con una rótula macho esférica de acero.

b) La camisa cilíndrica, solidaria del bogie por intermedio de un flexiblok de gran tamaño dentro del cual se desliza verticalmente la rotula hembra. El fondo de la camisa es cerrado con el objeto de formar un baño de aceite.

El pivote del material rodante con neumáticos se caracteriza por el bajo punto de aplicación de los esfuerzos horizontales entre la caja y el bogie. Este punto se ha dispuesto lo más cerca posible del plano de rodamiento con el propósito de reducir las sobrecargas a los ejes durante el arranque y el frenado.

SISTEMA DE FRENOS.

El material rodante está equipado con un sistema de freno neumático normal y freno de inmovilización, actuando ambos con zapatas de madera sobre las ruedas metálicas auxiliares. El freno normal es un sistema de freno neumático con control eléctrico, que actúa a todo lo largo del tren. Por razones de economía, se escogió el freno de zapatas con balatas de madera, en lugar de freno de tambor tipo automotriz; las zapatas son accionadas por varillaje sobre el cual actúa un cilindro de aire de 5 pulgadas. Existen cuatro cilindros de freno por bogie montados en las cuatro esquinas del chasis y asegurando independientemente el frenado de una rueda por dos zapatas.

PUENTE MOTOR.

Estos puentes son similares a los puentes traseros de los camiones, y como ellos, aseguran las siguientes funciones:

- Reparte sobre las ruedas el peso de la carga recibida por el bogie.**
- Transmitir el par motor a las ruedas por medio de un reductor diferencial.**
- Transmite al chasis del bogie los esfuerzos de arranque y de frenado.**

Cada puente motor comprende:

-Una coraza, en una o varias piezas la cual presenta dos orejas para el montaje de la suspensión primaria (conexión con el chasis), y una brida destinada a fijar el motor de tracción.

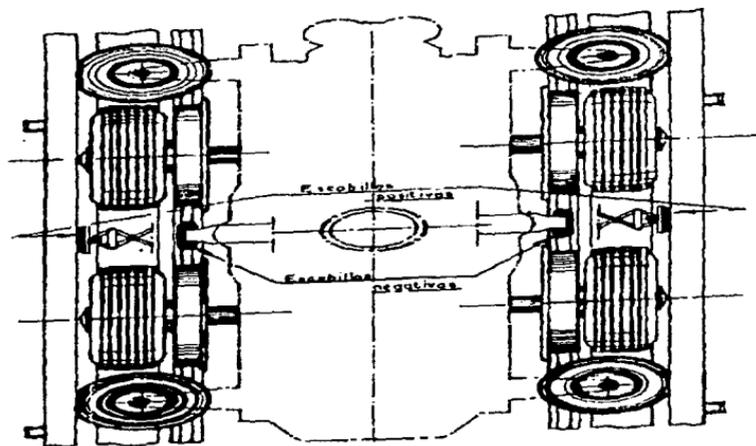
- Dos fundas tubulares de acero especial de alta resistencia.

- Dos semi-ejes de acero especial de alta resistencia.

- Dos masas de acero fundido montadas sobre baleros de rodillos; en cada una de ellas están montadas una rueda de seguridad y una rueda portadora neumática.

- Un reductor diferencial unido por una parte al motor con un acoplamiento elástico y por la otra parte a las masas por los dos semi-ejes. (Ver figura II.3).

Figura II.3



I.3. VÍAS Y SUS ELEMENTOS.

GENERALIDADES.

Ahora conoceremos las características y la función particular de cada elemento que componen la estructura de la vía: primeramente tenemos la barra guía, que como su nombre lo indica permite guiar al tren por medio de la rueda guía, ésta es un pequeño neumático colocado horizontalmente y por la posición evita movimientos bruscos. La barra proporciona principalmente la energía eléctrica de 750 Volts., necesaria para el funcionamiento de sus motores y equipos.

Sobre la pista de rodamiento circula la rueda portadora, la cual es el neumático principal, pues soporta todo el peso de los carros, y entre éstas se encuentran las escobillas positivas que toman la energía de la barra guía. Existe un riel de seguridad, éste asegura el sistema de rodamiento y guiado del tren en caso de pinchadura de algún neumático y se apoya en la rueda de seguridad. Finalmente se observan los durmientes, donde van fijos los soportes aislantes de la barra guía, la pista de rodamiento y los rieles de seguridad. Los durmientes están colocados sobre una capa de piedras trituradas llamadas balasto; cuya función es de nivelar y ajustar la vía, así como de eliminar ruidos producidos por los trenes evitando dañar la estructura del túnel.

ESFUERZOS SOPORTADOS POR LA VÍA.

Los esfuerzos soportados por la vía son:

- El peso del material rodante.
- Los esfuerzos longitudinales desarrollados durante la aceleración o desaceleración y durante la circulación a velocidad constante.

- La fuerza centrífuga provocada por la circulación del material rodante sobre un tramo curvo, aumentan cuando el radio de la curva disminuye o cuando la velocidad se incrementa. Para compensar parcialmente la acción de la fuerza centrífuga, el riel de rodamiento de radio mayor, se ubica en una posición más alta que el riel de rodamiento de radio menor.

La velocidad máxima de los trenes está fijada de tal manera, que el esfuerzo lateral transmitido a las barra guía es el resultado de la acción combinada de la fuerza centrífuga y de la gravedad, tomando en cuenta que el peralte no sobrepase cierto límite.

BARRAS GUÍA.

La barra guía está hecha de ángulo de acero dulce fundido en tramos de 18 metros de largo, soldados entre sí por el procedimiento aluminio-térmico o con soldadura eléctrica. Las dimensiones de sus lados son: cara vertical 152.4 mm., cara horizontal 101.6 mm., espesor 22.2 mm y peso de 40.4 kilogramos por metro, debe cumplir con un alargamiento de hasta un 30%.

Las barra guía se sujetan a unos aisladores por medio de tres tuercas que se atornillan en pernos soldados en el interior de la cara vertical de la barra guía por el procedimiento NELSON. Además de introducir una cuña llamada permanente, ésta se introduce entre la cabeza de aislamiento y el lado vertical del ángulo. (Ver figura I.3-B).

A fin de evitar accidentes al personal o corto-circuito que pudieran provocar la caída de objetos metálicos en la vía, la barra guía está protegida. Esta protección

está asegurada en las partes de vía equipadas con pilotaje automático, por la canaleta que aloja los programas y que cubre el plano horizontal de la barra guía.

En el caso de no existir la canaleta del pilotaje automático, la protección se realiza por medio de una cinta aislante de 3 milímetros de espesor de cloruro de polivinilo, que cubre el lado horizontal de la barra guía en la parte superior.

RIELES DE SEGURIDAD.

Los rieles de seguridad están constituidos por tramos de 18 metros soldados entre sí, ya sea por el procedimiento aluminio-térmico o por medio de soldadura eléctrica. Las longitudes de los tramos soldados varían de 36 a 108 metros (2 a 6 tramos de 18 metros) según el tipo de implantación de la vía.

La parte superior del riel se denomina "hongo", la parte media "alma" y la inferior patín (ver figura I.3-A). En los rieles existe un 28% de alargamiento.

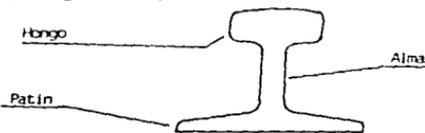


Figura I.3-A

En tramos de vía normal, en talleres y terminales se utiliza un riel de 80 ASCE (80 libras por yarda = 39,63 kilogramos por metro). En ocasiones se utiliza un riel de tipo 100 ASCE para absorber las diferencias de altura del riel de 80 ASCE. La unión entre ambos tipos de rieles se realiza por medio de un riel de enlace mixto 100/80 ASCE, articulado en sus extremos el tipo requerido de riel.

PISTA DE RODAMIENTO.

Las pistas de rodamiento metálicas, son tramos de 18 metros de longitud de laminado especial en I, de alas anchas, peso de 68.4 kilogramos por metro lineal, soldados entre sí por el procedimiento Aluminio-Térmico o por medio de soldadura eléctrica, las longitudes varían entre 36 y 108 metros (2 a 6 tramos de 18 metros), según el tipo de implantación de la vía y con la propiedad de poderse alargar hasta un 28%.

La pista de rodamiento se fija a los durmientes por medio de pernos tirafondos a razón de dos de ellos en cada durmiente, uno de cada lado de la pista (ver figura I.3-B)

DURMIENTES.

Los durmientes tienen por objeto soportar las cargas que se desarrollan en las pistas de rodamiento, los rieles de seguridad. Además en algunos, los esfuerzos producidos en los aisladores de la barra guía. Su función principal es la de transmitir al balasto dichas cargas y esfuerzos.

Los durmientes efectúan el siguiente papel:

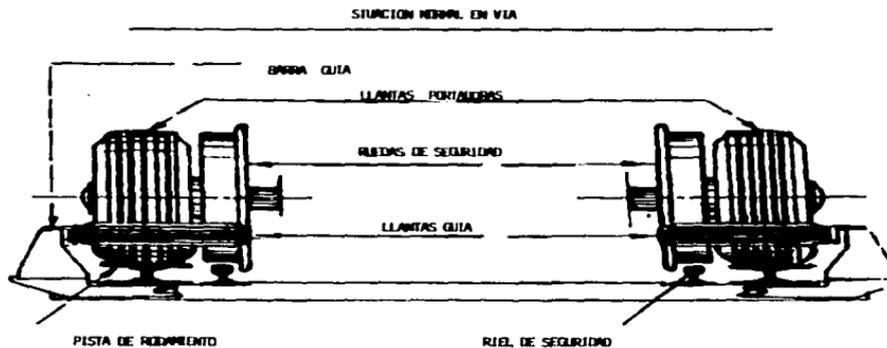
- Transmisión de cargas del riel al balasto.
- Mantener la entrevía entre los rieles.
- Mantener inclinación de $1/20$ del riel.

Se llama espaciamiento de los durmientes, a la distancia entre ejes de los dos durmientes consecutivos. En línea recta y en curvas de radio superior a 360 m., el espaciamiento de los durmientes es de 75 cm.. En curvas de radio inferior a 360m., el espaciamiento es de 60 cm., el cual debe ser medido en el borde exterior o radio mayor (ver figura I.3 - C)

BALASTO.

El balasto está constituido de grava de río o piedra triturada. Tiene como objetivo:

Figura I.3 - B

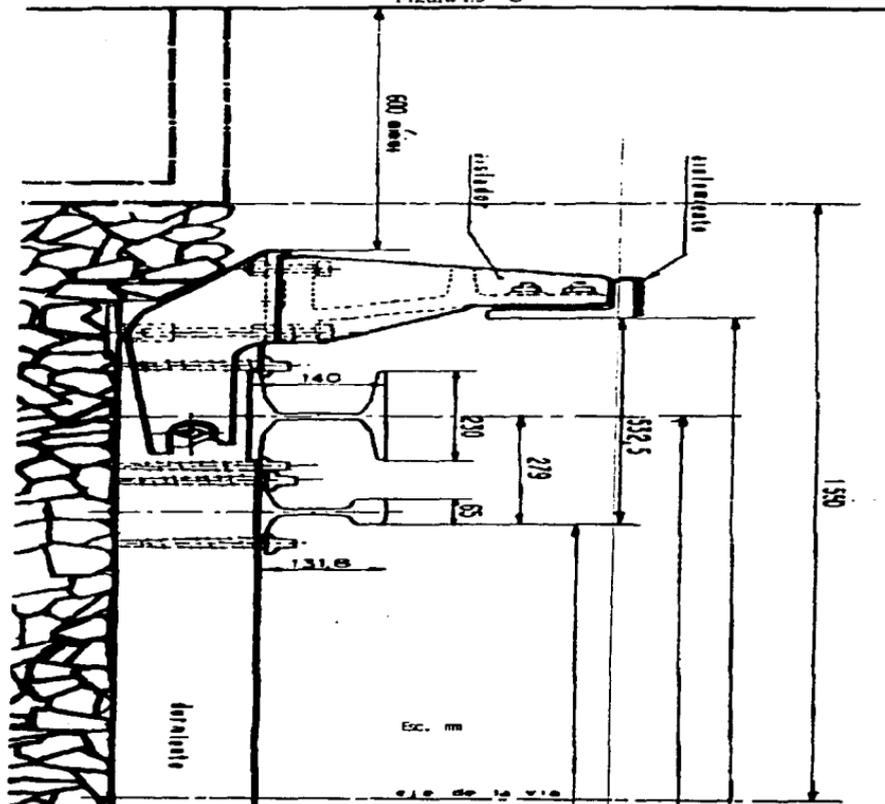


- 1.- Asegurar la repartición de cargas concentradas a la plataforma de la carga que recibe de los durmientes.
- 2.- Retener los desplazamientos de la Vía.
- 3.- Asegurar el drenaje y las infiltraciones de aguas.
- 4.- Amortiguar las vibraciones.
- 5.- Facilitar la rectificación rápida del nivelamiento y del trazo.

Debido a los asentamientos y movimientos sísmicos que se producen en la ciudad de México, se hace necesaria la utilización de balasto ya que éste permite realizar nivelaciones periódicas de la vía.

El espesor de la capa de balasto es variable en las curvas pero se mantiene más o menos constante en los tramos rectos en donde llega a medir 40 y 45 centímetros bajo los durmientes (ver figura I.3 -C)

Figura I.3 - C



I.4 OBRA CIVIL GENERALIDADES.

El plan maestro del Metro como parte del plan rector de vialidad y transporte, elaborado por el Departamento del Distrito Federal, viene a constituir lo que se ha llamado la columna vertebral del sistema de transporte en la ciudad de México, proporcionando soluciones permanentes a dicho problema.

Estas soluciones se dan a partir del periodo de los años 1969 - 1970, cuando se construyeron tres líneas básicas que describiremos a continuación.

- Línea 1, con un recorrido de Oriente a poniente, va desde la calzada Ignacio Zaragoza (estación metro Zaragoza), hasta la avenida Observatorio en Tacubaya, (estación metro Tacubaya). Con una extensión de 17 kms.. Esta línea es subterránea y cuenta con 18 estaciones.

- Línea 2, con una proyección Poniente - Oriente, conecta Tacuba con el Zócalo para continuar al sur hasta Taxqueña. Tiene una extensión de 19 kms., de los cuales 9 kms. son de vía superficial y el resto subterránea; cuenta con 22 estaciones.

- Línea 3, con trazo de Norte a Sur, va del conjunto habitacional Tlatelolco a Hospital General, contaba con 6 kms. de extensión totalmente subterráneas y con 7 estaciones.

Existiendo tres estaciones de correspondencia; Pino Suarez (línea uno con línea dos), Balderas (línea uno con línea tres), e Hidalgo (línea dos con línea tres).

Actualmente la red se encuentra modificada, sin embargo se hace hincapié en estas tres líneas ya que son las de mayor demanda, así como las de más tiempo de vida. Por lo tanto han sufrido un sin número de fenómenos, por lo cual es pertinente llevar a cabo un estudio que nos garantice una condición aceptable para su uso. Sabiendo que para el análisis y diseño de las estructuras se aplica el reglamento para

construcciones del Departamento del Distrito Federal, excepto en los casos donde el tipo de estructura en estudio quede fuera del alcance de dichas especificaciones. Para estas situaciones se emplean otros reglamentos tales como: ACI, AISC, ASTM, AASHTO, AWS, especificaciones de construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

En las líneas y en las estaciones se emplea concreto con resistencia $f'c=200\text{Kgs./cm}^2$, que es la mínima especificada para estructuras. Este tipo de concreto se usa debido a que los espesores de losas y muros son considerables por necesidades de compensación del peso del terreno excavado.

En general, se emplea acero de refuerzo de alta resistencia, con límite elástico mínimo de $4,000\text{ Kgs./cm}^2$, siendo las principales cargas a considerar:

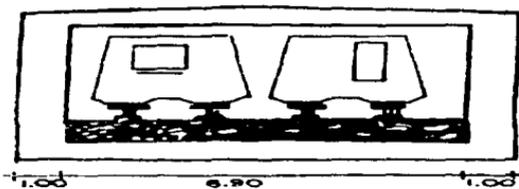
- 1.- Los empujes de la tierra y los hidrostáticos que dependen de la profundidad de la excavación.
- 2.- Las sobrecargas ocasionadas por edificios vecinos a la construcción, así como por el equipo de trabajo y material almacenado, tienen gran importancia.

De la obra civil se propone analizar aspectos importantes como son, la corrosión del concreto, el agrietamiento y las filtraciones de aguas, ya que estas pueden producir fallas en las zonas de carga, las cuales están distribuidas en las estaciones de ascenso y descenso de usuarios, túneles en sus diferentes tipos como:

- a) Cajón a cielo abierto
- b) Cajón entre muros ademe
- c) Cajón construido entre muros ademe integrados a la estructura
- d) Tramo superficial

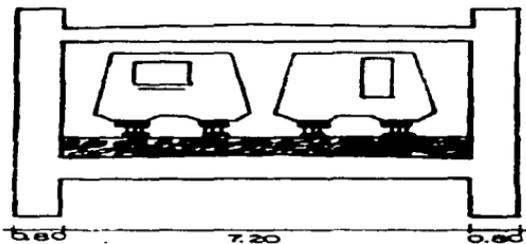
Los cuales se ilustran a continuación.

0.15
0.55
4.80
0.10
0.80



CAJON CONSTRUIDO A CIELO ABIERTO

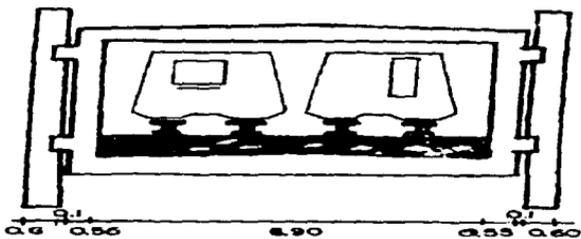
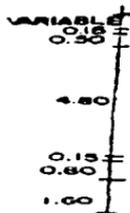
VARIABLE
0.15
0.55
4.80
0.15
1.00
1.60



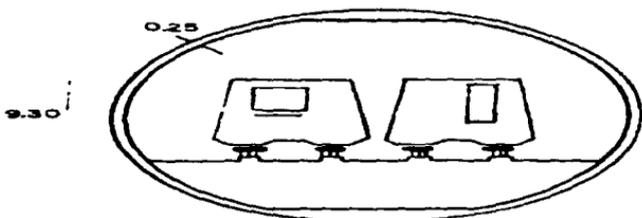
CAJON CONSTRUIDO CON MURD ADOS
INTEGRADOS A LA ESTRUCTURA



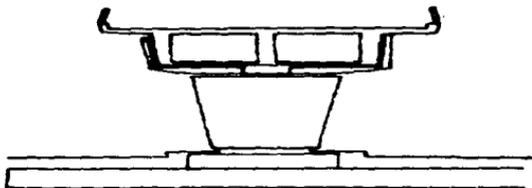
TRENDO SUPERFICIAL



CANON CONSTRUIDO ENTRE MUROS ADEME



TUNEL CON ESCUDO



TRAMO ELEVADO

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

DE LOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

CAPÍTULO II

II.1. INSPECCIÓN VISUAL.

II.1.1 GENERALIDADES.

Es el ensayo más elemental y se incluye en primer término de todos los Ensayos No Destructivos, con la finalidad de encontrar defectos en las piezas, tales como: defectos de fabricación, fallas de origen, grietas, fisuras inadecuadas, etc., directamente en la pieza a inspeccionar.*

II.1.2 APLICACIONES.

La inspección visual es usada siempre para determinar condiciones de superficie, alineamiento de superficies acopladas, formas o evidencias de fuga en piezas o componentes; y se debe considerar para la ejecución de ésta técnica, la accesibilidad, iluminación y ángulo de visión. La aplicación de este ensayo es muy extenso, se aplica a piezas sometidas a esfuerzos, piezas sometidas a cambios de temperatura, tuberías, a polímeros y cerámicos así como a accesorios de maquinaria y en partes en general.

II.1.3. LIMITACIONES.

1.- La certeza o grado de confiabilidad depende de la basta experiencia y conocimiento en la materia del examinaron, así como el tipo de resolución de los equipos auxiliares.

* Consultar anexo de Normas.

- 2.- El dictamen del examen no es exacto si las condiciones del área de trabajo no es la adecuada.
- 3.- Debe tener consideraciones importantes como la accesibilidad, iluminación y ángulo de visión tanto para el examinador como para equipos auxiliares cuando se requieran.
- 4.- No da dictámenes permanentes.

II.1.4. VENTAJAS.

- Bajo costo.
- Se pueden corregir malos procedimientos durante operaciones de mantenimiento (correctivo o preventivo)
- Es de muy fácil aplicación.
- Detecta fallas superficiales rápidamente, entre otras.

II.1.5. PROCESO DE LA INSPECCIÓN VISUAL.

Existen tres tipos de inspección visual:

a) **INSPECCIÓN VISUAL DIRECTA:** Aquí el inspector debe colocar la vista a poco menos de 610 mm, (24 pulgadas) aproximadamente de la superficie a inspeccionar, a un ángulo no menor de 30°, se puede auxiliar de espejos y lentes de aumento para mejorar el ángulo de visión. Si se hace necesario alumbrado natural o artificial suficiente para iluminar el área a inspeccionar; ésta deberá tener un mínimo de 350 luxes (32.5 precandelas)

b) **INSPECCIÓN VISUAL REMOTA:** En esta inspección puede usarse ayudas visuales tales como espejos, telescopios, baroscópios, hilos ópticos, cámaras u otros

instrumentos adecuados que faciliten y ayuden al ingeniero a realizar con mayor calidad la evaluación de la pieza.

Este tipo de inspección se requiere, especialmente en áreas que por su inaccesibilidad salga de los límites en cuanto a distancia e iluminación se refiere, con respecto a la inspección visual directa.

e) INSPECCIÓN VISUAL TRASLÚCIDA: Este método utiliza la ayuda de luz artificial, esta puede estar contenida en un iluminador que produzca un haz direccional y deberá proporcionar de una intensidad que difunda uniformemente la luz a través del área o región que se inspecciona. La iluminación ambiente deberá estar dispuesta de tal manera que no haya superficies deslumbrantes o reflexiones desde la superficie a inspeccionar y deberá ser menor que la luz aplicada a través del área a inspeccionar.

en los tres incisos anteriores la limpieza de la pieza es fundamental, ya que como nos detecta solo defectos abiertos a la superficie, es necesario que se encuentre libre de grasa, suciedad, óxido, pintura y cualquier medio que obstruya la verificación superficial de la pieza.

NOTA: Es importante señalar que al evaluador deberán aplicársele exámenes de la vista cada 6 o 12 meses, así como el de daltonismo. También el evaluador deberá previamente haber estudiado los planos y dibujos técnicos de la pieza y saber el proceso de elaboración de ésta; para poder tener una idea clara de los defectos que debe buscar.

II.2.2 LIMITACIONES.

1. un acabado superficial demasiado terso, como es el caso del cromado o del niquelado puede afectar la sensibilidad de la prueba.
2. la sensibilidad es afectada por la remoción del penetrante.
3. Requiere inspección en áreas con suficiente luz o luz ultravioleta (luz negra).
4. Necesita agua y electricidad (casi siempre).
5. Puede fallar si no se aplica en superficies limpias.

II.2.3 VENTAJAS.

1. Tiene varios niveles de fluorescencia para una amplia gama de aplicaciones.
2. El exceso de penetrante de la superficie se remueve fácilmente con agua.
3. Se recomienda su empleo cuando existe un gran número de piezas pequeñas a inspeccionar o para piezas de gran dimensión.
4. Es junto con la técnica de penetrante visible removible con agua el más recomendable para piezas con superficies rugosas, así como para piezas forjadas y fundiciones de grandes dimensiones.
5. Es un buen método para la inspección de piezas roscadas o ranuradas.
6. Permite economía en tiempo para una amplia gama de discontinuidades.
7. Elimina el paso de emulsificación y las variables asociadas.
8. Es de fácil aplicación y adaptación a procesos automatizados.
9. Reduce el costo de operación, principalmente por la reducción del tiempo de proceso y e costo del equipo.

DIAGRAMA II. 2 - A

El proceso de líquidos penetrantes

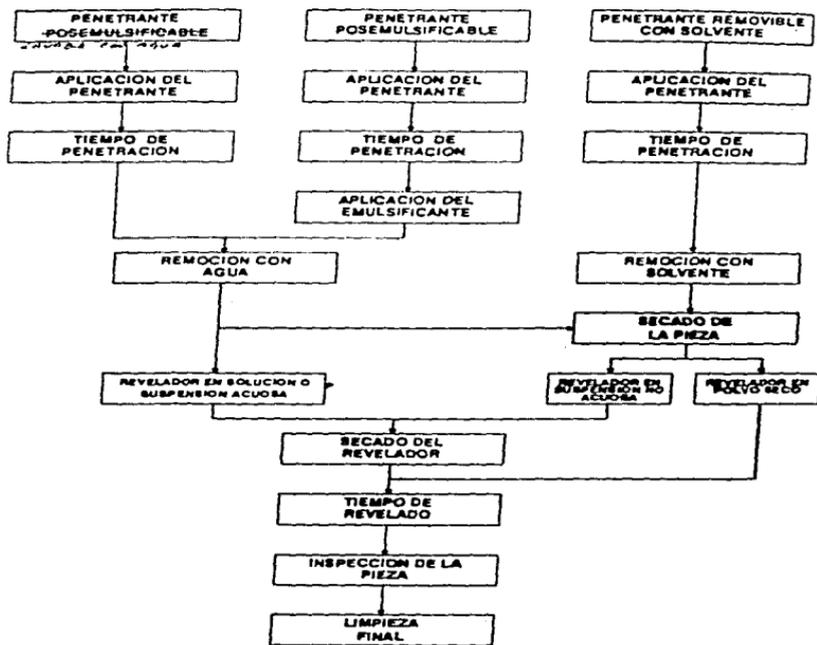


DIAGRAMA II. 2 A
El proceso de líquidos penetrantes.

4.- APLICACIÓN DEL REVELADOR

La cantidad de penetrante que emerge de una discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad. Los reveladores están diseñados de tal forma que extraen el penetrante atrapado en las discontinuidades para que sean visibles al ojo humano.

La acción del revelador es una combinación de tres efectos: a) Solvencia, b) Adsorción y c) Absorción. El polvo revelador ejerce un efecto adsorcivo y absorbente sobre los residuos del penetrante llevándolos a la superficie de la pieza.

Cuando el penetrante se dispersa a través del polvo revelador puede ser fácilmente observado, en el caso de los reveladores en suspensión no acuosa la acción solvente juega un papel muy importante para promover la extracción del penetrante de las discontinuidades y el mejoramiento 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 y el 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 de lo 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.

PROPIEDADES DE LOS REVELADORES.

El revelador debe de poseer las siguientes características para efectuar de forma adecuada su función:

- a) Alto poder de absorción del penetrante.
- b) Un tamaño de partícula adecuado para que el revelador se disperse y exponga el penetrante sobre la mayor área posible, además de producir indicaciones intensas y bien definidas.
- c) Ser capaz de eliminar colores que interfieran con el fondo y proporcionar un buen contraste con las indicaciones, especialmente cuando se emplean penetrantes con tinte visible.
- d) Ser de fácil aplicación.
- e) Deben formar una capa delgada y uniforme sobre la superficie.
- f) Gran afinidad con el penetrante.

SELECCIÓN DEL REVELADOR.

La selección del revelador juega un papel muy importante en la inspección por líquidos penetrantes, por lo que se debe utilizar el que convenga, dependiendo del método utilizado y del tipo de superficie a ser inspeccionada. Las reglas generales para el uso de los diferentes reveladores son:

- 1.- Los reveladores en suspensión acuosa actúan más eficientemente en superficies tersas.
- 2.- Los reveladores secos actúan más eficientemente en superficies rugosas y con penetrante fluorescente.
- 3.- Los reveladores en suspensión acuosa son más eficientes para la inspección masiva de las piezas pequeñas, por su facilidad y velocidad de su aplicación.

4.- Los reveladores en suspensión acuosa aplicados por inmersión no son recomendables para la detección de discontinuidades muy pequeñas o finas.

5.- Los reveladores en suspensión no acuosa aplicados por rociado, son muy eficientes para detectar discontinuidades finas, pero son inadecuados para las discontinuidades anchas o poco profundas.

6.- La limpieza y reimpresión de una superficie rugosa es más difícil si un revelador en suspensión acuosa fue usado en una inspección anterior.

5. INSPECCIÓN.

Después de un tiempo determinado en que se aplica el revelador, la muestra se prepara para la inspección, la cual se lleva cabo observando el contraste de color entre el penetrante extraído de la discontinuidad y la superficie de fondo.

Para el caso en que el penetrante sea visible la inspección se lleva a cabo bajo luz blanca y para los penetrantes fluorescentes la observación se efectúa en cuarto oscuro bajo luz negra cuya intensidad mínima a la superficie de la pieza sea de 800 microwatts por centímetro cuadrado.

Después de transcurrido el tiempo de revelado, se efectúa la inspección y la evaluación de la superficie de la pieza. El tiempo de la empleada depende del proceso utilizado, ya que preferentemente debe usarse luz normal (luz blanca) para los penetrantes visibles y luz ultravioleta (luz negra) para los fluorescentes; esta parte del proceso es sumamente importante por lo que es necesario verificar que la indicación en examen sea válida y no falsa, dando la impresión equivocada a causa de iluminación inadecuada, un proceso erróneo, etc..

Cuando se tenga duda sobre la inspección, es preferible limpiar la pieza y repetir el proceso completo, después se determinará el tipo, tamaño y localización de las discontinuidad, así como la especificación aplicable para su evaluación.

II.2.4 PRINCIPIO DEL MÉTODO.

Los líquidos penetrantes tienen la propiedad de filtrarse a través de las discontinuidades que presentan los materiales, basándose en la acción capilar, la que origina que un líquido ascienda o descienda a través de dos paredes cercanas entre sí, también se basa en otros principios como: viscosidad, adherencia y tensión superficial.

II.2.5 EL PROCESO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.

En la inspección por líquidos penetrantes se requiere realizar los siguientes seis pasos que también se ilustra en el diagrama II.2 - A.*

- 1.- Preparación de la superficie.
- 2.- Aplicación de l penetrante
- 3.- Remoción del exceso de penetrante.
- 4.- Aplicación del revelador.
- 5.- Inspección.
- 6.- Limpieza final.

1.- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.

Es importante que la superficie de prueba se encuentre seca y libre de cualquier contaminante. Esto quiere decir que la superficie del material debe estar exenta de polvo, grasa, óxidos, escamas, ácidos, recubrimientos metálicos y pintura, los cuales pueden afectar directamente o bloquear la entrada del penetrante a las discontinuidades y de este modo alterar las indicaciones.

La técnica de limpieza a utilizar depende del tipo de contaminante presente en la superficie de la pieza a inspeccionar; las cuales las podemos encontrar en normas

* Ver tabla II 2 A

y especificaciones, por ejemplo la ASME SEC V SE 165, ANSI / ASMEBPV SEC V, Artículo 6, ASTM - E165, en las cuales se proporcionan algunas de las técnicas de limpieza.*

2.- APLICACIÓN DEL PENETRANTE.

El penetrante se aplica sobre la superficie limpia y seca de la pieza a inspeccionar, por cualquier método, que la humedezca totalmente; por ejemplo, inmersión, rociado, con brocha etc.. Así pues todas las superficies deben cubrirse totalmente para permitir que por medio de la acción capilar el penetrante se introduzca en las discontinuidades como lo ilustra la figura II.2 - B.

Los líquidos penetrantes para que sean visibles tienen que tener un color de contraste, clasificándose según ASME SEC V SE - 165 en dos métodos que son: a) Líquidos penetrantes fluorescentes y b) líquidos penetrantes visibles.

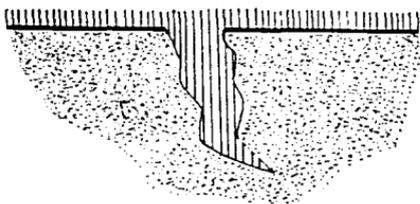


Fig. II.2 - B
APLICACIÓN DEL PENETRANTE

* Consultar anexo de Normas L. Q.

A continuación comentaremos las formas más usadas para humedecer la(s) pieza(s) a inspeccionar.

- Por inmersión: Se recomienda cuando las piezas son pequeñas o de peso reducido, cuando se inspeccionan grandes lotes o bien toda una producción de componentes críticos. Otra razón de emplear la inmersión es la complejidad del objeto, en su forma o cuando se requiere cubrir toda la superficie de la pieza. Su realización es factible si se tienen módulos o trenes de inspección.

- Por aspersión, atomización o rociado: Es la forma más común de aplicar el penetrante ya que todo el rocío se puede obtener empleado aire a presión o mediante aerosoles, no obstante la comodidad de su aplicación. Se debe tener cuidado en que el rocío sea homogéneo; además es conveniente ayudarse con una brocha o pincel para cubrir aquellas áreas que por su situación física impiden que el rocío llegue a ellas.

Se recomienda para la inspección esporádica de lotes o piezas ya instaladas en su ensamble final, en superficies planas o relativamente grandes; pero deben evitarse en piezas pequeñas por que se desperdicia demasiado penetrante.

- Aplicación con brocha, pincel o rodillo: Está se recomienda por económica y reduce el desperdicio de penetrante, se puede aplicar en piezas grandes y medianas de formas regulares, también cuando se va a inspeccionar áreas pequeñas y zonas de difícil acceso para los aerosoles o para aplicar pequeñas cantidades de penetrante en zonas en las que sólo se desea limpiar la parte sujeta a la inspección.

3.- LOS PENETRANTES.

En este método de inspección el penetrante es un fluido con propiedades únicas que le permiten introducirse en pequeñas aberturas, lo cual lo hace especialmente adecuado para emplearse en la detección de discontinuidades

superficiales, además un buen líquido penetrante debe reunir las siguientes características.

- Alta penetración en discontinuidades muy finas.
- Baja pérdida de solventes por evaporación.
- Relativamente fácil de remover de la superficie, pero no de la discontinuidad.
- Permanecer en estado líquido y tener alta afinidad con el revelador.
- Capaz de formar películas muy finas
- De color o de fluorescencia muy estable aún en bajas concentraciones.
- No debe reaccionar con el material sujeto a la inspección.
- Debe ser inodoro y con alto punto de inflamabilidad.
- Atóxico
- Estable bajo condiciones de almacenamiento.
- Tener precio económico.

II.2.6. TIPOS DE LÍQUIDOS PENETRANTES.

De acuerdo con NOM - B 133 - 1987 y ASME SEC V SE - 165 y ASTM E - 165, los líquidos penetrantes se clasifican en dos métodos: método 1) líquidos penetrantes fluorescentes y método 2) líquidos penetrantes visibles. A su vez éstos métodos se clasifican en tres tipos:

- Tipo uno: Lavables con agua
- Tipo dos: Posemulsificables.
- Tipo tres: Removibles con solventes.

La especificación MIL - 25135, agrupa a los líquidos penetrantes en las siguientes familias que también se le conoce como clasificación militar:

Grupo I penetrantes visibles removibles con solventes.

Grupo II penetrantes visibles posemulsificables.

Grupo III penetrantes visibles lavables con agua.

Grupo IV penetrantes fluorescentes lavables con agua (De baja sensibilidad).

Grupo V penetrante fluorescente posemulsificable, (De sensibilidad media).

Grupo VI penetrante fluorescente de alta densidad.

Grupo VII penetrante fluorescente removible con solvente (consiste de penetrantes del grupo VI, de un solvente y de un revelador húmedo no acuoso)

II.2.10 TIEMPO DE PENETRACIÓN.

Se define como el tiempo necesario para que el penetrante se introduzca en las discontinuidades; este tiempo varía de acuerdo a los siguientes factores:

- 1.- Tipo de penetrante utilizado.
- 2.- Características del material a inspeccionar.
- 3.- El proceso de fabricación del material.
- 4.- Las posibles discontinuidades a detectar.
- 5.- Temperatura.

Las tablas de tiempo de penetración* se elaboran tomando como base el rango de temperatura de 15° a 50° C. El penetrante no debe utilizarse a temperaturas menores al límite inferior por que disminuye su actividad y no se introduce en las discontinuidades a pesar de cumplir con el tiempo de penetración establecido en las tablas.

* Consultar Anexo de Tablas.

3.- REMOCIÓN DEL EXCESO DEL PENETRANTE.

La remoción del exceso del penetrante es el paso más importante en el procesamiento de las piezas para su inspección, por ello debe mantenerse estricto control en cuanto a los diferentes parámetros, que ésta parte del proceso encierra y de este modo asegurar resultados confiables.

Después de transcurrido el tiempo de penetración, se elimina el exceso de penetrante que queda en la superficie de la pieza. Se debe evitar que el penetrante se seque sobre ésta, ya que puede impedir que el penetrante emerja de las discontinuidades al aplicar el revelador. En caso de que el penetrante se seque, la inspección debe reiniciarse desde el paso de la prelimpieza.

De acuerdo al sistema empleado para eliminar el exceso se dividen según ASME SEC V - 165 en tres tipos:

- 1.- Penetrante lavable con agua.
- 2.- Penetrante post-emulsificable.
- 3.- Penetrante removible con solvente.

4.- RECOMENDACIONES PARA UNA REMOCIÓN CORRECTA.

En la inspección de piezas complejas debe tenerse presente lo siguiente:

- Rugosidad del cordón.
- Salpicaduras de soldadura.
- Ranuras, muescas y acanalados
- Superficies rugosas de fundición o forjadas.
- Desalineamientos
- Ranuras maquinadas.

Estas irregularidades aparecen con bastante firmeza al manejar penetrantes con colorante y revelador sobre la superficie a pesar de un lavado cuidadoso. En estos casos las indicaciones fluorescentes no relevantes pueden brillar con el mismo grado de brillantes que con las indicaciones relevantes, tales como grietas o poros. El tamaño y forma de las indicaciones no relevantes y falsas pueden ser similares a las indicaciones comunes de las discontinuidades reales. Un ejemplo de este tipo de piezas es el diafragma de gas de una turbina, éstos componentes requieren de una gran cantidad de soldadura y maquinado, de los que resultan un sin número de indicaciones no relevantes.

INTERPRETACIÓN DE LAS INDICACIONES.

En esta sección se resumen las características de diferentes tipos de discontinuidades detectables por el método de líquidos penetrantes, así como la definición de una serie de conceptos importantes para la interpretación de los resultados; como por ejemplo, proceso de manufactura del que se obtienen, tratamiento térmico, maquinado, etc..

La definición de la indicación del penetrante es afectada por el volumen del líquido retenido en la discontinuidad y por las condiciones de prueba tales como la temperatura, tiempo de revelado y tipo de penetrante utilizado. Por lo general las indicaciones bien definidas o claras provienen de discontinuidades lineales y angostas; existen también variables que influyen en la persistencia de la indicación, algunas de estas son:

- Los métodos de limpieza (Los restos de álcalis o de ácidos pueden disminuir la colaboración del pigmento)
- La temperatura (La alta temperatura o un tiempo excesivo en el secador).
- Tipo de revelador.
- La concentración de emulsificante y el tiempo de emulsificación.

6.- LIMPIEZA FINAL.

Por último debe limpiarse la superficie de la pieza mediante un enjuague con agua a presión, por inmersión o por un removedor, sobre todo aquellas piezas que están sujetas a altas temperaturas, para que los residuos no tengan reacción con el material. Es muy importante que esta parte del proceso se efectúe con un limpiador volátil y que ninguno de los limpiadores previos quede alojado en las discontinuidades.

La limpieza final es la última parte del proceso por líquidos penetrantes y se lleva a cabo en las muestras o piezas que se encuentran libres de discontinuidades. Es necesaria ya que el penetrante y el revelador tienden a acumular humedad, la cual puede producir corrosión, o bien, interferir en el proceso posterior a la inspección. El método de limpieza recomendado es uno semejante al de la prelimpieza, los limpiadores a base de agua generalmente se utilizan para remover materiales no grasos, mientras que el desengrase en vapor es más conveniente para la remoción de los materiales base aceite. Los líquidos penetrantes lavables con agua toleran cierta adición de agua sin que ello influya substantivamente sobre su rendimiento.

II.2.5 MÉTODOS DE LIMPIEZA.

En la selección del método de limpieza se debe tener especial cuidado de que éste no enmascare cualquier indicación o que los residuos de los productos no actúen como contaminantes, influyendo en la sensibilidad del método. Así pues, los métodos de limpieza se clasifican como:

- QUÍMICOS.
- MECÁNICOS
- POR SOLVENTES.

- Limpieza por medios químicos: Este tipo de limpieza tiene poco efecto degradante sobre el acabado superficial. Los principales métodos son:

1.- Limpieza alcalina: Remueve cascarillas, óxidos, grasa, material para pulir, aceites y depósitos de carbón. Este método se emplea en grandes piezas en las cuales las técnicas manuales suelen ser muy laboriosas.

2.- Limpieza ácida: Se emplean soluciones muy ácidas para remover cascarillas pesadas o de gran tamaño, para eliminar manchas metálicas.

3.- Limpieza con sales fundidas: se emplea para remover cascarilla muy densa y óxidos fuertemente adheridos.

- Limpieza por medios mecánicos: Este tipo de limpieza debe aplicarse con precaución, ya que puede cubrir o enmascarar las discontinuidades. Los principales métodos son:

1.- Pulido abrasivo: Remueve escama, rebaba, escoria de soldadura y óxido. Este método no debe utilizarse en metales suaves como el Aluminio, Cobre, Magnesio y Titanio.

2.- Aplicación de arena seca a alta presión (Sand-Blasting): Remueve escamas pesadas, capas de pintura o recubrimientos antioxidantes, depósitos de carbón, óxidos, fundentes, arena de función, etc..

3.- Aplicación de arena húmeda a alta presión: Es utilizado para un menor control del acabado superficial o dimensional, su aplicación es la misma que la del método anterior.

4.- Agua y vapor a alta presión: Se lleva a cabo con limpiador alcalino o con detergente. Remueve residuos de lubricantes, aceites, compuestos de pulido, grasas y astillas, se utiliza cuando debe protegerse el acabado superficial.

5.- Limpieza ultrasónica: Se emplea generalmente con detergentes y agua o con un solvente. Se utiliza para limpieza de piezas pequeñas o delicadas.

-Limpieza por solventes: Es ampliamente utilizado, ya que es capaz de disolver y remover casi cualquier tipo de componente orgánico que se encuentre en la superficie. Este método puede dividirse en desengrasado al vapor y enjuague con solventes.

a) Desengrasado por vapor: Remueve aceite y grasa, por lo general emplea solventes colorados, no es recomendable para el Titanio y sus aleaciones.

b) Enjuague por solventes: Remueve aceite y grasa, también se puede emplear solventes no colorados. Los solventes más comúnmente empleados son acetona, percloroetileno, alcohol isopropílico, cloruro de metileno, ya que todos estos se evaporan a temperatura ambiente.*

Materiales (ASTM.) y las Society of Automotive Engineers (SAE).

II.2..19 EQUIPO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.

La selección del equipo utilizado en la inspección con líquidos penetrantes está determinada por la cantidad y tamaño de las piezas a inspeccionar, la sensibilidad requerida, el lugar donde se efectúa la prueba, etc..Tomando en cuenta estos puntos, el equipo se clasifica en tres categorías:

- 1.- Equipo portátil.
- 2.- Equipo estacionario.
- 3.- Unidades especiales.

Siendo cualquiera de estos equipos capaz de dar una satisfactoria evaluación.

* Consultar anexo de Normas.

3.2.1. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

GENERALIDADES.

La electricidad y el magnetismo no pueden verse. Se dejan sentir solamente por los efectos que los producen, tales como, producción de luz y calor o por la atracción y movimientos de materiales. Se miden por medio de esos efectos, efectos que constituyen los fenómenos en los que se basa la inspección por Partículas Magnéticas, la cual nos proporciona la detección de discontinuidades o defectos superficiales y subsuperficiales pero con la condición de que esta técnica es aplicable solamente en materiales ferromagnéticos. Con lo que desde este momento queda determinada su aplicación a este tipo de material únicamente.

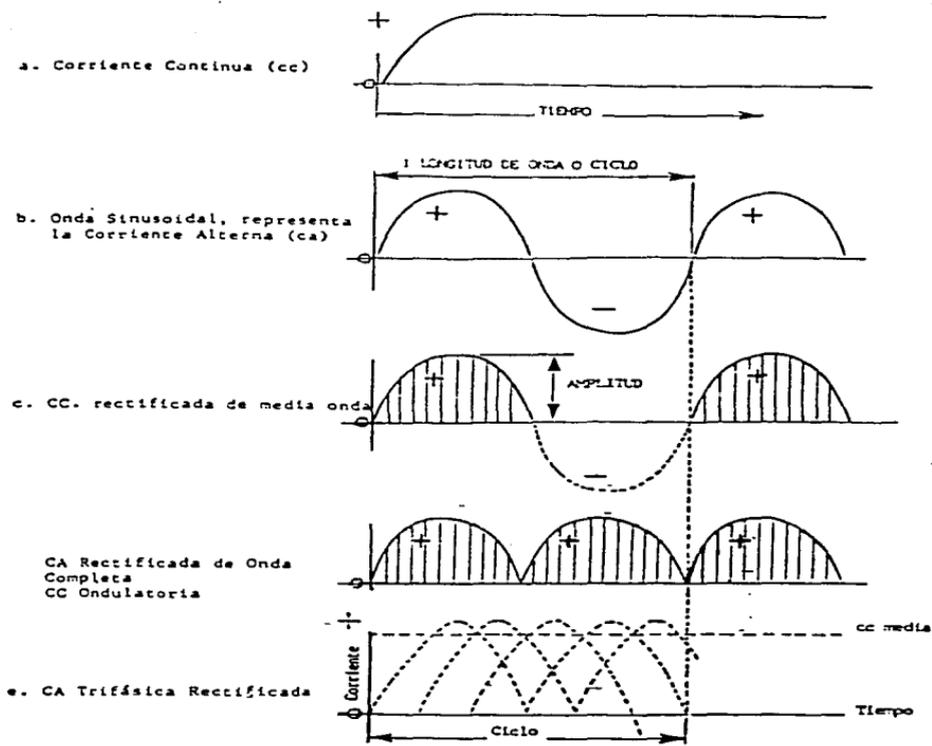
Existen dos tipos básicos de corriente eléctrica y ambos se emplean en la inspección por medio de este ensayo no destructivo. La corriente continua, que es una corriente que conserva siempre la misma dirección pero cuya intensidad puede variar de forma regular y la corriente alterna, que invierte su dirección, siendo primero positiva y después negativa, alternando entre los dos valores máximos respectivos.

En la figura 1-2a se muestra una gráfica que indica un flujo de corriente continua del tiempo. Muestra que el valor inicial es cero como si se accionara un generador desde su posición inicial estática y fuera alcanzado progresivamente su valor constante. La figura 1-2b muestra una curva sinusoidal, que indica el movimiento ondulatorio de la onda, que indica como el flujo de corriente cambia de positivo a negativo con cada medio ciclo, ambas fases se repiten 60 veces por segundo.

En ocasiones se utilizan rectificadores de corrientes que permiten convertir la corriente alterna en continua, de este modo hay un flujo de corriente en una sola dirección, esto queda ilustrado en la figura 1.2c. Con rectificadores más perfeccionados se puede pasar toda la corriente alterna resultando el flujo que indica la figura 1 - 2d.

La corriente continua, la corriente alterna y la corriente rectificada de alternancia simple se emplean como corrientes imanadoras en la inspección por Partículas Magnéticas.

Figura 1 -2
Corrientes Continuas y Alternas.



3.2.2. VENTAJAS

- 1.- BAJO COSTO Y SENCILLO DE APLICAR
- 2.- RÁPIDO Y LIMPIO
- 3.- SE PUEDE UTILIZAR EN CONDICIONES AMBIENTALES EXTREMAS.

3.2.3. LIMITACIONES.

- 1.- ÚTIL SOLAMENTE EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS.
- 2.- NO TIENE GRAN CAPACIDAD DE PENETRACIÓN
- 3.- SE DEBE PREPARAR EL MATERIAL ANTES Y DESPUÉS DE LA PRUEBA
- 4.- LA DETECCIÓN DE LA DISCONTINUIDAD SOLO ES PARALELA AL CAMPO.

3.2.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

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 mismo, como un cambio dimensional o una discontinuidad. Si la falla es abierta o cercana a la superficie del material magnetizado las líneas de flujo serán desviadas en la superficie, a esto se le conoce como dispersión de flujo o campos de fuga, estos se describirán con mayor detalle más adelante. Cuando una partículas magnéticas finas se aplican sobre el área de la discontinuidad en presencia de la dispersión de flujo, estas se mantienen en el lugar y su acumulación es visible bajo condiciones adecuadas de iluminación.

NOTA: Se deben conocer las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas de la pieza a inspeccionar, para seleccionar adecuadamente que tipo de

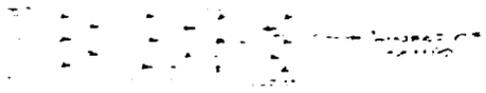
técnica se empleara, también se debe estar sujeto a las normas internacionales como la ASTM - E - 109 - 63 y LA ASTM - E - 138 - 63, u otra norma. Cabe hacer hincapié que los instrumentos deben estar calibrados y aprobados por ellos.

En condiciones pudimos establecer que la finalidad de este método es la de detectar discontinuidades superficiales o ligeramente subpericiales en materiales ferromagnéticos como: forja, piezas fundidas, soldaduras, etc.



3.2. 5 CAMPOS DE FUGA.

Como ya mencionamos este ensayo nos ayuda a localizar e identificar discontinuidades en materiales ferromagnéticos, ahora examinaremos cómo un campo magnético nos permite llevar a cabo nuestro objetivo. La figura siguiente representa un corte transversal longitudinal de una pieza o material.



En ausencia de grietas o discontinuidades, las líneas del campo magnético pasan de un extremo a otro del objeto sin salir a la superficie.

3.2.5.1. DISCONTINUIDAD O DEFECTO SUPERFICIAL.

En presencia de una discontinuidad o defecto (figura 2.5.A), algunas líneas del campo magnético pudieran salir del objeto y al espacio. Si sobre la superficie del objeto mostrado en la figura antes mencionada, rociamos partículas ferromagnéticas muy pequeñas, resultarán atraídas y retenidas por el campo de fuga en la región de la discontinuidad. Aún cuando esta pudiera ser muy pequeña para ser visible al ojo desnudo, el campo magnético podría aún resultar suficientemente perturbado como para atraer un número suficiente de pequeñas partículas que permitan formar una indicación visible. Éstas partículas pueden colorearse para hacerlas más visibles y hacer así que el método de inspección sea más sensible.



Figura 2.5. A

3.2.5.2. DISCONTINUIDAD INTERNA.

Una discontinuidad oculta en el interior de un objeto pudiera no perturbar las líneas de fuerza para hacerlas salir de la superficie. En este caso no habrá atracción de partículas ni indicación superficial, como se ilustra en la figura 2.6. B.

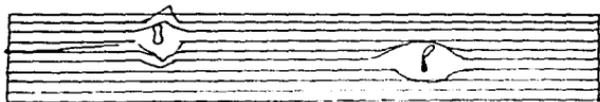


Figura 2.6.

En la figura 2.5. el efecto de una grieta y en la figura 2.6 el efecto de una discontinuidad próxima a la superficie sobre el campo magnético. Dado que la permeabilidad del aire es mucho menor que la de los materiales ferromagnéticos, las líneas de flujo tienden a pasar por el espacio exterior más allá de los límites del material.

3.2.5.3. ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.

Una discontinuidad de orientación paralela al campo magnético en el objeto producirá un efecto mucho menor sobre el campo que una discontinuidad que se perpendicular a dicho campo.

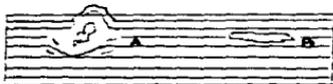


Figura 2.7.

Como quiera que la discontinuidad b en la figura 2.7. apenas interrumpe la continuidad del campo, las partículas magnéticas atraídas al mismo serían pocas, si

es lo que son. No obstante la discontinuidad A produce una alteración considerable en el campo magnético haciendo que algunas líneas de flujo salgan fuera del material. Las partículas magnéticas serían más fácilmente atraídas a la superficie cerca de A, haciendo así que la discontinuidad sea mucho más detectable.

La sensibilidad de este método de inspección será mucho mejor para aquellas discontinuidades que tengan una orientación de 90 grados con relación al campo, produciendo resultados aceptables aún cuando el ángulo de tal orientación se reduzca hasta unos 75 grados.

3.3. PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN.

Cuando se emplea este método en particular, el examen satisfactorio de una pieza o una inspección de su superficie, depende de la observación rigurosa de los requisitos siguientes en su orden lógico de aplicación.

- 1.- Preparación de la superficie a inspeccionar.
- 2.- Imanación de la superficie a inspeccionarse.
- 3.- Selección y aplicación del medio indicador.
- 4.- Interpretación de las discontinuidades.
- 5.- Desimantación
- 6.- Limpieza final.

3.3.1. Preparación de la superficie a inspeccionarse: La sensibilidad del método de inspección por partículas en función de la condición superficial del espécimen, la rugosidad o aspereza de la superficie tienden a reducir la eficacia de la evaluación por distorsión del campo magnético o por dificultar el movimiento de las partículas para formar la indicación de un defecto. Por regla general, cuanto más lisa sea la superficie de la pieza y más uniforme el contraste de su color hacia el medio de

inspección empleado, tanto mayor será la sensibilidad. En primer lugar, es preciso determinar si la pieza posee permeabilidad suficiente para su inspección por el método de Partículas Magnéticas. Esta fase generalmente se realiza empleando un imán permanente potente. La segunda consideración a tenerse en cuenta es la condición de la superficie del material y el trabajo requerido en su preparación. Por lo general las piezas se limpian y se secan; no obstante, si bien ésta práctica es aconsejable no será siempre necesaria, posible o incluso económica.

En toda inspección uno de los requisitos más importantes es que los componentes se desmonten siempre que se posible. Esta operación pone a disposición del técnico u operador la máxima área disponible. El desmontaje también reduce la posibilidad de indicaciones confusas que se producen en aquellos puntos donde las piezas entran en contacto, creando campos de fuga, asimismo, las piezas desmontadas son de más fácil manejo, los requisitos de inspección se determinan con mayor facilidad y los métodos de desimantación y limpieza resultan más sencillos. Cuando es posible desmotar las piezas al máximo se puede conseguir una inspección mucho mas minuciosa.

3.3.1. A) Obturación o cobertura: Es posible que las partículas magnéticas o, en el caso del método por vía húmeda, el medio líquido, puedan dañar los componentes o partes de una pieza sometida a inspección. Ejemplos de esto podrían consistir en el caso de partículas que obstaculicen el proceso al adherirse a superficies de fricción, deterioro de empaquetaduras internas por el medio líquido por las partículas, o en el caso en el proceso podrían dañar las superficies adyacentes pintadas o terminadas. Para evitar estas situaciones la obturación o cobertura se convierte en requisito. Deberán obturarse con tapones de plástico o grasa de gran consistencia o protegerse por medio de cintas apropiadas.

3.3.1. B) LIMPIEZA PREVIA A LA INSPECCIÓN.

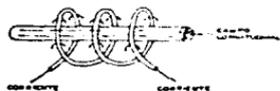
La posibilidad de que los productos empleados en la limpieza de los materiales queden atrapados en las aberturas o agujeros, requieren que se tomen las mismas medidas de obturación y bloqueo en el caso de sustancias empleadas en la inspección. El procedimiento de limpieza previa tiene por finalidad corregir aquellas condiciones de la superficie que podrían afectar bien la ejecución de la inspección propiamente dicha o la detección eventual de las indicaciones de los defectos que se buscan. Por regla general el proceso de limpieza previa debe eliminar toda sustancia extraña, contaminantes o residuos que pudieran impedir la aplicación adecuada de la corriente, la distribución o concentración de partículas, o la intensidad o definición de la indicación o señal de la partícula magnética. No existe ningún método de limpieza que pueda garantizar la eliminación de todas las condiciones o contaminantes indeseables que se encuentren al emplear el método de inspección por partículas magnéticas.

3.3.2. IMANACIÓN DE LA SUPERFICIE A INSPECCIONAR.

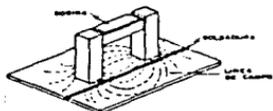
Dado que la sensibilidad es mayor cuando el campo magnético en una pieza es perpendicular al eje mayor de un defecto, el método de imanación deberá seleccionarse en forma que produzca líneas de flujo en diferentes direcciones. En la mayoría de los trabajos, será suficiente imanar dos veces empleando la segunda vez un campo perpendicular al primero con el objeto de que el defecto que se halle casi paralelo al primer campo sea perpendicular al segundo. En algunos casos, un defecto situado a 45 grados aproximadamente con respecto de las líneas de flujo pudiera no ser visible. En el caso de inspecciones más críticas que requieren mayor sensibilidad, pudiera ser necesario imanar varias veces en diferentes direcciones.

IMANACIÓN LONGITUDINAL.

Este método de imanación se efectúa induciendo un campo magnético en la pieza de forma tal que las líneas de fuerza que corren el apieza sean aproximadamente paralelas al eje de la bobina imanadora y que tienden a seguir el contorno de la pieza. Cuando se utiliza un imán permanente o electroimán, las líneas de fuerza actúan entre los polos y es necesario hacer el montaje de manera que dichas líneas sigan el contorno. Materiales como ejes, cilindro, vigas, etc. Pueden imanarse por medio de un cable eléctrico flexible enrollado al rededor de la pieza.



IMANACIÓN LONGITUDINAL
EN CAMPO DE BOBINA



CAMPO LONGITUDINAL
INDUCIDO POR YUGO.

3.3.2.1 MAGNETIZACIÓN CIRCULAR.

Esta se realiza cuando el campo fluye circunferencialmente al rededor de la pieza, y al pasar corriente a través de ella entro dos electrodos de contacto se inducen campos magnéticos en ángulos rectos con respecto al flujo de corriente, así 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 o por puntas de contacto que sólo se recomienda para piezas burdas o en proceso de semicambiado. Como se ilustra en la siguiente figura.

INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO.

Si en la imanación se utiliza un selenoide, la intensidad de campo que lo atraviesa será proporcional al producto de la corriente en amperios por el número de vueltas en el selenoide, es decir, el número de amperios-vuelta. La intensidad del campo puede por lo tanto modificarse variando el número de vueltas en la bobina o a la corriente que pasa por la misma. En conclusión, la intensidad de campo adecuada a emplearse en un objeto dependerá de:

- 1.- La sensibilidad requerida.
- 2.- La profundidad de las discontinuidades a detectarse
- 3.- Del tipo de corriente imanadora (cc, ca, etc.)
- 4.- Del medio de indicación empleado.
- 5.- De la geometría del objeto.

3.4. SELECCIÓN DEL MÉTODO.

En la inspección por partículas magnéticas existen numerosas variaciones en los procedimientos a emplearse que se hacen necesarios por el tipo de geometría de los ferromagnéticos que se examinan, por el tipo y localización de las discontinuidades buscadas y por el grado de sensibilidad requerido, accesibilidad de la pieza y economías pertinentes. El ingeniero o técnico deberá conocer las diversas técnicas y el procedimiento para determinar cuál y en qué grado afectará al resultado final.

Las principales variantes* en técnicas tratas de:

A) Aplicación de partículas: Tipos de partículas

* Ver anexo.

Método de aplicación (Vía húmeda o vía seca)
Orden de operaciones (método continuo o residual)

- B) Imanación:** Tipo de corriente imanadora empleada
Dirección del campo magnético
Selección de la corriente adecuada.

C) Tipos de equipos.

3.5. INTERPRETACIÓN DE LAS INDICACIONES.

En la inspección no destructiva de materiales las expresiones indicación, defecto, discontinuidad o falla, frecuentemente se intercambian erróneamente. En un sentido estricto, una indicación es una respuesta que requiere interpretación para determinar su significado. En la inspección por este método, esto puede ser cualquier imagen formada magnéticamente bajo la superficie de la pieza que se examina. Un defecto es una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación o situación la hace detrimental al servicio útil de la pieza. Finalmente una falla es una imperfección en un producto o material que pudiera no ser nociva.

Al examinar una indicación formada por partículas magnéticas es necesario conocer algo acerca de la historia y uso de la pieza. Ello simplificará la interpretación y pudiera asimismo ayudar a determinar si la indicación es superficial o interna. Partiendo de códigos, normas que rigen este método al técnico calificador determinará si la falla pudiera ser perjudicial al servicio a que se destina la pieza.

3.5.1. TIPOS DE DISCONTINUIDADES.

Las numerosas discontinuidades halladas en piezas fundidas, forjadas o conjuntos soldados pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo al momento que se producen.

A) Discontinuidades inherentes: Estas se refieren a la solidificación original del lingote o más tarde, durante los procesos de fundición, colada y solidificación del metal.

B) Discontinuidades de proceso: Estas se refieren o se producen durante los diferentes procedimientos de fabricación, tales como conformado, extrusión, laminado, maquinado, soldadura, tratamiento térmico, cromado, etc..

C) Discontinuidades inducidas por el servicio: Estas están relacionadas con las diversas condiciones de servicio a las que se somete la pieza, es decir, fatiga, corrosión bajo tensión, erosión, etc..

Después de haber establecido que una indicación no es solamente una indicación parásita, queda por determinar si la misma influirá sobre el uso al que se destine la pieza. En la toma de decisión de si se acepta, se inspeccionará de nuevo si se acepta o se rechaza, es necesario tener presente los factores que influyen en la decisión, costeo, duración, riesgo de fallo y la medida en que un defecto puede o no tolerarse en el material. En casos en que los documentos no precisen tolerancias mínimas permitidas durante las inspecciones, proponemos algunas consideraciones que ayudarán a la evaluación.

RELACIÓN ENTRE DISCONTINUIDADES Y RIESGO DE FALLO.

- 1.- **Discontinuidad superficial o interna:** Las discontinuidades superficiales son más significativas que las internas. Los defectos internos conllevan menos riesgos que si se encuentran cerca de la superficie.
- 2.- **La longitud de una discontinuidad es un buen indicativo de su importancia.** No obstante, en un área sometida a grandes tensiones, incluso una discontinuidad microscópica puede representar un verdadero peligro.
- 3.- **Profundidad:** Cuanto mayor sea la profundidad de las discontinuidades superficiales, tanto mayor será el riesgo que presentan.
- 4.- **Distribución:** Las discontinuidades que se presentan en grupo o conectadas entre sí producen el mismo efecto que una sola y son más serias que las discontinuidades dispersas.
- 5.- **Posición:** Las discontinuidades que se sitúan en una zona sometida a grandes tensiones presentan mayor riesgo que las que se hallan en zonas donde las tensiones son más débiles.
- 6.- **Utilización de la pieza:** Si en una pieza sometida a cargas repetidas aparece una discontinuidad, esta pieza fallará mucho antes que otra de la que se requiere menor trabajo.

La tabla siguiente nos ayuda a elegir el método de inspección por Partículas Magnéticas

3.6. DESIMANCIÓN.

Los materiales ferromagnéticos pueden requerir ser desmagnetizados antes o después de su inspección. La mayor o menor dificultad en el proceso de desmagnetización depende de diversos factores y varía en función de la fuerza coercitiva requerida, de la forma de la pieza y del grado de desmagnetización buscado. La eliminación total de todos los campos magnéticos es virtualmente imposible, aunque afortunadamente raramente es necesaria.

Razones de la desimanci3n:

- 1.- Una pieza puede contener campos residuales fuertes formados durante manipulaciones anteriores como mandriles o grúas magnéticas, harán necesario que el material, si es muy retentivo, se desimane para permitir la inspección.
- 2.- Para evitar la adherencia de virutas de maquinado.
- 3.- Para evitar la avería de piezas móviles.
- 4.- Para evitar la desimanci3n del arco eléctrico (durante la soldadura)
- 5.- Para preparar la pieza para una nueva imanaci3n.
- 6.- Para evitar la retenci3n de partículas magnéticas.
- 7.- Para evitar el efecto perjudicial sobre los instrumentos.

La desimanci3n se hace innecesaria:

- 1.- Piezas de acer dulce ya que poseen poca retentividad
- 2.- Piezas estructurales.
- 3.- Piezas sometidas a tratamientos térmicos posteriores a temperaturas aproximadas a los 700 grados centígrados, ya que a esta temperatura se vuelven no magnéticos.
- 4.- Piezas sometidas a operaciones magnéticas posteriores
- 5.- Piezas sometidas a campos magnéticos más intensos.

3.6. LIMPIEZA FINAL.

La limpieza de piezas destinadas a formar parte de un conjunto pudiera no ser necesaria. No obstante las piezas terminadas deberán limpiarse al inicio de su inspecci3n antes de que el medio líquido tenga medio de secarse. Ya que si llegara a secar podría provocar corrosi3n o un excesivo desgaste entre piezas móviles.

Tabla 5-1

Selección del método de inspección por partículas magnéticas

DISCONTINUIDADES INHERENTES	MT		PT		MT		PT		
	MT	PT	MT	PT	MT	PT	MT	PT	
INCLUSIONES									
SEGREGACION	X								
CAVIDADES DUBLINES			X				X		
MICROPOROSIDAD									
POROSIDAD	X								
GRIETAS									
INTERRUPCIONES POR ENFRIAMIENTO									
DISCONTINUIDADES DE PROCESO									
COXTURAS									
PLIEGUES									
EXPLOSIONES (INTERNAS)	X		X						
DESCAPROS MECANICOS									
FISURAS POR TRATAMIENTO TERMICO									
GRIETAS DE AMOLADO									
FISURAS DE CHAPADO	X								
DISCONTINUIDADES DE SOLDADURA									
DISCONTINUIDADES DE USO									
SOBRETENSION									
FATIGA	X								
CORROSION	X								
CORROSION POR TENSION									



Buena
 Pasable a mediocre
 Insatisfactoria

Eficacia de la inspección por partículas magnéticas

Los métodos de limpieza que se recomiendan son frotado con cepillo, lavado con disolvente o rociado, lavado desengrase al vapor. Como quiera que un método de limpieza por disolvente, desengrase al vapor o la limpieza con acetona pudieran hacer la superficie susceptible a corrosión; deberá emplearse un método para evitar la oxidación. Cuando una pieza se destine a formar parte de un conjunto sumergido en aceite o de otro fluido hidráulica, pudiera ser suficiente mojar la pieza en cuestión con el líquido normalmente empleado para su montaje. La última etapa de la limpieza posterior consiste en asegurarse que todos los tapones se han retirado a todos los agujeros o cavidades.

EQUIPO.

El tipo de equipo dependerá del tamaño, forma, número y variedad de las piezas a inspeccionarse. Para la inspección en producción de piezas pequeñas generalmente se emplea un banco provisto de puntas de contacto con dispositivos de fijación para producir imanación circular y una bovina incorporada para imanación longitudinal. El método por vía húmeda es generalmente empleado en dichas aplicaciones.

Si las piezas son grandes, las unidades más convenientes son las del tipo portátiles, provistas de puntas de contacto o yugo, incluso bovinas enrolladas a mano. frecuentemente también se utiliza corriente rectificada de media onda con polvo seco. Se puede emplear el método por vía húmeda pero en este caso se deja que el líquido se escurra por sí mismo por lo que no es recuperable.

TERMOGRAFIA.

II.4 TERMOGRAFIA

II.4.1 GENERALIDADES.

La termografía es una técnica que nos permite hacer visibles las distribuciones superficiales de temperatura, sin estar en contacto con la fuente de calor.

Esto es posible debido a que hay relación fija entre la cantidad de radiación infrarroja emitida por el objeto y su temperatura, pudiéndose determinar aproximadamente ésta, midiendo la cantidad de energía radiada.

Todos los cuerpos animados e inanimados, emiten energía de su superficie; esta energía es emitida en forma de onda electromagnéticas las cuales viajan a la velocidad de la luz a través del vacío, aire u otro medio conductivo.

El espectro infrarrojo es la porción de radiación electromagnética la cuál concierne principalmente al calor. A medida que la temperatura de un cuerpo se incrementa, la energía radiada de ese cuerpo se incrementa a la cuarta potencia de la temperatura y el pico de la curva de energía es localizado cada vez a longitudes de onda más cortas (hacia la luz visible).

Cuando una fuente de calor radia hacia un cuerpo más frío que él, la energía infrarroja transferida que puede alcanzar el cuerpo, es absorbida y convertida en calor que se refleja en la superficie del cuerpo o transmitida completamente a través del cuerpo. Puesto que alguna de estas tres cosas o las tres pueden suceder, entonces la cantidad de energía absorbida, reflejada y transmitida deberá ser el 100 % de la energía radiada de la fuente.

El cuerpo ideal para medición de temperatura sin contacto y la fuente contra la cuál los instrumentos son calibrados, es el cuerpo negro, que está definido como un cuerpo el cuál emite la máxima cantidad de radiación a una temperatura dada.

No solamente el calor es importante, sino también, el material y el acabado. Dentro de los materiales que son radiadores (absorvedores) y con características de cuerpo negro, son el cartón, asbestos y hules. Metales altamente pulidos son pobres cuerpos negros y por lo tanto buenos reflectores.

Quando el cuerpo negro regresa la radiación a la fuente o a cualquier otro cuerpo, regresará la cantidad máxima posible de energía que un cuerpo negro.

Un material el cual emite menos energía que la de un cuerpo negro y con la misma distribución espectral es llamado cuerpo gris, por ejemplo, un cuerpo gris con un coeficiente de absorción de .7, con reflectancia de 0.3 y una transmisión a cero. Esto significaría que el 70% de la energía es absorbida, el 30% es reflejada fuera de su superficie comparado con la de un cuerpo negro.

II. 4.2 APLICACIONES.

La termografía es una técnica ideal para la inspección de equipos eléctricos, ya que nos permite realizarlas con los equipos en operación sin estar en contacto con ellos.

Nos permite la detección de anomalías y evaluaciones en tiempo real de equipos en funcionamiento ya sean mecánicas o eléctricas, donde la temperatura sea una característica fundamental de indicación de una operación anormal.

El objetivo que se persigue al realizar una inspección de las características del equipo y las condiciones de operación, es la de tomar una decisión respecto a si realizamos una inspección termográfica cualitativa o cuantitativa.

La inspección termográfica cualitativa es la más indicada para cuando no se cuenta con parámetros numéricos de referencia y los diferentes patrones térmicos de la imagen obtenida indiquen que los componentes están funcionando en forma

anormal. También es recomendable para realizar estudios comparativos entre equipos similares que realicen la misma función, pudiendo detectar en los patrones térmicos de cada equipo diferencias significativas que indiquen un comportamiento diferente.

La inspección termográfica cuantitativa es la más indicada para cuando se cuenta con parámetros numéricos de referencia y se desea determinar si los valores de temperatura de los componentes están dentro del rango de trabajo adecuado.

II.4.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO O PROCEDIMIENTO DE LA INSP

El principio de funcionamiento, * consiste en medir la radiación infrarroja que proviene de una determinada dirección mediante un detector cuántico. los lentes y demás elementos ópticos están contruidos en materiales transparentes al infrarrojo, como el germanio y con recubrimientos especiales para filtrar la longitud de onda no deseada. Para generar una imagen se varía la dirección del haz al que es sensible el aparato, mediante reflexión o refracción en espejos oscilantes, sincronizándolos para conseguir un formato de barrido por líneas similares al de las imágenes de televisión y en algunos casos compatibles con los monitores y equipos de vídeo de formato comercial.

Para tener una sensibilidad suficiente el detector debe ser enfriado a temperaturas del orden de - 200° C, para lo que se emplean crióstatos refrigerados por expansión de gases como Argón o Nitrógeno a presión (criostato joule-Thomson), o pequeñas recipientes criogénicos que se rellenan periódicamente de nitrógeno líquido (vasos Dewar). En algunos equipos se utiliza la refrigeración termográfica (efecto Peltier), obteniéndose con tres etapas, temperaturas del orden

* consultar anexo de Normas de Termografía

de - 75° C, con lo que se obtienen sistemas más fáciles de empleo a costa de perder resolución y sensibilidad.

II. 4. 4 VENTAJAS

Gracias a las inspecciones termográficas se podrá planear mejor el mantenimiento, obteniéndose los siguientes beneficios:

- 1.- El responsable de mantenimiento conocerá exactamente que problemas existen y sus características.
- 2.- Los costos por mano de obra se reducirán ya que los recursos podrán incrementarse para realizar las reparaciones en lugar de probar que equipos están en condiciones satisfactorias y no requieren mantenimiento.
- 3.- Las prioridades de mantenimiento se establecerán de acuerdo a la gravedad del problema, reduciendo los costos con un programa apropiado.
- 4.- Con un mantenimiento preventivo efectivo, la vida del equipo se incrementará, retardando la salida del capital para reemplazar el equipo.
- 5.- Los costos de reparación por emergencia en término de tiempo extraordinario, los elevados precios de las partes de reemplazo de urgencia y embarque así como la pérdidas de producción por paros no planeados, podrán ser reducidos.
- 6.- Las inspecciones infrarrojas podrán evaluar la calidad de los trabajos de reparación efectuados, un programa de mantenimiento preventivo efectivo disminuye la probabilidad de obtener fallas repentinas de los equipos y sistemas.

II.4.5. EQUIPOS DE TERMOGRAFÍA.

Actualmente, existe una gran variedad de equipos disponibles en el mercado, algunos de ellos logando a discriminar diferencias de temperatura de sólo 0.1° C y alcanzando medidas de temperatura de -20° a 1500° C.

La tecnología que ha hecho esto posible, proviene del desarrollo realizado en terrenos de la investigación militar y espacial. Estos desarrollos incluyen detectores cuánticos de respuesta rápida, sistemas ópticos con una transmisión muy alta en la región infrarroja, sistemas electromecánicos de alta precisión para la exploración de la imagen y avances en la micro-electrónica que permite la amplificación de la señal con una ganancia y bajo ruidos, así como la realización de los circuitos de control de los equipos.

En función de sus prestaciones los equipos de infrarrojo tradicionalmente se han clasificado en tres grandes categorías según su aplicación:

- a) Medición de puntos.
- b) Radiómetro línea
- c) Radiómetros de imagen

Los equipos de medición de puntos coleccionan la energía radiante de un punto o área, sobre una superficie blanca y provee una indicación de radiación o temperatura basada sobre la energía integrada dentro de ese punto.

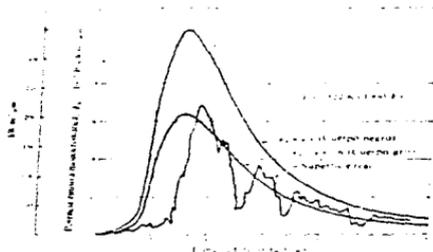
Los radiómetros de imagen de la energía a instrumentos termográficos proveen una imagen de la energía o temperatura distribuida sobre una área inspeccionada sobre la superficie blanca. Esto es, la forma de la forma de una intensidad-modulada de calor negro y blanco o una imagen de calor sintetizada.

PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN

Es posible establecer la temperatura de un cuerpo por medio de la radiación térmica que emite, por lo general se emplean dos Métodos. El primero es la pirometría óptica y el segundo es la determinación de emitancia. Para poder entender estos métodos es necesario describir la naturaleza de la radiación térmica.

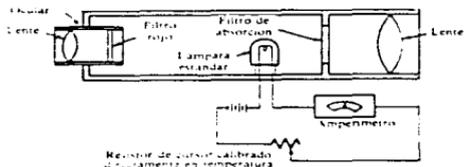
La radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura, esta radiación se distingue de otros tipos de radiación electromagnética, como las ondas de radio y los rayos X, los cuales no se propagan como consecuencia de la temperatura. La radiación térmica está comprendida en la región de longitud de onda a 0.1 a 100m ($1 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$).

Con frecuencia, las superficies reales presentan emisividades altamente variables sobre el espectro de la longitud de onda. La siguiente figura ilustra las características distintivas de las radiaciones de un cuerpo negro y un cuerpo gris (un cuerpo gris es aquel para el cual la emisividad es constante para todas las longitudes de onda).



Para fines de análisis, la superficie real frecuentemente se calcula aproximándola por medio de un cuerpo gris que tiene una emisividad total promedio de la superficie.

Considérense ahora la medición de temperatura mediante la pirometría óptica. Este método se refiere a la identificación de la temperatura de una superficie, mediante el color de la radiación emitida; conforme se calienta una superficie, se vuelve color rojo oscuro, luego naranja y por último blanca. Los puntos máximos en las curvas de radiación del cuerpo negro se corren a longitudes de onda más cortas con el aumento de temperatura. El corrimiento de estos puntos máximos explica el cambio de color conforme se calienta el cuerpo, es decir, las temperaturas más altas resultan de una concentración de la radiación en la porción de longitud más corta de espectro. El problema de la medición de la temperatura consiste en establecer la variación de la temperatura mediante el color del objeto. Con este propósito se construye un instrumento como se muestra en la figura siguiente. En forma esquemática. La radiación de la fuente se ve a través de un arreglo del lente y filtro. Un filtro de absorción al frente del dispositivo reduce la intensidad de radiación, incidente, de modo que la lámpara estándar puede operarse a un nivel más bajo. La lámpara estándar se coloca en la trayectoria óptica de la radiación incidente. Al ajustar la corriente de la lámpara, puede hacerse que el color del filamento iguale el color de la radiación incidente. El filtro rojo se instala en el ocular a fin de asegurarse que las comparaciones se efectúan para radiación esencialmente monocromática, eliminando algunas de las incertidumbres que resulten de la variación de las propiedades de la radiación con la longitud de onda.



Esquema del pirometro óptico

La figura 2.4 C, ilustra la apariencia del filamento de la lámpara, tal como se ve en el ocular, cuando se alcanzan las condiciones de balance, el filamento parece desvanecerse del campo total de la radiación incidente. La calibración de la temperatura se realiza en términos de corriente de calefacción de la lámpara.

La temperatura de un cuerpo puede medirse también mediante la determinación de la energía emitida por el cuerpo.



En la práctica, el pirometro óptico es el más usado de los métodos para medir la temperatura por radiación, ya que es relativamente barato y portátil y la determinación no depende demasiado de las propiedades de la superficie del material. La medición de la energía radiante de una superficie puede ser bastante exacta cuando se emplean los instrumentos adecuados. Si las propiedades de la emitividad de la superficie se conocen con exactitud, esta medición puede resultar en determinaciones muy exactas de la temperatura.*

LIMITACIONES.

- El equipo es costoso.
- Requiere de personal altamente capacitado para el manejo de los equipos.

* Para mayor información consultar Métodos experimentales para ingenieros Cap. 2,3,4 y 7. Holman Mac Graw Hill.

2.5. ULTRASONIDO

2.5.1. GENERALIDADES

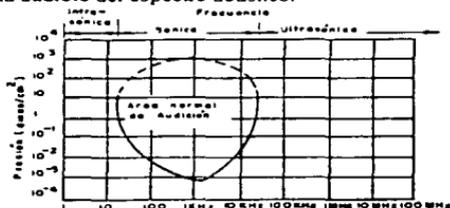
La técnica de ultrasonido tiene su origen hace muchos años en el antiguo ensayo de percusión empleado en la inspección de las ruedas de los vagones del ferrocarril siendo poco confiable este tipo de ensayo para poder detectar discontinuidades, siendo hasta el año de 1930 cuando se reconoce el uso de la energía ultrasónica, donde los rusos y alemanes desarrollan este método.

Para el año de 1940 aproximadamente se desarrolla el primer detector de discontinuidades del tipo pulso-eco con el cual solo se requiere un sólo lado de acceso en la muestra, dado que el sistema empleado maneja solo energía reflejada y no pérdida de energía.

Actualmente se han desarrollado equipos de inspección para realizar la detección de discontinuidades de una manera rápida y confiable aunado a otras características de los mismos en la realización de otras funciones.

La inspección ultrasónica es un procedimiento no destructivo de tipo mecánico diseñado para detectar discontinuidades y variaciones internas en los materiales.

Las ondas ultrasónicas son ondas acústicas de idéntica naturaleza (mecánica o elástica) como las ondas sónicas, pero caracterizándose en que operan a frecuencias por encima de la zona audible del espectro acústico.



II. 5. 3. VENTAJAS.

- 1.- Evalúa materiales orgánicos y no orgánicos.
- 2.- Capacidad de registro constante y automática
- 3.- Clara definición de la discontinuidad (localización, orientación y tamaño)
- 4.- Resultados inmediatos
- 5.- Excelente profundidad de penetración
- 6.- Como requisito un sólo lado del material que se está inspeccionando
- 7.- Alta sensibilidad para detectar reflectores pequeños. (discontinuidades)
- 8.- No requiere condiciones especiales de seguridad.

II. 5. 3. LIMITACIONES.

- 1.- Las partes pequeñas y de figura compleja son difíciles de evaluar.
- 2.- Requiere acoplantes.
- 3.- Hay que hacer referencia a normas establecidas y bloques de calibración
- 4.- Se requieren operadores altamente capacitados para la evaluación
- 5.- El equipo es de alto costo según el grado de sensibilidad deseada.

2.5.4. PRINCIPIO DEL MÉTODO.

Como ya se mencionó la prueba por ultrasonido consiste en el empleo de ondas mecánicas que viajan a través de un material, en el que sus partículas vibran a la misma frecuencia que las ondas sonoras con respecto a un punto fijo, sin embargo las partículas no viajan con ellas si no que sólo reaccionan a su energía, que es la que se mueve a través del medio.

Existe una amplia variedad de frecuencias dentro de las cuales se pueden generar ondas mecánicas, pero las ondas sonoras están restringidas a los límites de frecuencia que pueden estimular el oído y el cerebro humano, al dar la sensación de sonido. Estos límites son aproximadamente 20 ciclos por segundo, hasta 20, 000 ciclos por segundo. Una frecuencia inferior al límite audible, se llama infrasonica; en el caso de que la frecuencia sea superior al límite audible se denomina Ultrasonica.

Con respecto a los ensayos no destructivos las frecuencias utilizadas para la detección de discontinuidades en los materiales comienzan en la proximidad de la zona audible (aproximadamente 2.5 000 c/s) y se extienden hasta los 25 000 000 ciclos/seg.

Para entender claramente el funcionamiento de la inspección por ultrasonido, es necesario conocer las definiciones* de algunos conceptos que caracterizan a las ondas y su interacción con la materia.

AMPLITUD (): Es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición cero.

FRECUENCIA (): Se define como el número de veces que ocurre un evento repetitivo (ciclo) por unidad de tiempo. Su unidad de medición es ciclo/segundo (Hertz).

LONGITUD DE ONDA (): Es la distancia ocupada por una onda completa y es igual a la distancia a través de la cual se mueve la onda por periodo o ciclo.

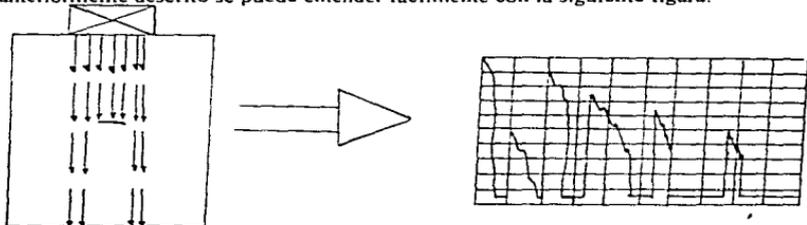
VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN O VELOCIDAD ACÚSTICA (): Es la velocidad de transmisión de la energía sonora a través de un medio en la dirección de propagación.

* Consultar tablas de velocidades y de impedancias en el anexo.

En el principio físico en el que se basa este método de inspección es la impedancia acústica, que es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda ultrasónica y es igual al producto de la velocidad de propagación de un modo de vibración determinado por la densidad del material.

El equipo de ultrasonido genera pulsos eléctricos muy breves del orden de microsegundos, con una diferencia de potencial que va desde 100 hasta 1000 volts y con una frecuencia de repetición comprendida entre 125 y 5000 pulsos por segundo.

Los pulsos eléctricos generados por el equipo son aplicados al transductor el cual por medio de un cristal eléctrico los transformen vibraciones mecánicas de poca duración y frecuencias del orden de 0.5 a 25 megahertz. Estas vibraciones mecánicas (pulso de ondas ultrasónicas) son transmitidas a la pieza a examinar, donde se propagan y reflejan en la superficie opuesta a la incidencia o en la discontinuidad si ésta se encuentra en su trayectoria. Los pulsos reflejados son captados por el transductor y debido al efecto piezo electrónico directo, transformados en pulsos eléctricos de la misma frecuencia, los cuales son analizados y registrados en el equipo, apareciendo sobre la pantalla el tiempo real, el pulso inicial, las posibles reflexiones o ecos de discontinuidades y el pulso de la reflexión de la pared posterior, comúnmente denominado primer eco de fondo. Lo anteriormente descrito se puede entender fácilmente con la siguiente figura:



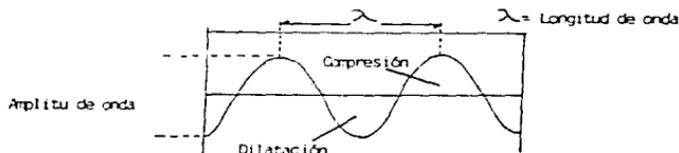
II.5.5 MODOS O TIPOS DE ONDA.

Las partículas de un medio en el que se propaga una onda ultrasónica presentan diversos desplazamientos, dando origen a diferentes tipos de ondas, las cuales para la inspección por ultrasonido, las siguientes son las de mayor interés:

- 1.- Ondas longitudinales.
- 2.- Ondas Transversales
- 3.- Ondas de superficie.
- 4.- Ondas de placa.

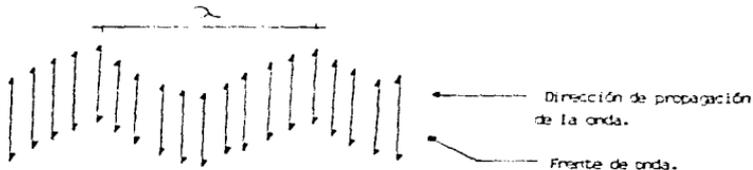
ONDAS LONGITUDINALES.

Este tipo de onda, también es conocida como de compresión de desplazamientos de las partículas son paralelos a la dirección de propagación del ultrasonido, creando de esta manera zonas de compresión y de dilatación con separación entre si de $1/2\lambda$ dentro del material en que se propaga. Este tipo de onda puede transmitirse a través de sólidos, líquidos y gases, su velocidad de viaje es la más alta respecto a los otros modos, a partir de este tipo de onda se pueden generar otros diferentes tipos, ya sea por un ángulo de incidencia diferente al normal o por la geometría de la pieza.



ONDA TRANSVERSAL O DE CORTE.

En este tipo de onda el movimiento de las partículas es transversal a la dirección de la propagación, por lo cual es necesario que cada partícula exhiba una gran fuerza de atracción hacia sus vecinas, con lo que al moverse hacia atrás y hacia adelante provoca la oscilación de las mismas.

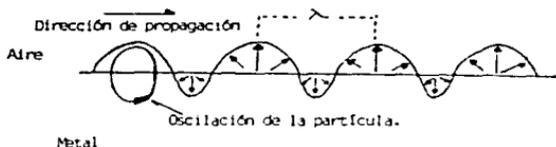


Esta onda no se transmiten en gases y líquidos, debido a la poca resistencia al desplazamiento de las moléculas, siendo solo en los cuerpo sólidos en donde se pueden alcanzar distancias apreciables de propagación.

Para desplazamientos en el mismo material la onda transversal viaja aproximadamente a la mitad de la velocidad de una onda longitudinal, implicando esto, longitudes de onda más cortas que las longitudinales de la misma frecuencia, siendo este tipo de onda la que se utiliza en la inspección de uniones soldadas.

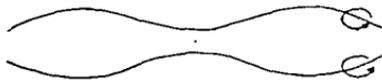
ONDAS DE SUPERFICIE.

También conocidas como de Raleigh cuyos desplazamientos son sobre la superficie del material y su máxima penetración es de una longitud de onda siendo su trayectoria elíptica y su velocidad es de aproximadamente el 90% de la velocidad de una onda de corte.



La aplicación de este tipo de onda es la detección de discontinuidades en superficies poco rugosas, son sensibles y se atenúan cuando existe un segundo medio en su trayectoria.

ONDA DE PLACA O LAMB. Si su material sólido se reduce en su espesor se obtiene una placa, y si se le aplica una onda superficial, la onda puramente de superficie ya no existe como tal debido a lo delgado de la placa, a no ser que su longitud de onda sea considerablemente menor que dicho espesor. Cuando el espesor es del mismo valor que la longitud de onda o múltiplo de ella se producen las denominadas ondas de placa o de Lamb, y pueden ser ondas simétricas o de dilatación u ondas asimétricas o de flexión.



ONDA SIMÉTRICA

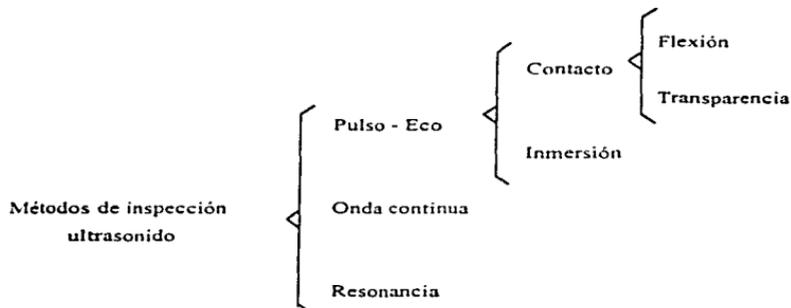


ONDA ASIMÉTRICA

Su velocidad de propagación depende del espesor del material, de la frecuencia, ángulo de incidencia, del modo y tipo de onda.

PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN.

Las principales técnicas o métodos que a su vez pueden adoptar otras variantes para la aplicación de las ondas ultrasónicas son:



PULSO ECO.

Consiste en proyectar sobre la superficie, generalmente en un cuerpo sólido impulsos cortos de vibración ultrasónica; que por medio de un líquido acoplante se transmitirá al cuerpo sólido o pieza inspeccionada de tal forma que la energía reflejada en las discontinuidades o en la pared posterior, se proporciona una buena base para valorar el tiempo (microsegundos), transcurridos en ida y vuelta del impulso y permita así determinar la distancia a la cual se encuentra la discontinuidad desde la superficie o la distancia a la pared posterior. La información a analizar en una inspección por este método es la posición del transductor, amplitud del eco recibido, recorrido de las ondas en la pieza y la forma del pulso.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Como ya se ha mencionado con anterioridad la técnica de pulso eco contacto directo se aplica colocando el transductor sobre la superficie de la pieza a evaluar a través de una delgada capa de líquido acoplante que crea una continuidad en la transmisión de los pulsos de ondas ultrasónicas, pudiendo ser de reflexión o de transparencia.

Por lo que respecta a las técnicas pulso eco por inmersión, el acoplamiento acústico entre el transductor y la pieza se realiza a través de un trayecto previo en agua.

ONDA CONTINUA.

Es la técnica en que la energía es transmitida mediante vibraciones continuas, con la finalidad de medir la energía transferible a través de las zonas especificadas de un material; utiliza dos transductores al igual que el método de transparencia.

RESONANCIA.

Este método es el más antiguo de los ensayos no destructivos, en donde, las ondas longitudinales provenientes de la vibración del cristal del transductor originan que las partículas de la pieza vibren en dirección de su espesor, es decir, la energía eléctrica es transformada en vibraciones mecánicas y transmitidas continuamente dentro de la pieza de ensayo. Cuando la resonancia ocurre en gran cantidad de energía vibracional es recibida por el transductor, transformándose en energía eléctrica aumentada y la cual es indicada sobre el sistema de exposición como una pantalla de osciloscopio, un sonido audible, un indicador luminoso, etc.. Esta frecuencia de vibración conocida como la frecuencia fundamental de resonancia (es la misma) causará que la respuesta proporcionada por el equipo sea de máxima amplitud o intensidad.

NOTA: Una vez presentado el panorama general de ensayo de ultrasonido, podemos mencionar que la aplicación de la técnica requiere de que el personal cuente con los conocimientos necesarios para inspeccionar piezas, manejando diferentes tipos de transductores para la elección y selección del más adecuado en función de las probables indicaciones a detectar, conveniencia de frecuencia de trabajo, calibración de equipo con los bloques correspondientes etc. Y sobre todo contar con los conocimientos mínimos necesarios para lograr una interpretación adecuada de las indicaciones.

TRANSDUCTORES.

El transductor es un ensamble unitario que permite generar y/o detectar ondas ultrasónicas, es decir, convierte energía mecánica en energía eléctrica y viceversa, todo esto logrando por medio del efecto piezoeléctrico, que es el fenómeno mediante el cual ciertos cristales, cuando se someten a esfuerzos o a una presión mecánica, vienen a ser eléctricamente polarizados y de allí desarrollan un voltaje eléctrico entre superficies opuestas (efecto piezoeléctrico directo) y cuando la corriente eléctrica es aplicada a un cristal, este vibrará (efecto piezoeléctrico invertido). Los materiales utilizados para la elaboración de transductores pueden ser: cuarzo, cerámicas polarizadas (titanio de bario, metaniobato de plomo, zirconato titanato de plomo) sulfato de litio.

La capacidad de un transductor, así como del sistema de inspección es básicamente definido por la sensibilidad y la resolución..

SENSIBILIDAD.

Es la habilidad de un transductor para detectar ecos de pequeñas discontinuidades. La sensibilidad de un transductor es mayor entre mayor eficiencia tenga para convertir la energía en energía mecánica o ultrasónica.

RESOLUCIÓN.

Es la habilidad de un transductor para detectar a la vez discontinuidades que se encuentran muy cercanas entre sí y a cierta distancia del transductor. La resolución puede dividirse en dos clases: En resolución de superficie cercana y resolución en superficie de pared posterior.

Los transductores pueden clasificarse en dos grupo: Transductores de contacto y transductores de inmersión; los de contacto se aplican directamente a la superficie de la pieza, ejerciendo cierta presión y empleando un medio acoplante entre las superficies, clasificándose a su vez en transductores de incidencia normal o también llamados de haz recto y transductores angulares.

PALPADORES.

En la inspección ultrasónica se define como transductor a aquel elemento que tiene por función transformar energía mecánica (vibraciones) en energía eléctrica y viceversa, que es el caso de los cristales piezoeléctrico. Así mismo se define como palpador (sonda o unidad de búsqueda) al arreglo que permite la manipulación del transductor para efectuar la inspección.

Los componentes de un palpador común pueden ser:

- a) Carcaza metálica es un envolvente que sirve como blindaje y proporciona la resistencia metálica.
- b) Cristal, es una pequeña placa de material piezoeléctrico y que es el elemento principal del palpador.

- c) **Electrodos, placas conductoras de la corriente eléctrica que se encuentran en las caras del cristal.**
- d) **Placa protectora, su presencia en el transductor depende de las propiedades físicas y de la resistencia mecánica del cristal al desgaste con la superficie de prueba.**
- e) **Material de respaldo, sirve como soporte del cristal y como amortiguador mecánico y acústico.**

Existen diferentes tipos de palpadores y también se pueden clasificar de diferentes formas, aquí presentamos una de ellas.

- 1.- Por el grado de amortiguamiento del transductor.
- 2.- La forma de propagación del haz.
- 3.- Por la técnica de inspección.
- 4.- Por el número de cristales.
- 5.- Aplicaciones especiales.

En el caso del grado de amortiguamiento, este determina si el transductor es de banda ancha o de angosta. El ancho de la banda significa la gama de frecuencias que son iguales o mayores al 70% de la frecuencia central.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Una vez que se aplicó la señal a la pieza se analiza el comportamiento de esta en el material. Si la señal es permanente y no sufre cambio de intensidad y posición en la lectura de registro, se determina que no existe discontinuidad pero si hubiese cambios en cuanto a posición y dirección en las propiedades acústicas, es causa de variación de volumen, un defecto o una discontinuidad y el haz de ultrasonido lo registrará.

La aplicación de este ensayo exige una gran capacidad y experiencia del personal para su aplicación, con esto podemos garantizar y asegura un resultado confiable de las interpretaciones, de las lecturas obtenidas.

BLOQUES DE CALIBRACIÓN.

En las inspecciones ultrasónicas, todas las indicaciones de discontinuidades son comparadas con los estándares o bloques de referencia, los cuales son empleados para calibrar el equipo de ultrasonido y evaluar la indicación de la discontinuidad de la pieza inspeccionada.

Cabe mencionar que no solamente se tienen bloques de referencia que contengan discontinuidades formadas artificialmente, si no que también se puedan tener estándares de referencias naturales que son obtenidos de piezas que presentan discontinuidades tipo que son tomados como punto de comparación y de materiales afines al proceso de inspección.

Existen bloques de referencia para aplicaciones específicas normalizadas entre los que se encuentran: Para medición de espesores, verificación del ángulo del transductor, para el perfil del haz, para calibración de distancia y sensibilidad, para calibración del rango de la línea de tiempo base, para obtención de la curva de corrección distancia-amplitud, etc..

EQUIPOS.

Los componentes básicos de un sistema de inspección por ultrasonido consisten en:

- 1.- Unidad ultrasónica (unidad electrónica)
- 2.- Cable coaxial de interconexión entre la unidad ultrasónica y el palpador.
- 3.- Palpador

4.- Material a evaluar.

Actualmente se han desarrollado un sin número de unidades ultrasónicas que cuentan con las características ajustables a cada tipo de necesidad y el costo varía de acuerdo al grado de resolución. Existen desde los portátiles hasta los gabinetes ultrasónicos.

2.6 RADIOGRAFÍA.

2.6.1. GENERALIDADES.

La prueba radiografica como prueba no destructiva, ha permitido asegurar la integridad y confiabilidad de un producto y proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y perfeccionamiento de un producto en particular. Además la principal ventaja de la prueba, es la de poder proporcionar un registro permanente.

La radiografía utiliza radiación de alta energía capaz de penetrar materiales sólidos, la condición interna de estos materiales es registrada en una película radiografica o pantalla fluorescente. Esta prueba es factible de ser utilizada en una amplia variedad de materiales y formas para detectar discontinuidades en la superficie o en su interior. Concluyendo, la inspección por radiografía industrial se define como un procedimiento de evaluación no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades microscópicas y radiaciones en la estructura interna o configuración física del material.

TIPOS DE RADIACIÓN

Los principales tipos de radiación conocidos son:

1.- Radiación alfa ()

2.- Radiación beta ()

3.- Radiación gamma ()

Radiación Alfa Esta radiación son núcleos del elemento helio con las siguientes características.

- Son partículas con masa (6.62×10^{-24} g)
- Altamente ionizantes (10 veces más que los rayos gamma)
- Son desviados en un campo magnético, hacia el polo negativo
- Tienen bajo poder de penetración.
- Su velocidad es aproximadamente de 1/10 veces la velocidad de la luz.
- Pueden ser detenidas fácil y efectivamente por unas hojas de papel.

Radiación Beta: Es la emisión de un electrón desde el núcleo. Esta emisión puede ser considerada como un cambio de neutrones en un protón y un electrón emitido, teniendo las siguientes características.

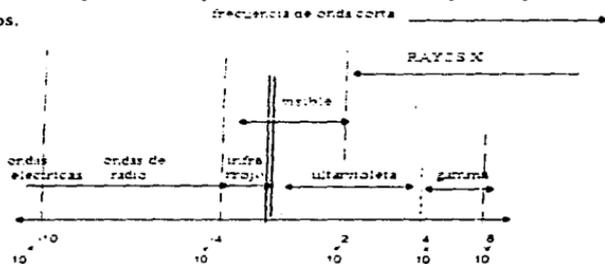
- Son partículas con carga negativa
- Tienen la misma masa que los electrones
- Son emitidos desde el núcleo
- Su velocidad es de 9/10 de la velocidad de la luz
- Son desviadas por un campo magnético hacia el polo positivo
- Tienen poder de penetración (no muy alta)
- Pueden ser detenidos completamente con materiales plásticos con un espesor promedio de por lo menos 6.2 mm.

Radiación Gamma: Son las de mayor poder de penetración, por lo que es más útil en la inspección radiográfica y tienen las siguientes características.

- Los rayos gamma son ondas electromagnéticas
- Son emitidas desde el núcleo

- No poseen masa ni carga eléctrica
- No son desviados por un campo magnético
- Tienen bajo poder ionizante
- Presentan un elevado poder de penetración en materiales sólidos.
- Viajan en línea recta a la velocidad de la luz.
- Presentan una longitud de onda corta

En la siguiente figura se muestran los rayos X que tienen alta energía y longitud de onda relativamente corta en el aspecto de onda electromagnética, por lo cual tienen capacidad de penetrar en materiales opacos, para detectar defectos internos.



Tanto los rayos X como los rayos gama, solo difieren de los otros tipos de radiación electromagnéticas (luz visible, microondas, etc.) en su longitud de onda. Ambos tipos de radiación, son físicamente indistinguibles, solamente cambian en la manera que son producidos.

VENTAJAS

Las ventajas mas notables por radiografía industrial, al compararla con otros métodos no destructivos son:

- 1.- Su uso se extiende a diversos materiales
- 2.- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- 3.- Se obtiene un registro permanente de la inspección
- 4.- Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.
- 5.- El grado de exactitud es altamente confiable
- 6.- Existe equipos portátiles.

LIMITACIONES

Las principales limitaciones son:

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

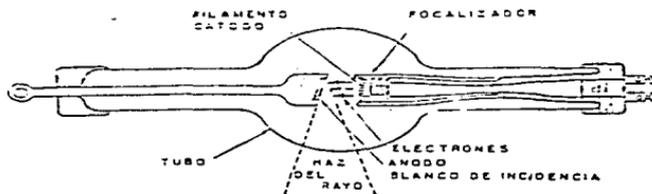
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Este ensayo se basa en la producción de rayos X y de rayos Gamma, los primeros se generan en un tubo de rayos X figura 2.6 A al cual se le tiene que suministrar un voltaje que generalmente es controlado por un reostato, este suministrador genera la corriente eléctrica que calienta el filamento a

incandescencia, esto crea una nube de electrones al rededor del filamento. Cuando un alto voltaje es suministrado entre el anodo y el catodo los electrones son acoplados a través del espacio que se tienen al alto vacío entre el anodo y el catodo, chocando estos contra el material incidente o blanco de los electrones, el focalizador o enfocador es colocado de tal manera que el haz de electrones es concentrado sobre una área pequeña del material incidente a esta pequeña área del material de incidencia se le llama punto focal.

Hay tres características importantes de los tubos de rayos X que se deben tener presentes:

- 1.- La corriente del filamento de la cual controla la temperatura del mismo y la cantidad de electrones que son emitidos.
- 2.- El voltaje del tubo el cual controla la energía cinética de los electrones y por lo tanto la energía o poder de penetración del haz de rayos X.
- 3.- La corriente del tubo la cual esta directamente relacionada a la temperatura del filamento y es generalmente referida como el miliamperaje del tubo.



PRODUCCIÓN DE RAYOS GAMMA

Como ya se dijo anteriormente los rayos son ondas electromagnéticas de una longitud de onda relativamente corta que son emitidas durante la desintegración de isótopos inestables artificialmente producidos o naturales. La vida media es una

característica de las fuentes de rayos que va ligada al tipo de radioisotopos que contengan, ya que cada radioisotopo tiene una vida media característica. Otra característica de los rayos es la intensidad de la fuente, la cual es una medida de la actividad de una fuente dada.

Tiempo de reducción a la mitad
(aproximadamente)

SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

Naturales

Radio	1580 años
Radón	4 días
Mesotorio	26 años

Artificiales

Cobalto 60	5.3 años
Titanio 182	111 días
Iridio	74 días
Cesio	33 años

Sustancias radioactivas artificiales

Tiempo de reducción a la mitad
aproximadamente

Cobalto 60	5.3 años
Titanio 182	111 Días
Iridio 74	74 días
Cesio	33 años

2.6.2 PROCESO DE LA RADIOGRAFÍA.

En la radiografía se emplean películas como medio de registro, en la cual se puede observar el negativo de la imagen de la pieza que se inspecciona. La imagen presentara diferentes grados de oscurecimiento que son consecuencia de los diferentes grados de absorcion de la radiación por parte del objeto colocado en la trayectoria del haz.

Técnicas de exposición: La forma de efectuar el arreglo de la fuente, el objeto y la película se deben definir desde el principio, por que de ello dependerá las otras variables de la exposición.

Las técnicas de exposición mas usadas son:

- 1.- Pared sencilla, vista sencilla
- 2.- Doble pared, vista sencilla
- 3.- Doble pared, vista y lectura de las dos paredes
- 4.- Exposición con película múltiple.

La selección de cada técnica de exposición dependerá del tipo de pieza a inspeccionar, de la posibilidad de efectuar radiografía y de la clase de discontinuidades que se desea detectar. En general todas ellas pueden aplicarse a soldaduras, piezas fundidas, forjadas, laminadas etc.

II. 6.3 SELECCIÓN DE LA PELÍCULA

La selección de la película radiográfica para una aplicación particular se realiza tomando en cuenta la relación de equilibrio entre, la calidad deseada en la imagen radiográfica, el costo y el tiempo de exposición. La guía para la selección de la película en función del material, espesor y energía de la radiación se puede apreciar en el anexo (Tabla II.6.3).

DISTANCIA: La distancia máxima quedará determinada por un factor económico, aunque debe recordarse que entre mayor sea la distancia fuente-película se puede obtener mejor definición de la imagen, pero el tiempo de exposición se incrementa.

En general, existen dos reglas prácticas ampliamente aplicadas para la selección de la distancia fuente-objeto, las cuáles son:

- a) La distancia entre la fuente y el objeto debe ser por lo menos igual a ocho veces el espesor del objeto a radiografiar. Si el objeto debe ser por lo menos igual a ocho veces el espesor del objeto a radiografiar. Si el objeto es irregular, debe tomar el espesor mayor.
- b) La distancia entre la fuente y el objeto nunca debe ser menor a la diagonal del área a ser radiografiada.

De éstas dos, siempre se aplica la distancia que sea mayor, esto con el fin de prevenir problemas de baja exposición en los extremos o la formación de penumbra excesiva en los bordes de perfil del objeto a radiografiar.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN: De las variables que se pueden cambiar durante una exposición radiográfica, el tiempo es la más sencilla de modificar y es por ello que la mayoría de los cálculos se basan en la predicción del tiempo de exposición.

La correcta selección determinará una buena calidad en la película radiográfica; éste, puede calcularse por medio de:

- 1.- Gráficas de exposición
- 2.- Regla de cálculo
- 3.- Curvas sensitométricas

De éstos, el más común y fácil de aplicar y utilizar es el de las gráficas de exposición, ya que los fabricantes de las películas proporcionan gráficas

aproximadas que son para una combinación particular de equipo, objeto, película, tiempo y proceso de revelado.

II.6.4 REVELADO.

Las técnicas de radiografía incluyen las operaciones del proceso del revelado o procesado de la película, a través del cuál se plasma la imagen latente durante a exposición. La carga y descarga del portapeliculas, así como el procesado de la película se realizan en una área llamada cuarto oscuro, que es el lugar donde se puede manejar la película sin que ésta se dañe por acción de la luz visible.

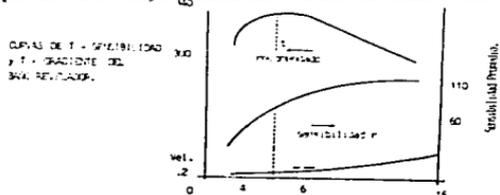
Se denomina revelado al proceso químico mediante el cuál se transforma la imagen latente en imagen visible. Por las características de las reacciones químicas que se requieren para obtener una radiografía, ésta se realiza empleando diferentes soluciones en pasos o baños sucesivos.

Estos baños deben estar a una temperatura aproximadamente igual para evitar problemas con la calidad de la película, ya que esta es muy sensible a los cambios de temperatura al ser procesada.

A continuación se describirá brevemente los pasos a seguir para el revelado de una película radiográfica.

BAÑO REVELADOR: El proceso de revelado se inicia cuando se introducen las películas en el tanque de revelado. En este paso, los haluros de plata van a reaccionar a diferentes velocidades dependiendo de la forma que hayan sido ionizados por la radiación.

Puede afirmarse que dentro de ciertos límites a mayor tiempo y temperatura de revelado corresponde una mayor D_{10} densidad como se ilustra en el siguiente diagrama.



El tiempo de revelado debe ser controlado con un cronometro y en función de la temperatura del baño. La película debe permanecer todo el tiempo perfectamente cubierto por la solución y debe agitarse vigorosamente al menos el primer minuto del proceso.

Existen ciertas precauciones que se deben tener en el proceso, algunas de las cuáles se mencionan a continuación.

- 1) Conservar la solución del revelador limpia, libre de polvo o agentes contaminantes.
- 2) Conservar óptima la temperatura de revelado.
- 3) Agitar vigorosamente las películas durante los primeros 30 segundos de revelado para eliminar posibles burbujas de aire y después de cada minuto durante el tiempo de revelado para que éste sea uniforme.
- 4) No sacar las películas del baño hasta que haya transcurrido el tiempo total de revelado.
- 5) Al sacar la película del baño no se recomienda escurrirla, lo que evita que se oxide el revelador.

BAÑO ÁCIDO: Al sacar la película del revelador, una pequeña cantidad de solución alcalina se conserva sobre ésta, por lo que antes de pasarla al fijador que es de carácter ácido se deberá sumergir durante 30 ó 60 segundos en un baño ácido, también conocido como baño de paro, cuya función es la de neutralizar químicamente a los agentes alcalinos y detener rápidamente la acción del revelador que ha impregnado la gelatina.

Si la película no es tratada con el baño ácido, deberá ser lavada inmediatamente después del revelador durante tres minutos en agua corriente circulante.

BAÑO FIJADOR: El baño de fijado es una solución acuosa que tiene por función principal eliminar la plata no metálica y endurecer la gelatina. Este normalmente tendrá agentes fijadores conservadores, endurecedores de la gelatina, acidificadores y amortiguadores químicos.

Una regla práctica del proceso de revelado establece que la película debe permanecer en el baño fijador un tiempo igual a dos veces el tiempo de revelado. Al término del fijado, la película ya tiene una imagen clara y definida, aunque la gelatina está impregnada de la solución fijadora por lo cual se debe proceder a un lavado para eliminar todos los químicos que pudieran alterar la imagen posteriormente.

LAVADO: Después del fijado la película debe recibir un lavado para eliminar los componentes del fijador, el enjuague se realiza de preferencia con agua corriente, debiendo cuidarse que toda la película sea perfectamente lavada durante un tiempo que dependerá de la temperatura del agua.

Los tiempos recomendados para el enjuague son los siguientes.

Temperatura	Tiempo
5 a 10 grados C.	30 minutos
13 a 25 grados C.	20 minutos
26 a 30 grados C.	15 minutos

No obstante debe evitarse en lo posible que el agua se encuentre a una temperatura superior a los 35 grados c. También debe evitarse que la película permanezca más de 30 minutos en el agua ya que se puede dañar la gelatina al fracturarse o disolverse.

SECADO: El último paso del proceso de la película es el secado, el cual debe hacerse preferentemente en una secadora; en caso de no contar con ella, éste se realizara en un cuarto o armario seco libre de polvo donde exista una suave corriente de aire que permita el secado uniforme de la película, ya que un secado ni uniforme producirá deformación del acetato.

II.7 PRUEBAS PARA LA OBRA CIVIL DEL S. T. C. METRO

II.7.1 PRUEBA DE ULTRASONIDO.

Las pruebas tradicionales de resistencia del concreto se practican sobre especímenes especialmente preparados, que por fuerza, no son verdaderamente representativos del concreto de la estructura real. Ciertamente es posible cortar una muestra de la misma estructura, pero esto da como consecuencia un daño al elemento afectado; además este procedimiento es demasiado costoso para aplicarlo como método estándar.

Por razones, se ha intentado medir de manera no destructiva alguna propiedad física del concreto relacionada con su resistencia. Se ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el concreto.

No existe ninguna relación especial entre ésta velocidad y la resistencia del concreto, pero en condiciones especificadas, las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad del concreto, un cambio en la densidad da como resultado un cambio de velocidad de pulso.

Así pues, un descenso en la densidad causado por un incremento en la relación agua/cemento hace disminuir tanto la resistencia a la compresión del concreto, como la velocidad de un pulso, transmitido a través de éste.

El aparato para medir con gran precisión la velocidad de pulso ultrasónico en el concreto esta incluido en la norma ASME C - 597-71 Y EN LA BS 4408 - parte 5: 1971.

La velocidad de la onda no se determinara directamente, sino que se calculador el tiempo que tarda la pulsación en recorrer una distancia medida.

El transductor está en contacto con el concreto, de manera que las vibraciones pasan a través de éste y son recogidas por el transductor que está en contacto con la cara opuesta del espécimen sujeto a prueba.

Los transductores generan una señal eléctrica, que es alimentada a través de un amplificador a una placa de un tubo de rayos catódicos. Una segunda placa marca el tiempo en intervalos fijos. Sin embargo, al incrementar la longitud del recorrido decrece la agudeza de la onda inicial, por lo que no se logra mejoría alguna en la precisión.

Normalmente pueden probarse elementos de concreto con espesor de 0.1 a 2.5m. Pero se han hecho pruebas en elementos hasta de 15 m de espesor.

Además del control de calidad del concreto, la medición del pulso ultrasónico puede emplearse para detectar el desarrollo de grietas en estructuras tales como presas y para detectar el deterioro debido a heladas o acción química.

Estas son aplicaciones muy importantes de la técnica, la cual es adecuada para detectar cavidades en el concreto. Las grietas con un componente en ángulo recto a la propagación del pulso hacen que éste se difracte alrededor de la grieta. Esto aumenta el tiempo de recorrido del pulso y, por lo tanto, disminuye la velocidad aparente. Sin embargo cuando el plano de la grieta coincide con la dirección de propagación de pulso, esta puede pasar a cualquiera de los lados de la grieta sin afectar la velocidad del pulso.

El empleo de la técnica pulso - eco permite medir el espesor de caminos de concreto y losas similares.

II.7.2 PRUEBA DE CORAZONES.

II.7.2.1 GENERALIDADES.

Por lo general el corazón se corta con herramienta cortante rotatoria con broca de diamante. De esta manera se obtiene un espécimen cilíndrico que a veces contiene fragmentos ahogados de acero de refuerzo y normalmente con extremos de superficie irregular en vez de plana y cuadrada. El corazón debe sumergirse en agua, cabecearse y probarse en compresión en condiciones húmedas y de acuerdo con la BS 1881: parte 4: 1970, o con la norma ASTM C 42 - 77, sin embargo, por la otra parte el ACI recomienda la prueba en seco.

Las pruebas en seco indican y proporcionan valores de resistencia comúnmente alrededor de un 10% más elevados que cuando los corazones se prueban en estado húmedo.

La resistencia de los corazones es generalmente inferior a las de los cilindros estándar, en parte como consecuencia de la operación de taladro y en parte por que el curado en obra es inferior al curado prescrito para las muestras estándar para pruebas. Independientemente del cuidado que se tenga al realizar el taladrado, siempre existe gran riesgo de causar daños ligeros.

Los corazones tienen por lo general la resistencia más baja cerca de la capa superior de la estructura, ya sea que se trate de una columna, un muro, una viga o de una losa. Cuando se aumenta la profundidad a partir de la capa superior, la resistencia del corazón aumenta, pero a profundidades mayores de 300m no se observa un incremento adicional.

CAPITULO III

***APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
EN ALGUNOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL
SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO
METRO.***

3.0 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El sistema de transporte colectivo Metro colabora de manera activa en la solución al problema de transporte masivo ya que en la actualidad la mayoría de otros medios de transporte, ex Ruta 100, microbús, camiones, etc. Convergen en sus diferentes estaciones y terminales permitiendo a los usuarios conexión con las principales avenidas de la ciudad de México, hospitales, centros comerciales, zonas escolares, culturales, de diversión, áreas industriales, áreas verdes terminales de autobuses foráneos, aeropuerto entre otros.

El metro desempeña actualmente un papel muy importante en el transporte de pasajeros de la ciudad de México y su zona metropolitana, aun que su participación en la atención a la demanda requerida no tenga aun la proporción adecuada, su gran aceptación y perspectiva de crecimiento hacen ver su utilización como una verdadera columna vertebral de un sistema bien articulado de medios de transporte público para de el Distrito Federal y zonas conurbadas.

El Sistema de Transporte Colectivo Metro ha registrado un notable crecimiento en sus 27 años de operación, su servicio representa el 16.3% del transporte total en la ciudad de México y su zona metropolitana. Del total del pasaje transportado el 74% se concentra en las líneas 1, 2 y 3, las cuales han comenzado a presentar problemas de saturación en las horas de mayor demanda. la intensidad de utilización de estas líneas, ha ocasionado un desgaste extraordinario de instalaciones y equipos que afectan la eficiencia y la calidad del servicio.

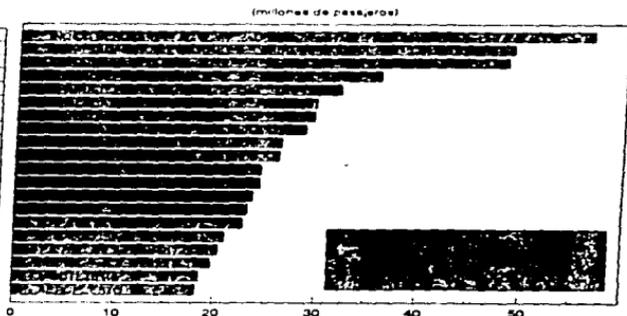
La infraestructura y equipos del sistema han sufrido un deterioro importante como consecuencia de muchos años de intensa operación y del escaso presupuesto destinados por el Departamento del Distrito Federal (D D F.) para su conservación, rehabilitación y modernización. De no contar el metro enfrentará un aumento en el número de averías y una degradación del servicio cada vez más costosa de superar.

A lo largo de los 27 años de operación en la línea 1 se han transportado 17 688.7 millones de personas con un crecimiento promedio anual del orden del 13%. Por su parte, la línea 2 ha servido a 11 730.56 millones de usuarios, con un crecimiento promedio anual del 12% y registra un comportamiento muy similar al observado en la línea. Cabe señalar que a pesar de que esta línea inició operaciones un años después que la línea 1, ha transportado 47.86 millones más de personas, constituyendo la línea de mayor movimiento en todo el sistema.

La línea 3 presta servicio de transportancia desde 1970 muy ha sido usada por 6 273.79 millones de personas, con un promedio anual de 310 millones pasajeros en los últimos años. La afluencia de usuarios se realiza a través de 135 estaciones de las cuales, durante 1996 de 20 de mayor tráfico fueron las siguientes.

LAS 20 ESTACIONES CON MAYOR AFLUENCIA EN 1999

LINEA	AFLUENCIA	%
3	56.8	4.0
2	48.9	3.4
2	48.4	3.4
2	36.1	2.5
1	32.1	2.2
1	29.7	2.1
1	29.5	2.1
1	26.7	2.0
1	26.4	1.9
3	26.2	1.9
3	24.4	1.7
1	24.3	1.7
1	23.8	1.7
3	23.1	1.6
3	22.7	1.6
2	21.0	1.5
3	20.4	1.4
3	19.7	1.4
1	18.8	1.3
1	18.3	1.3
SUMA 20	578.9	40.4
SUMA 118	854.7	59.8
TOTAL 138	1,433.6	100.0



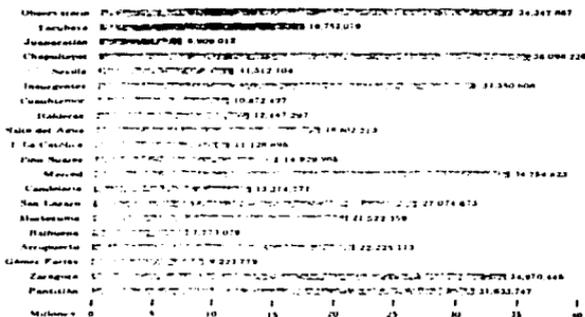
Considerando la estructura de la demanda del servicio, actualmente el sistema esta conformado por dos claros bloques diferenciados por un lado cinco líneas de la 4 a la 9 que poseen una capacidad de oferta suficiente y holgada, por otro, las líneas 1, 2, y 3 que al atender los grandes núcleos de población y corredores de transporte registran altos volúmenes de demanda con diversos grados de saturación. La línea 1 presenta niveles de afluencia diaria de alrededor de 11 millones de pasajeros que distribuidos en su comportamiento de horario, registran niveles de demanda que exceden en un 12% a la capacidad del servicio en las horas punta matutina. Por otra parte, la marcada direccionalidad de la demanda produce, en sentido contrario, volúmenes de pasaje del 33% con respecto a la oferta (Ver gráfica 3.0 A).

La línea 2 individualmente registra los mayores niveles de transportación con el sistema alrededor de 1.2 millones de pasajeros diarios. No obstante los elevados niveles de oferta con intervalos mínimos de 2'10" entre tren y tren, debido a los altos volúmenes de pasajeros y a una mayor uniformidad de la demanda en las vías se observan importantes grados de congestión de 20% en las horas matutina y vespertina y del 6 % durante el horario valle, que va de las 10:00 a las 17:00 horas (Ver gráfica 3.0 B).

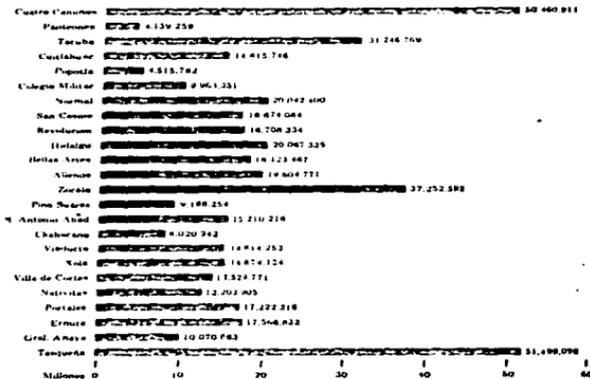
La línea 3 atiende al importante centro poblacional de la zona de Ecatepec, Tlanepantla, Naucalpan, etc., generando niveles de cerca de un millón de pasajeros y debido a su marcada direccionalidad, registra índices de congestión de alrededor del 20% (Ver gráfica 3.0 C). Los índices de operación por vía se determinan con base en una oferta de 1 530 pasajeros por tren, lo que permite un nivel adecuado de comodidad, en las horas de máxima afluencia. El nivel técnico permisible se eleva a 2 295 pasajeros, aun que por la demanda excesiva en la líneas 1 y 3 se genera una cantidad de pasajeros retenidos en el exterior de las estaciones y andenes, los cuales son controlados para su acceso mediante maniobras dedosificación de usuarios con duración de hasta 15 minutos.

El número de usuarios retenidos y/o controlados en estaciones y andenes muestra que en conjunto las tres líneas referidas generan una demanda superior en 5% a la capacidad máxima técnicamente permitida en tres o cuatro periodos críticos que se presentan recurrentemente por día laborable.

AFLUENCIA ANUAL DE USUARIOS POR ESTACION EN LINEA 1



AFLUENCIA ANUAL DE USUARIOS POR ESTACION EN LINEA 2



**AFLUENCIA ANUAL DE USUARIOS
POR ESTACION EN LINEA 3**

Indus. Vanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bachiller	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Puerto	1	1	1	1	1	1	1	1	1
La Rosa	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Platón	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Guerrero	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hidalgo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Justicia	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Haberman	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mano Herrería	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hosp. General	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Centro Médico	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ecología	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ecología	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dirección del Norte	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zapata	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Comercio	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Naciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M. A. Guerrero	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Capitán	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Universidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Alfaro	0	10	20	30	40	50	60	70	

**AFLUENCIA ANUAL DE USUARIOS
POR ESTACION EN LINEA 4**

Santa Anita	4 513 715								
Jaffar	3 305 217								
Erav. Soriano	3 572 471								
Candalaria	3 944 214								
Urbano	5 011 201								
Canal del Norte	3 766 698								
Consuelo	2 387 729								
Industria	3 721 559								
Talavera	2 492 394								
Martin Carrera	12 146 543								
Alfaro	0	2	4	6	8	10	12	14	

Los programas de conservación y mantenimiento del material rodante son de vital importancia, ya que en función de su aplicación se determina el tiempo que dure en operación y se pueda prestar un servicio seguro y eficiente. El mantenimiento de el material rodante, vías y obra civil consta de un establecidos y que requieren de un gran número de operaciones que deben cumplirse oportuna y ágilmente para que se obtengan los resultados deseados.

Es importante destacar que el mantenimiento programado es de carácter preventivo y tiene como fin, restablecer las condiciones de seguridad y calidad operativa, así como incorporar los avances tecnológicos que permitan hacer mas eficiente el servicio de transportación. Las condiciones cuyo mantenimiento debe continuarse en forma regular con otros equipos preventivo para las instalaciones fijas y obra civil, por que en la mayoría de estos elementos se realiza el mantenimiento correctivo y no el preventivo que es el que nos permite tener control sobre los índices de fallas provocados en cada área correspondiente.

La mayoría de las fallas se tienen plenamente identificadas; existiendo un rubro llamado otros según gráfica LX, en las cuales se observa que se han incrementado a través del tiempo. En esta sección se incluye las fallas que no se presentan de forma rutinaria pero su volumen se esta acrecentando y en las que caerian los elementos que proponemos para su estudio, entre otras.

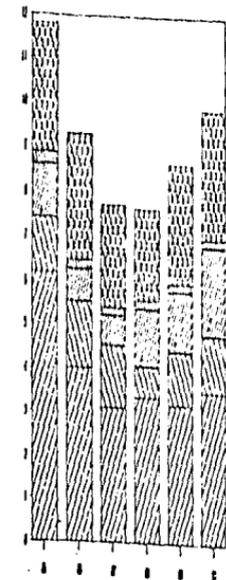
FRECUENCIA DE MATERIAL ROTANDO **FRECUENCIA TOTAL DE FALLAS EN TIPO DE MATERIAL POR CADA 10,000 HRS.** **REPARTO DE LAS FALLAS POR CATEGORIA DE FALLAS**

DIRECCION : M.I. = MOTRIZ IMPULSIVA
 P.A. = PILOTAJE AUTOMATICO
 P.F. = PUESTOS
 E.A. = SELECCION APAGADOR
 O. = OTROS

12-65

12-73

12-79



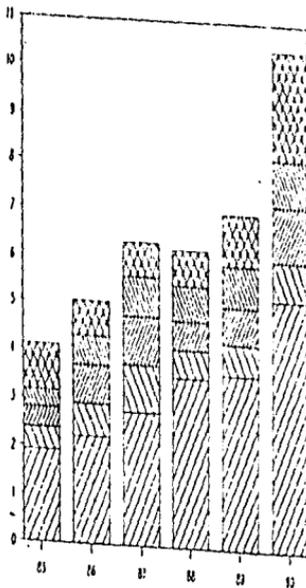
FRECUENCIA DE
MATERIAL ROTANTE

FRECUENCIA TOTAL DE FALLAS EN TIPO
DE MATERIAL POR CADA 10,000 HRS.

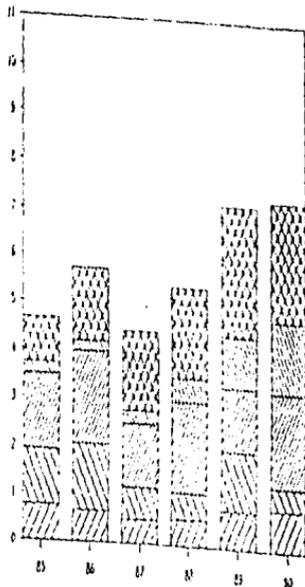
APROBACION N.º 200/10.
SECRETARIA DE DEFENSA

DIRECTORIO : M.I. = MOTRIZ INACTIVO
P.A. = PILOTAJE AUTOMATICO
P.M.B. = PUESTAS
E.A. = ELEMENTOS AJUSTADOS
O. = OTROS

MP-82



MC-82



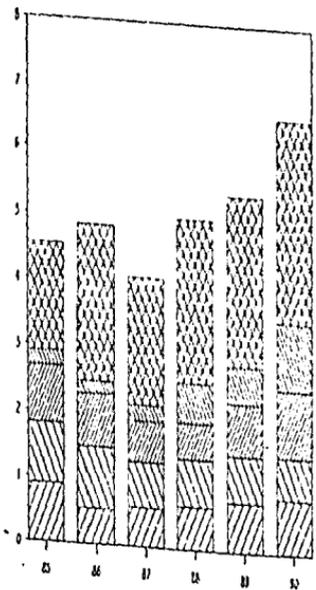
M.I. P.A. P.M.B. E.A. O.

M.I. P.A. P.M.B. E.A. O.

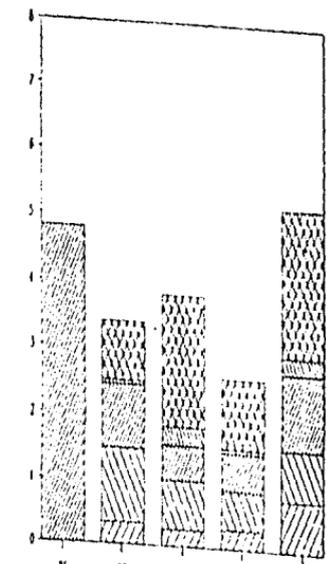
FRECUENCIA DE MATERIAL ADOSANTE FRECUENCIA TOTAL DE PALLAS EN TIPO DE MATERIAL POR CADA 10.000 HRS. APARATOS EN USO: P.A., P.F., E.A., O.

DIRECTORIO: N.I. = MOTRIZ INACTIVA
 P.A. = PILAJEJE AUTOMATICO
 P.F. = PUEKIAS
 E.A. = ELEMENTOS APAGADOR
 O. = OTROS

NM-83A



NM-83B



801

NI PA PFS EA O

NI PA PFS EA O

Es importante destacar que en la operación cotidiana se han registrado algunas carencias de equipo para la prestación del servicio, el coeficiente de disponibilidad del equipo asciende alrededor del 85% con un número importante de carros internados en talleres, lo que hace necesario mejorar la productividad y calidad de los trabajos de mantenimiento. La flota actual de los trenes neumáticos con que cuenta el metro de la ciudad de México es de 254 trenes de 9 carros, más de 18 carros de reserva, de los cuales 95 trenes, más 9 carros están equipados para el control de los motores del tipo electromecánico y el resto cuenta con sistemas electromecánicos tipo chopper para el control de motores.

Los trenes equipados con sistemas electromecánicos a los materiales MP 68, NM 73, los cuales iniciaron su operación entre los años de 1969 y 1977, es decir, tienen una edad de entre 15 y 23 años, siendo su edad promedio de 20 años.

En cuanto a las condiciones de operación por razones de tecnología, tiempo de servicio inoperabilidad de algunos materiales, los tres citados tienen fiabilidad baja, ubicándose en aproximadamente una falla de cada 900 Kilómetros. En cambio los trenes equipados con tecnología electrónica presentan fiabilidad de una falla cada 2 700 kilómetros. La finalidad entendida como el kilometraje mediante fallas, implica que cuando más bajo sea este índice, la frecuencia de fallas es mayor, causando serias afectaciones a la operación y el mantenimiento. Desde el punto de vista de la operación, la baja confiabilidad se manifiesta como un incremento considerable en las maniobras para evitar que los trenes averiados vayan a mantenimiento, con las correspondientes implicaciones en la regulación de la línea. En casos extremos puede provocar, demoras importantes en caso de trenes desalojados o inclusive interrupciones del servicio.

Durante 1990 se presentó un incremento a la cantidad de averías del material rodante, el cual fue posible controlar durante el segundo semestre, llevando a cabo intervenciones profundas sobre los trenes que fallan repetitivamente y atendiendo los órganos que de acuerdo a las estadísticas resultan ser los más problemáticos. A

continuación se presentan gráficamente el comportamiento del material rodante en general por modelo de trenes desde 1986 hasta 1996, con datos expresados en forma tabular.

Se muestra también la confiabilidad que ha exhibido el material rodante desde 1987, como puede apreciarse durante los últimos meses del año anterior, se manifestó una tendencia moderada en términos positivos en el comportamiento de este parámetro.

Para proporcionar el mantenimiento requerido por el general rodante el sistema de transporte colectivo, dispone de seis talleres de los cuales cuatro otorgan mantenimiento menor en las estaciones terminales de Zaragoza, Taxqueña, Ticoman y el Rosario. El mantenimiento mayor del parque vehicular se realizan en los talleres de Zaragoza y Ticoman.

Para cubrir las expectativas de o mencionado se llevo a cabo un consenso con los ingenieros y trabajadores en el área de trenes, con el fin de saber cuales son las piezas más importantes de los carros del metro para que estos no fallen por fatiga, ruptura corrosión y de tensión, para así poder elegir las piezas que sometemos a una inspección a lo que se nos contesto que:

Con el propósito de obtener un vehículo ligero, el diseño y cálculo de la estructura del carro como si fuera una viga hueca, o un tubo soportado por dos puntos de apoyo, de modo que todos los miembros estructurales del cuerpo del coche tomen parte de los esfuerzos resultantes de cualquier carga que actúe sobre la estructura. Por lo tanto cuando al carro se le somete a una carga vertical uniformemente repartida, se le puede asemejar a una viga hueca con peralte igual a la altura del coche. De esta forma, los esfuerzos longitudinales de compresión y de tensión de la viga (estructura), son soportados por el bastidor o H.

Siguiendo con la asesoría que se nos dio, nos informaron que las masas de la rueda portadora es considerada como pieza de seguridad del tren, por tanto están en constante chequeo.

Determinándose así que las piezas para nuestro estudio serán:

I.- Chasis o H (generalmente se le llama también bastidor).

2.- Masas de ruedas portadoras.

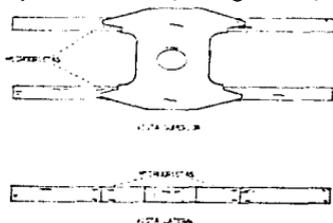
Empleando para ello algunas de las técnicas de los Ensayos No Destructivos que a continuación sugerimos.

III.1.1 PARA EL CHASIS o H.

Para el chasis o H que es un elemento formado por dos largueros tubulares, que a su vez están constituidos por dos perfiles conformados en U y que unidos dan la forma de una H. (Ver figura III.1-A). En cual esta sometido a esfuerzos fluctuantes o de fatiga, y que esperamos encontrar fisuras originadas ocasionadas por el sobre esfuerzo, los cuales se presentan con mayor frecuencia debido al tiempo de trabajo de estos elementos.

Debido a la estructura del chasis y aprovechando su posición se soldan piezas, como los largueros tubulares, la suspensión etc., siendo estos puntos de unión (puntos de soldadura), en donde también se generan con mayor frecuencia posibles fallas como: Grietas, costura incorrecta, fallas de rellenado, porosidad, entre otras.

Las grietas se crean con mayor repetición en puntos de soldadura, ya que al hacer la unión de metales con el material de aporte generan cambios en la estructura del material y aunque se le da un normalizado para que este quede lo más homogéneo posible, existe la concentración de esfuerzos y fuerzas de acción y reacción que generan el nacimiento de una microgrieta y ésta se va desarrollando debido a la carga excesiva que lleva el carro en horas pico. Ya que en el transcurso del día trabaja con un peso de diseño. (Ver fig. III.1.2).



Como sabemos los elementos de maquinas que efectúan un trabajo, están sometidos a condiciones de esfuerzos, desgaste, corrosión y fatiga de material; estas fallas nos ocasionan que el tiempo de vida disminuya y que no cumpla satisfactoriamente con las normas y condiciones requeridas es por todo esto que proponemos se realicen las pruebas de Ensayos No Destructivos siguientes:

En primera instancia, aplicar inspección visual ya que este método se debe emplear siempre en primer orden en cualquier evaluación y a cualquier pieza, ya que nos detecta las discontinuidades más grandes y también nos ubica otras que deben analizarse en forma certera y concisa mediante la aplicación de otro método no destructivo.

El siguiente método a aplicar sugerimos sea Líquidos penetrantes ya que es un método que nos permite localizar discontinuidades que afloran a la superficie, tales como grietas, falsas uniones porocidades etc., y es un excelente medio para hallar fugas en la soldadura, además de que es muy económico, es fácil aplicación contando con equipos según los requerimientos de la prueba y es aplicable a materiales ferromagnéticos.

Una vez localizadas las discontinuidades se recomienda utilizar el ensayo de ultrasonido ya que mediante éste método podemos determinar defectos volumétricos, delineando eficazmente tamaño, dirección y localización de la falla. Tiene un excelente penetración y los resultados se conocen inmediatamente.

El equipo de pulso-eco resulta ser una técnica excelente para fines de inspección en soldadura; contando también con equipo portátil de diferentes características lo que nos permite tener un control en el grado de calidad del resultado que va desde muy alta a confiable.

III.2.1 PARA MASAS DE LAS RUEDAS PORTADORAS.

Como mencionamos anteriormente la operación continua de los trenes, provoca una aplicación repetitiva de esfuerzos sobre diferentes elementos, y como es sabido, a pesar de que el nivel de aplicación sea considerablemente inferior a la carga requerida para alcanzar la ruptura estática, algunas de ellas se colapsan por efecto de la fatiga del material.



Al inicio, las fracturas por fatiga aparecen como un conjunto de grietas pequeñas de las cuales una evoluciona sobre las demás, siendo, el lugar propicio para su desarrollo una discontinuidad superficial que permite la concentración de esfuerzos, disminuyendo la resistencia a la fatiga de la pieza en la zona de su localización.

Una vez que las grietas se han desarrollado a tamaño macroscópico se difunde rápidamente debilitando gradualmente la sección de la pieza y provocando la fractura completa en corto tiempo.

El fisuramiento de las masas de los carros del S.T.C. Metro, es un caso típico de fatiga y tiene lugar por los esfuerzos de trabajo a que están sometidos, los cuales suponen dos tipos de esfuerzos repetitivos:

1.- Esfuerzos casi estáticos: Son los esfuerzos que varían constantemente y pueden ser considerados como constantes, debido a los fenómenos dinámicos involucrados. Están constituidos por los esfuerzos resultantes de la carga por eje y por los esfuerzos de frenado.

2.- Esfuerzos dinámicos: Están directamente ligados a la dinámica del sistema via-rueda.

Esta pieza es una fundición de acero al carbono con tratamiento térmico normalizado, creando una estructura con contenido de ferrita y perlita típica de fundición.

Así el presente análisis está enfocado a la inspección de las masas de las ruedas, ya que como observamos en la memoria de registro de S.T.C. Metro esta pieza falla como consecuencia de la porosidad presentada sobre el radio de la brida en la zona de molduras salientes. En consecuencia proponemos valorar esta pieza, recordando que este ensayo es útil para detectar grietas, porosidades cráteres sin llenar, desalineamiento y que como único inconveniente que presenta es que no provee registro permanente y la certeza del pronóstico depende de la experiencia de la persona que lo aplica.

Una vez aplicada la inspección visual podemos definir el siguiente método que en este caso el más conveniente el líquidos penetrantes, ya que esperamos encantar en la pieza de inspección porosidades y pequeñas grietas que producen una falla del material. Siendo líquidos penetrantes un excelente medio para detectar porosidades ya que estas se manifiestan como manchas resplandecientes y las grietas como líneas fluorescentes, las discontinuidades se ensanchan en la super y proporciona ventajas como son:

- El ser efectivo
- Confiable
- Rápido y fácil de aplicar.

También puede aplicarse a gran variedad de materiales y es relativamente económico.

En ocasiones se requiere de una evaluación más profunda, siendo el ensayo de partículas magnéticas un excelente método optativo. Ya que con una corriente eléctrica crea un campo magnético en un espécimen, mientras que las partículas magnéticas indican donde el campo es roto por una discontinuidad.

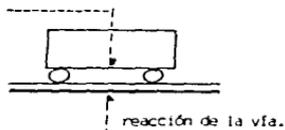
III.3 PARA LAS VÍAS Y SUS ELEMENTOS.

Como consecuencia del paso de los trenes y el tipo de suelo que existe en la ciudad de México, es congruente realizar una evaluación para determinar el estado actual de las vías y sus diferentes componentes, como son: Barra guía, Pista de rodamiento, Balasto etc.

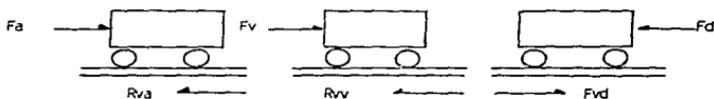
También proponemos este tipo de pruebas o ensayos para las estaciones de la línea 5 Pantitlán - Politécnico, en la que actualmente existe un descontrol en la nivelación de las vías, ocasionando por el tipo de suelo. Según el historial estadístico que existe en el área de vías.

Como mencionamos en el capítulo I, las partes están sometidas a esfuerzos tales como:

1.- El peso del material rodante



2.- Las fuerzas longitudinales (aceleraciones y desaceleraciones).



Las notas suministran la fuerza de aceleración (F_a) y la fuerza necesaria para mantener el material rodante a velocidad constante (F_v), y son soportadas por la vía con las reacciones (R_{va}) y (R_{wv}) respectivamente.

3.- Asentamientos propios de la vía por efectos del tipo de suelo

4.- Las fuerzas centrífugas en tramos de vía en curva.

En consecuencia las partes que trabajan con mayor riesgo de ruptura son : Barra guía, Pista de rodamiento y Riel de seguridad. Tomando como referencia las experiencias del personal del S.T.C. Metro especialistas en el área de vías se propone evaluar estas tres piezas por la características similares entre ellas y la importancia que reviste cada una de ellas para el funcionamiento de los carros del metro.

III.3.1. VÍAS

Vía principal: Se entiende por vía principal, la vía sobre el cual circulan todos los trenes con pasajeros a velocidades altas. Este tipo de vía se encuentra instalada en toda la red del metro. La vía se compone de Rieles, pista de rodamiento, Barras de guiado, aparatos de vía, durmientes, balasto y aisladores.

RIEL DE SEGURIDAD.

La composición química de los rieles es la siguiente: Para los rieles 80 ASCE es un acero no tratado de calidad ordinaria, y para los rieles 100 RE, es un acero no tratado de calidad normalmente dura.

PISTA DE RODAMIENTO

Es un laminado especial en forma de I, con alas anchas, los perfiles serán de acero estructural, tipo A36 definido por las normas oficiales B-254.

BARRA GUÍA

Esta echas de acero dulce fundido en forma de un ángulo según la norma A - 34 - 2NE

Ya que son componentes de vía muy similares en sus dimensiones, composición y funcionamiento esperamos encontrar defectos como:

a) Grietas: Cuando una grieta resulta visible, el daño ya es demasiado grande, el defecto debe localizarse previamente pudiendo usar detectores de sonido y magnéticos que marcan las variaciones de flujo, al pasar por un tramo de riel fisurado o agrietado en su interior, el equipo aplicado detectara la falla y localizara su posición.

b) Fisuras invisibles: El núcleo o grieta, proviene de un defecto del enfriado al laminarse el riel sin control, o alguna burbuja de gas o escoria del fundido. Este defecto se va incrementando como los anillos de un tronco de árbol con la edad, y las fisuras rápidas separan sus anillos con distancias crecientes, en tanto que las fisuras lentas marcan sus anillos separados uniformemente.

Las fisuras centrales cuando llegan al exterior marcan grietas transversales de gran peligro para trozar el riel o rajarlo longitudinalmente. En otras ocasiones la fisura interior se oxida con el agua y la superficie del riel se mancha de óxido rojomorado que acusa la presencia del defecto.

Las fallas en los rieles coinciden generalmente con defectos de control en el enfriado y aceros con alto contenido de carbón.

De conformidad con lo mencionado, a estas piezas las podemos estudiar en un solo grupo ya que todas tienen longitudes similares y son de acero estructural tipo A-36 definido por la normas oficiales B-254*, además están sometidas a trabajos similares como la fricción de las aceleraciones y desaceleraciones, soporte de cargas vivas y muertas, así como a temperaturas elevadas como la barra guía que transporta 750 Volts de corriente eléctrica para alimentación de los carros. De tal modo que proponemos que sean evaluadas por medio de los siguientes ensayos:

Para la barra guía, pista de rodamiento y riel de seguridad.

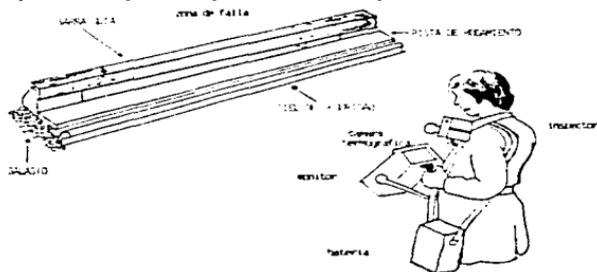
A) Inspección visual: Ya que por medio de este ensayo podemos localizar las zonas más dañadas y no es necesario un equipo sofisticado, dependiendo de las buenas normas de ejecución o calificación además de que debe constituir el primer método de inspección no importa cuales sean las otras técnicas que se exijan.

B) Una vez localizados los puntos que presentan fallas a simple vista sugerimos que se aplique el ensayo de Termografía ya que nos presenta una alta confiabilidad en los resultados además que es un excelente técnica para cuerpos que trabajan con temperaturas mayores que la ambiente.

La cámara nos permite localizar puntos calientes en un contraste de colores, siendo estos puntos donde puede existir una falla o fisura.

En el caso particular de la barra guía este ensayo es muy importante ya que como lleva corriente eléctrica en este elemento podemos detectar rápidamente arcos eléctricos provocados por los brincos de corriente que son provocados por las grietas, ahorrándonos con esto tiempo horas hombre.*

C) En el caso de los puntos de soldadura se hace la proposición de analizarlos por Ultrasonido ya que es un excelente método para utilizarlo en parte soldadas permitiéndonos localizar defectos internos incluyendo a aquellos demasiados pequeños para descubrirse por otro método, especialmente para defectos de tipo laminar debajo de la superficie y para la medición de espesores ya que es un método muy sensible por su alto poder de penetración a las piezas en estudio.



DETECCIÓN POR TERMOGRAFÍA

El cambio de contraste o de color que detecta la cámara termográfica nos indica una fisura ya que la barra guía al transportar energía se calienta, y se calienta más en donde existen arcos eléctricos provocados por las grietas.

* Consultar anexo.

CAPITULO IV

COSTOS

COSTOS

El sistema de transporte colectivo metro adquirió tecnología francesa que involucra la adquisición de trenes, así como instalaciones fijas para el material rodante y obra civil que en su momento fue uno de los mas modernos que existía en la fecha de su adquisición (1967 - 1968). Buscando dar el mayor confort al usuario y la máxima eficiencia para el S.T.C. Metro.

En general se puede decir que este equipo ha dado buenos resultados durante todos estos días fallas, las cuales se han ido solucionando. Pero existen piezas que han presentado fallas de forma esporádica, muchas de las cuales, por esta causa no se han cambiado y forman parte fundamental de los carros que circulan diariamente en el transporte de usuarios. Por tal motivo, sugerimos efectuar una evaluación teniendo un costo aproximado siguiente.

A continuación proponemos se realice un muestreo, de tal manera que se evalúe el estado de operación de los componentes en cuestión.

Actualmente existen 50 trenes MP 68, 40 trenes NM 73B, teniendo un costo promedio por carro de 1 166 666 (un millón cientosenta y seis mil, seis cientos sesenta y seis pesos aproximadamente), según el departamento de finanzas de esta institución.

La tabla siguiente nos muestra la distribución de modelos de carro.

Modelo de tren	Cantidad de trenes	Núm de carros	N	Tipo R	N
MP 68	50	450	100	150	200
NM 73 A	40	360	80	120	160
NM 73 B	40	360	80	120	160
			Total 1170 carros		

Ahora bien apoyándonos en el departamento de laboratorio del S.T.C. Metro, en donde nos proporcionaron la cotización para este tipo de pruebas*, tenemos la

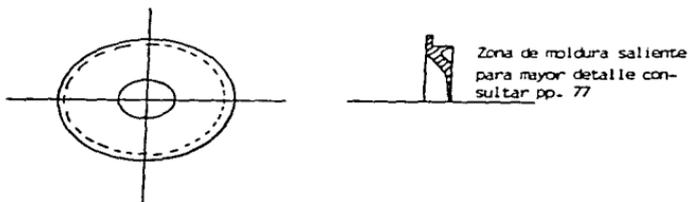
siguiente tabulación de precios. (Se realizó la cotización en base a los datos proporcionados por el laboratorio de esta institución, debido a que esta encargado de realizar trabajos reuniendo de esta manera un costo real para este organismo).

Líquidos penetrantes	\$ 150.00	Por prueba
Partículas Magnéticas	\$ 200.00	Por prueba
Ultrasonido	\$ 200.00	Por hora de equipo
Termografía	\$ 300.00	Por hora de equipo
Radiografía	\$ 350.00	Por tres placas

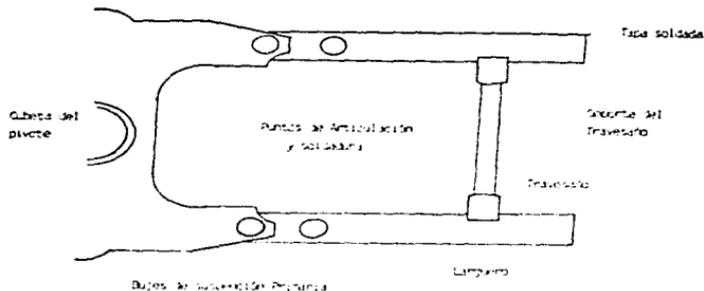
* Ver oficio en anexo.

Estos costos son también un promedio del costo que existe en el mercado y a que cada compañía ofrece sus servicios y aplica su costo según el criterio y volumen a estudiar. Así que si aplicamos estos presupuestos a las piezas a ensayar tenemos lo siguiente:

A) Para el chasis y masa de rueda portadora: Realizamos un muestreo preliminar para determinar las condiciones actuales de las piezas propuestas, aplicando un muestreo por atributo normal, según la norma NOM Z / 12 de 1987; en la que indica el tamaño de la muestra a obtener, dándonos los siguientes resultados (en la siguiente figura se ilustra la zona propuesta para su valoración).



CORTE DETALLE DE LA MASA PORTADORA



TAMAÑO DE MUESTRA SEGÚN LA NORMA NOM / 12 de 1987.

Modelo	Número de carros	Tamaño de la muestra	
MP 68	450	50	De los cuales se sugiere sean 15R, 15 N y 20 M
NM 73 A	360	50	
NM 73 B	360	50	

Como podemos observar todas las muestras del mismo tamaño, lo cual nos facilita bastante el procedimiento, para determinar el costo de prueba.

Costo de prueba por carro:

Pieza	Número de piezas x carro	END a aplicar	(B) costo x pieza	(C) costo x carro
Masa de rueda portadora	8	Líquidos peng trantes	\$ 150	\$ 1 200
		Partículas magnéticas	200	1 600
		Total		2 800

Pieza	# de piezas por carro	END a aplicar	costo x pieza	costo por carro
Chasis o H	2	Líquidos penetrantes	\$ 150	\$ 300
		Ultrasonido	\$ 330	\$ 660
		Total		\$ 960

La columna C resulta de multiplicar la columna A por la columna B, dando un subtotal de:

a) En el caso de la mada de la rueda portadora nos da un costo promedio por carro de \$ 2 800.

b) Para el chasis (H) nos da un promedio por carro de: \$ 960.

Por tanto si sumamos los dos resultados parciales obtenemos el total, que sería el costo de prueba carro = \$ 2 800 + \$ 960 = \$ 3 760 (Tres mil setecientos sesenta pesos.)

COSTO TOTAL DE LA PRUEBA

COSTO DE PRUEBA POR CARRO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	COSTO
\$ 3 750 MP 68	50	187 500
" NM 73 A	40	140 000
" NM 73 B	40	140 000
	Costo total \$	<u>467 500</u>

El costo total de la prueba de la Cuatrocientos sesenta y siete mil quinientos pesos, que comparado con el costo promedio de un carro nuevo se puede obtener la diferencia de inversión aunada a la cantidad de carros que se pueden corregir reparar y restaurar con los procedimientos propuestos en esta Tesis, aunque en este momento falta añadir el costo que genere el estudio en vías y sus elementos.

B) El costeo de vías, barra guía de seguridad se torna más complejo, ya que esta piezas van unidas o ensambladas cada 18 mts. por medio de soldadura o articulaciones. Esto nos trae como consecuencia:

- a) Que sean elementos extremadamente largos.
- b) Que no todos los tramos de vía están sometidos a los mismos esfuerzos de carga.
- c) Que la corrosión del medio nos altere un diferente manera en cada estación oxidando y degradando el material de manera irregular.

Estas causas entre otras que se presentan diariamente en el S.T.C. Metro se convierte en un factor favorable para nuestro estudio. Por lo que creemos conveniente analizar estas piezas en una unidad estandar y tomar muestras por Km., dándonos un promedio de aproximadamente 56 puntos por Km (1000 / 18). Cada Km en estudio será determinado por ingenieros especialistas en la materia, con as consideraciones que ellos crean pertinente desde tal forma que tenemos lo siguiente:
COSTO DE PRUEBAS EN VÍAS POR Km.

Pieza	Pruebas	Costo de ensayo / hr	Subtotal \$
Barra guía	propuestas		
	Termografía	300	630
Pista de rodamiento	Ultrasonido	330	
	Termografía	300	630
	Ultrasonido	330	
Riel de seguridad	Termografía	300	630
	Ultrasonido	330	

Sumando los tres subtotales obtenemos el costo de prueba en vías de como resultado 1 890 (Un mil ochocientos noventa pesos). Cabe hacer la aclaración de que los ensayos a aplicar se obtienen más de un kilometro por hora, en el caso de Termografía podemos recorrer hasta viente Km por hora y en el equipo de Ultrasonido podemos recorrer grandes distancias por hora, haciendo con esto el costo de prueba y aumentando la utilidad del equipo, así como minimizando el tiempo de estudio.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Las instalaciones y equipos del sistema fueron diseñadas para prestar el servicio a plena capacidad, sin embargo las principales líneas (1, 2 y 3), están operando con sobrecarga*, por lo que las instalaciones se ven sometidas a un sobreutilización. Esto provoca el acortamiento de la vida útil, de las instalaciones y la necesidad de trabajos de conservación y mantenimiento por arriba de lo normal.

La influencia de usuarios es variable a lo largo de las horas de operación, para satisfacerlas es necesario mantener una adecuada continuidad en la marcha de los trenes, ya que cuando esta se interrumpe se origina una serie de alteraciones, no solo en el conjunto de trenes circulando, sino también en las estaciones de todas las líneas, ocasionando sobresaturación de viajeros en andenes y carros.

Al disminuirse los retardos en la circulación de los trenes, se tendrá como consecuencia una regularidad y calidad del servicio que beneficiara de manera muy importante al público usuario. La problemática de la operación de trenes se puede ilustrar observando la gráfica del año 1991, donde las causas que provocaron interrupciones parciales en la marcha de los trenes en la red se comporta de la siguiente manera. (Ver gráfica 1-C).

Las interrupciones impiden el cumplimiento de los programas operativos y afectan la prestación del servicio de transporte e incrementan el tiempo de traslado. Durante 1991, en las instalaciones fijas se presentaron un total de 4 268 averías distribuidas como se ilustra en la gráfica 2-C.

Un 16% de las averías que se presentaron incidieron en la prestación del servicio, ocasionando incomodidades al usuario y una mala imagen del S.T.C. Metro por lo que resulta necesario disminuir, jerarquizando los requerimientos mas grandes, por medio de los Ensayos No Destructivos, que en nuestra tesis proponemos para su mantenimiento adecuado de los elementos que se seleccionaron en su oportunidad. La edad promedio de la flota es de alrededor de 12 años, sin embargo considerando que el 21.2% de a flota, equivale a 58 trenes tiene una antigüedad de mas de 22 años de intensa utilización, es ya necesario una evaluación

oportuna del estado del material. Algunos trenes como el modelo MP 68, comenzaron a circular experimentalmente desde mediados de 1969 y representa un índice creciente de fallas que confirman la proximidad del término de su vida útil, a pesar de que se han sometido a algunos estudios no se ha determinado realmente su estado.

Es importante destacar que en la operación cotidiana se han registrado algunas carencias de equipo para la prestación del servicio, el coeficiente de disponibilidad del equipo asciende alrededor del 85%, con un número importante de carros internados en talleres, lo que hace necesario mejorar la productividad y calidad de los trabajos de mantenimiento. La flota actual de los trenes neumáticos con que cuenta el metro de la Ciudad de México es de 254 trenes de 9 carros, mas 18 carros de reserva, de los cuales 95 trenes, mas 9 carros están equipados con sistemas para el control de los motores del tipo electromecánico y el resto cuenta con sistemas electrónicos tipo chopper para el control de motores.

Los trenes equipados con sistemas electromecánicos corresponden a los materiales MP 68, NM 73, los cuales iniciaron su operación entre los años de 1969 y 1977, es decir, tienen una edad de entre 15 y 23 años, siendo su edad promedio de 20 años.

En cuanto a las condiciones de operación por razones de tecnología, tiempo de servicio inoperabilidad de algunos materiales, los trenes citados tienen fiabilidad baja, ubicándose en aproximadamente una falla cada 99 kilómetros. En cambio los trenes equipados con tecnología electrónica presentan fiabilidad de una falla cada 2700 kilómetros. La fiabilidad entendida como el kilometraje mediante fallas, implica que cuanto mas bajo sea este índice, la frecuencia de fallas es mayor, causando serias afectaciones a la operación y el mantenimiento. Desde el punto de vista de la operación, la baja confiabilidad se manifiesta como un incremento considerable en las maniobras para evitar que los trenes averiados vallan a mantenimiento, con las correspondientes implicaciones en la regulación de la línea. En casos extremos puede provocar, demoras importantes en caso de trenes desalojados o inclusive interrupciones del servicio.

Durante 1990 se presento un incremento en la cantidad de averías del material rodante, el cual fue posible controlar durante el segundo semestre, llevando a cabo intervenciones profundas sobre los trenes que fallan repetitivamente y atendiendo los órganos que de acuerdo a sus estadísticas resultan ser los mas problemáticos. A

continuación se presentan gráficamente el comportamiento del material rodante en general por modelo de trenes desde 1986 hasta 1996, con datos expresados en forma tabular.

Se muestra también la confiabilidad que ha exhibido el material rodante desde 1987, como puede apreciarse durante los últimos meses del año anterior, se manifestó una tendencia moderada en términos positivos en el comportamiento de este parámetro.

Para proporcionar el mantenimiento requerido por el material rodante el sistema de transporte colectivo, dispone de seis talleres de los cuales cuatro otorgan mantenimiento menor en las estaciones terminales de Zaragoza, Tasqueña, Ticoman y el Rosario. El mantenimiento mayor del parque vehicular se realiza en los talleres de Zaragoza y Ticoman.

Observando el tiempo de trabajo de las piezas en cuestión y la situación actual del país debemos afirmar que no pretendemos cambiar todas las partes, debido a que el gobierno tendría que hacer un gran desembolso, el cual no es posible. Por tanto este estudio prevee el incremento de costos de mantenimiento, si se parte de que nuestra Tesis busca conservar el equipo en buenas condiciones de operación al menor costo unitario, de manera que presente un mínimo de interferencia en la operación del Sistema de Transporte y tienda a asegurar que el trabajo de emergencia se convierta en trabajo planeado, así como un medio para recuperar piezas dañadas y evitando posibles paros; ya que una interrupción en el servicio nos traería como consecuencia: Pérdidas de salario, retrasos en escuelas, trabajos, personas lesionadas etc.. Ya que de un 100 de usuarios en horas pico se calcula que el 70% son trabajadores, 25% estudiantes y un 50% de usuarios no críticos.

Todos los procedimientos propuestos deberán ser evaluados y analizados por ingenieros especializados en cada uno de las áreas, para verificar su aplicación y normatividad que rigen dichos estudios, a fin de determinar cuales son factibles de cambiar, esto con la finalidad de alcanzar el objetivo de nuestra Tesis.

Cualquier actividad de mantenimiento es minimizar el costo de adquisición de parte sin sacrificar la calidad, la seguridad del trabajador y los usuarios a través de la

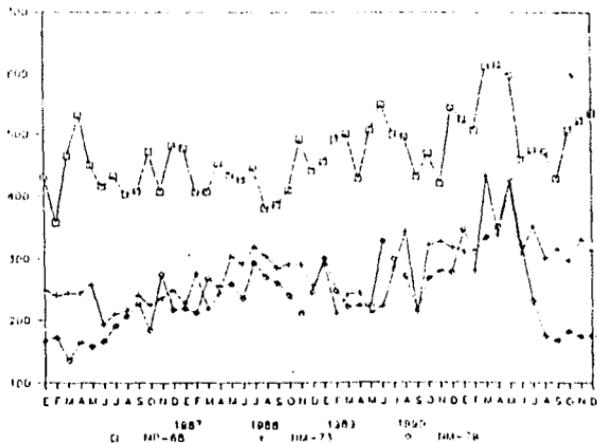
aplicación económica de: Trabajadores, herramientas y materiales y así aumentar la productividad y la eficiencia de los disponible. En este punto es donde el valor e importancia de nuestra Tesis se hace evidente ya que la vida útil o el uso de cada una de las piezas esta basada en la importancia de ser evaluadas a través de uno o mas métodos de inspección con alto grado de confiabilidad, para que los defectos o fallas puedan ser detectados y entonces las piezas sean instaladas o sustituidas o por otras para una vida de servicio mas segura.

Los ensayos No Destructivos incluyen la examinación para la verificación de la calidad de materiales, así como para determinar en las piezas su estado superficial, subsuperficial, e interno que inicialmente en conjunto con otras áreas técnicas de evaluación determinan la caracterización total de las piezas otra ventaja que nos presenta la aplicación de estas pruebas es el costo reducido por el gran volumen que se pretende ensayar.

Por todo esto podemos afirmar que el contenido de esta tesis contribuye al sistema de transporte y a todo aquel que utiliza el Sistema de Transporte Colectivo Metro como medio de desplazamiento a tener mayor seguridad y calidad de servicio. Teniendo siempre presente que se pretende salvaguardar la vida de los usuarios, operadores, trabajadores, así como la de los equipos con los que cuenta el sistema optimización del servicio y con esto reducir la incidencia de fallas.

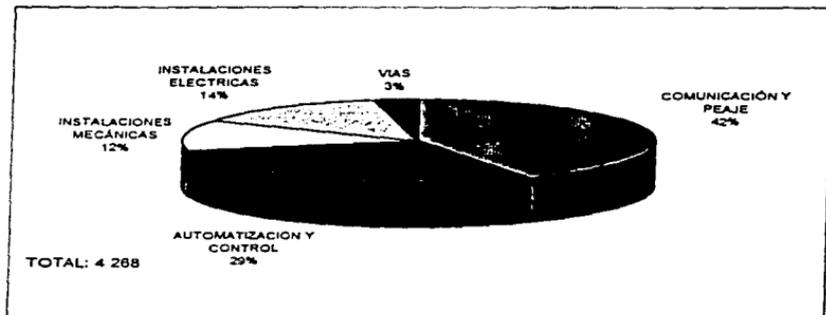
GERENCIA DE MATERIALES
AVERIAS EN EL MATERIAL RODANTE POR MATERIAL
 AL MATERIAL FUENTE: VICERRECTORIA DE ADMINISTRACION

MATERIAL	AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
NF-68	1987	432	378	487	529	473	416	434	403	408	477	400	484
	1988	461	406	408	451	424	428	448	382	389	418	456	443
	1989	459	484	572	411	369	348	402	433	434	471	423	543
	1990	574	506	433	414	498	483	477	477	431	512	527	517
NF-73	1987	271	241	245	244	255	194	213	217	242	227	227	230
	1988	229	227	220	241	203	253	223	201	207	254	252	237
	1989	253	213	244	244	214	227	288	241	237	300	320	320
	1990	313	282	337	343	323	287	307	307	318	289	334	314
NF-79	1987	167	171	135	144	174	144	191	200	228	184	224	218
	1988	221	213	270	274	240	231	274	270	263	264	237	248
	1989	303	270	224	227	224	231	203	274	260	271	282	283
	1990	344	313	334	374	410	324	334	374	344	374	374	374



CAUSA ATRIBUIBLE A	NÚMERO DE AVERIAS	RETARDO (min)
Material rodante	10 662	44 043
Instalaciones fijas	4 205	11 428
Otros	3 819	16 781
TOTAL	18 686	72 652

GRAFICA 1-C
AVERIAS EN LAS INSTALACIONES FIJAS
1996



GLOSARIO

DEFINICIONES TÉCNICAS

- DEFECTO:** Es toda falla que está fuera de los límites de especificaciones, afectando con esto el funcionamiento de la pieza, determinándose los límites en base a la funcionabilidad de la pieza.
- DISCONTINUIDAD:** Es toda falla que está dentro de los límites de especificación y que no afecta el funcionamiento de la pieza
- VISCOSIDAD:** La viscosidad esta relacionada con la velocidad a la cual un líquido fluye sobre una superficie de trabajo.
- HUMECTABILIDAD:** La fuerza de cohesión entre las moléculas de un líquido causa tensión superficial, siendo un factor importante para que un líquido humedezca una superficie sólida. Esto se ve claramente cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida.
- CAPILARIDAD:** La capilaridad es junto con la humectabilidad, la que determina el poder de penetración de un líquido a través de las discontinuidades.
- GRAVEDAD ESPECIFICA:** Esta es una comparación de la densidad de un penetrante con la densidad del agua destilada a 4° C, el penetrante debe tener una densidad específica menor que 1.
- VOLATILIDAD:** Esta definida por la presión de vapor y el punto de ebullición de un líquido. Es recomendable tener baja volatilidad del penetrante con respecto a la pérdida de evaporación en tanques.
- FLAMABILIDAD:** La flamabilidad de aceites es una relación de su punto de inflamación. Según especificaciones requieren un mínimo de 51.6° C. (125° F), como la temperatura o punto de inflamación (NOM ASTM D - 93 y d - 92).
- DIFRACCIÓN:** Son las desviaciones que sufre el haz ultrasónico al pasar a través de un medio.

- DISPERSIÓN:** Es la desviación de distribución de la energía después de pasar una discontinuidad.
- REFRACCIÓN:** Es el cambio de dirección de un haz ultrasónico al pasar de un medio a otro.
- REFLEXIÓN:** Es la cantidad de energía ultrasónica reflejada al incidir en una interfase acústica.
- AMPLITUD:** Es la altura del puso de una señal, generalmente de la base al pico, indicado barrido tipo A. Desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de reposo.
- SEGREGACIÓN:** La segregación es una distribución no uniforme de los elementos que entran en la aleación, resultante de gradientes de concentración durante la solidificación. La segregación en forma de bandeado en el acero puede producir una serie de indicaciones cortas y finas.
- RECHUPES:** El rechupe es una cavidad central formada cuando el molde recibe una cantidad inadecuada de metal líquido. Debido a su alejamiento de la superficie, los rechupes por lo general no pueden detectarse por la inspección con partículas magnéticas, por lo que se inspeccionan más adecuadamente empleando técnicas ultrasónicas o radiográficas.
- MICROPOROSIDAD:** Los microporos se forman durante el enfriamiento del metal, cuando los dendritos o formaciones ramificadas se unen, aislando pequeñas bolsas de metal líquido que finalmente se solidifican y dejan vacíos diminutos. Este defecto generalmente ocurre en materiales no ferrosos por lo que no es susceptible a la inspección por partículas magnéticas.
- POROSIDAD:** Los gases atrapados durante el período de solidificación crean una porosidad fina o agujeros. Si se producen dentro del metal, se conocen como poros; si por otra parte se hallan presentes en la superficie se denominan sopladuras. Al ser interna, la porosidad produce indicaciones de defectos que

son anchos y difusos. En razón a que no siguen un patrón de dirección, para la localización de tales defectos se requiere máxima sensibilidad.

DESGARRAMIENTO EN CALIENTE: El enfriamiento no uniforme durante la colada resulta en tensiones que quiebran la superficie del metal después de su solidificación mientras la temperatura se halla aún en el intervalo frágil. Entonces se pueden producir grietas por contracción que aparecerán como líneas quebradas de ancho diverso con numerosas ramificaciones que se producen individualmente o en grupos. La inspección por partículas magnéticas pueden localizar estas grietas por contracción expuestas a la superficie, pero si el espesor es superior a los límites de las posibilidades del método por partículas magnéticas entonces se sugiere la inspección ultrasónica o radiográfica.

CORTE FRÍO: Si el metal se vierte en el molde con demasiada rapidez parte del metal derretido puede salpicar en anticipación al chorro de vertido. La solidificación de estas salpicaduras en anticipación al chorro principal resultarán en una unión mediocre con el resto de la pieza, lo que resulta en una sección de metal mal fusionado llamada corte frío. La indicación de este defecto será una indicación superficial o cerca de la superficie fácilmente discernible por el método de inspección por partículas magnéticas.

5.1.2.2 DISCONTINUIDADES DE PROCESO QUE RESPONDEN A LA INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

COSTURAS: El lingote empleado en la producción de barras o rieles puede contener defectos primarios tales como grietas o fisuras. Durante el laminado o ejecución de otros procesos estos defectos pueden cerrarse para formar un defecto que sea largo y recto en apariencia y generalmente paralelo al eje longitudinal de la barra. Esto es lo que se llama una costura. Sus indicaciones son por lo general rectas, claras y finas. Frecuentemente son intermitentes cuando la costura es parcialmente sub-superficial y pueden presentar indicaciones apenas perceptibles.

PLIEGUES: El pliegue puede ser debido a una aleta saliente de metal producida por el laminado o a una rebaba resultante del proceso de forja. Dado que en la

mayoría de los casos un pliegue no es normal que sea superficial, las indicaciones serán gruesas e irregulares debido a que el defecto presente en el metal estará en ángulo. Si el pliegue contiene además cascarillas, la indicación principal contendrá también pequeñas indicaciones similares a hojas de helecho.

EXPLOSIONES. Las explosiones son cavidades internas que se desarrollan a ciertas temperaturas durante el proceso cuando el material no fluye suficientemente, al ser laminado, forjado o extraído. Estas cavidades generalmente corren paralelas a la granulometría de la pieza, pero pueden variar en tamaño formado discontinuidades que varían desde anchas a muy finas y compactas. La inspección por partículas magnéticas es un método eficaz de inspeccionar los materiales ferrosos para la detección de explosiones en la superficie o cerca de ésta.

Producen indicaciones similares a las grietas por tratamiento térmico excepto que las líneas son menos quebradas o discontinuas.

DESGARRAMIENTO POR MAQUINADO: Prácticas deficientes de maquinado, tales como herramientas de corte poco afiladas o una extracción excesiva de material en una sola pasada pueden producir un defecto en el metal denominado desgarramiento por maquinado. Este tipo de discontinuidad se denotará por líneas cortas e irregulares que se producirán en ángulos rectos con respecto a la dirección del maquinado.

GRIETAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO: El tratamiento térmico puede ocasionar tensiones internas, especialmente en áreas en que secciones transversales del material pudieran variar, y que pueden ser grandes hasta el punto de quebrar el material, dejando grietas debidas al tratamiento térmico. Estas forman una imagen clara bien definida y concreta en la inspección por partículas magnéticas, que característicamente pueden ser un grupo de líneas cortas o quebradas y agrupadas, frecuentemente en series curvas.

GRIETAS DE AMOLADO: El amolado de superficies endurecidas puede sobrecalentar la superficie y producir grietas en ángulos rectos a la dirección del amolado. Estas grietas forman característicamente una red fina de poca profundidad. La base del defecto es muy marcada y producirá el núcleo para

el inicio de una falla por fatiga. Debido a su profundidad limitada, las grietas por amolado raramente inducen una gran acumulación del medio indicador. La orientación de la discontinuidad variará desde una línea única a grupos de líneas con orientación diferente.

GRIETAS POR ATAQUE ÁCIDO O POR CROMADO: Estas grietas se hallan cuando aún quedan tensiones residuales altas de procesos anteriores tales como endurecido. Cuando tales áreas se recubren, estas tensiones pueden causar grietas en el revestido.

DISCONTINUIDADES DE SOLDADURA: La inspección por partículas magnéticas es muy corriente en las soldaduras, especialmente en secciones irregulares en las que el contorno de la pieza o la configuración de la superficie en la unión de las soldaduras hace inaplicable la inspección ultrasónica o radiográfica. La siguiente es una lista de los tipos más importantes de discontinuidades en soldaduras.

FALTA DE PENETRACIÓN: Por su propia naturaleza, la falta de penetración es el más profundo de los defectos en soldadura y deberá inspeccionarse utilizando corrientes imanadora (cc) empleando el medio seco. La indicación será ancha y errusa, lo que es típico de una discontinuidad interna. La inspección por partículas magnéticas es una inspección para defectos superficiales o próximas a la superficie y no deberá considerarse apta para detección de defectos a profundidades mayores de 6mm.

INCLUSIONES: Las inclusiones que se hallan en elementos soldados pueden tener cualquier forma y ser metálicas o no metálicas (p.e. óxidos, sulfuros, escorias, etc.) Las inclusiones de escoria alargadas por lo general se hallan en la zona de fusión, aunque pueden hallarse en cualquier parte de la soldadura inclusiones aisladas de forma irregular. El método de inspección por partículas magnéticas se limita a soldaduras automáticas donde la discontinuidad es superficial o cerca de la superficie e incluso se producirán muchos casos de indicaciones no pronunciadas, quebradas y de forma irregular.

POROSIDA: Las bolsas de gas que se producen en metales soldados aparecerán como vacíos. La inspección por partículas magnéticas puede solamente ayudar a localizar los poros cerca de la superficie.

GRIETAS POR CONTRACCIÓN: Una velocidad desigual de enfriado o la contracción de la soldadura pueden resultar en discontinuidades marcadas conocidas como grietas por contracción. Estas son comunes en las soldaduras y se localizan adecuadamente por medio de la inspección por partículas magnéticas.

FUSIÓN INCOMPLETA: La falta de fusión entre el material de soldadura y el metal base ocasionará una discontinuidad conocida como falta de fusión. La indicación resultante produce una imagen débil que denota bien un defecto superficial próximo a la superficie que sigue la dirección del borde de la soldadura.

GRIETAS: Las grietas en el metal soldado, las grietas de tipo cráter y las grietas en la zona afectada por el calor se detectan fácilmente mediante la inspección por partículas magnéticas. Tales grietas pueden producirse en cualquier caso con respecto al eje de la soldadura.

PENETRACIÓN INCOMPLETA: La detección de penetración incompleta sólo puede efectuarse en una soldadura de una sección relativamente delgada. Esta indicación es difícil de reconocer dado que es ancha y mediocremente definida.

2.2.3 CONDUCTOR PORTADOR DE CORRIENTE (CONDUCTOR CENTRAL)

Un elemento conductor, tal como un alambre o una varilla produce un campo magnético en torno suyo según se explica anteriormente (Figura 1-6), cuando a través del mismo se pasa una corriente. Esto, a su vez, establece un campo magnético en todo objeto que se halla próximo al primero. Este método se utiliza ampliamente cuando el conductor puede insertarse en un objeto tal como un aro o tubo. Este método del conductor central se explicará más adelante.

2.2.4. MÉTODO DIRECTO:

Cuando a través de un objeto se pasa directamente una corriente eléctrica se establece en el mismo un campo magnético de forma circular. Este método se emplea generalmente para objetos que pueden colocarse entre los cabezales de una máquina de partículas magnéticas. Se denomina "paso de corriente" y se describirá en el Capítulo 3. La intensidad del campo dependerá de la magnitud de la corriente, de la permeabilidad del material, del tamaño y forma del objeto y la distancia recorrida por la corriente dentro del objeto.

2.2.5. REGLA DE LA MANO DERECHA:

La regla de la Mano Derecha nos permite determinar fácilmente la dirección del campo. Imaginemos que tomamos el conductor con la mano derecha de forma que el dedo pulgar apunte en dirección del flujo de corriente, Figura 2-3. Los dedos apuntarán entonces en la dirección del campo.

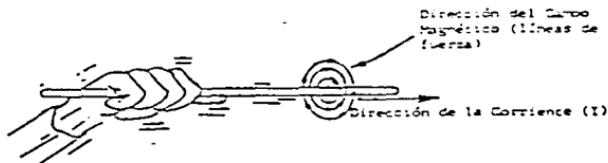


Figura 2 - 3

REGLA DE LA MANO DERECHA PARA DETERMINAR LA DIRECCIÓN DE LAS LÍNEAS MAGNÉTICAS DE FUERZA:

La polaridad de un electroimán puede determinarse igualmente por medio de la mano derecha en la que los dedos se colocan alrededor de la bobina en la dirección del flujo de corriente (+ a -). El pulgar estirado apuntará en la dirección del polo norte del imán (Figura 2-2).

GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS EN ULTRASONIDO

- AMPLITUD:** Altura del pulso vertical de una señal generalmente de base a pico cuando se indica una pantalla.
- ÁNGULO DE HAZ:** Serie de ondas viajando en un ángulo, medido de la superficie normal de prueba a línea del centro del haz.
- REGISTRO A:** Método de presentación de datos en un tubo de rayos catódicos utilizando una línea base horizontal que indica distancia o tiempo y una deflexión vertical a la línea base que indica amplitud.
- ATENUACIÓN:** Pérdidas de energía por la unidad de distancia.
- ATENUADOR:** Unidad para medir atenuación generalmente calibrada en decibeles (DB).
- REFLEXIÓN DE REGRESO:** Indicación del eco de el límite más lejano a la superficie de prueba.
- LÍNEA BASE:** La distancia a trazo transversal (horizontal) a la pantalla del tubo de rayos catódicos.
- HAZ DIFUSO:** Divergencia de haz de sonido como si este viajara a través de un material.
- REGISTRO B:** Medio de presentación de datos que proporciona una vista en sección transversal de la pieza bajo prueba.
- ROCIADOR:** Unidad que usa un chorro líquido para acoplar un haz ultrasónico a la unidad de prueba.
- COLIMADOR:** Unidad que controla el tamaño y dirección de haz ultrasónico.

INSPECCIÓN-CONTACTO: Método en el que el palpador esta en contacto directo con el material con una película de acoplante muy delgada.

UNIDAD CONTINUA: flujo constante de ondas ultrasónicas opuesto al pulso.

CONTROL DE ECO: Señala de referencia de una superficie dereflexión constante, tal como la reflexión de regreso.

EFFECTO DE ESQUINA: Reflexión de un haz sonoro en dirección normal a la intersección de dos planos perpendiculares.

REFLEXIÓN: Vereco.

REFLECTOR: Interfase en la que un haz ultrasonido encuentra un cambio en las características de impedancia y refleja.

REFRACCIÓN: Cambio angular en dirección del haz ultrasónico pasando oblicuamente de un medio a otro en el que las ondas tienen diferente velocidad.

RECHAZO (SUPRESIÓN): Control para eliminar o minimizar señales de amplitud baja (eléctricas o ruido por material) y recalcar las señales grandes.

RESOLUCIÓN: Disponibilidad del equipo ultrasónico para dar indicaciones simultáneas separadas de discontinuidades teniendo aproximadamente el mismo rango y posición lateral con respecto del eje del haz.

MÉTODO DE RESONANCIA: Técnica que varía la frecuencia de ondas ultrasónicas continuas para evitar una amplitud máxima de vibración de un cuerpo, generalmente se usa para medir espesores.

TIEMPO DE SATURACIÓN: Tiempo en que la vibración mecánica de un cristal continúa después de que el impulso eléctrico a usado.

NIVEL DE SATURACIÓN: Ver limite vertical.

EXPLORACIÓN: Movimiento relativo del palpador sobre la superficie de prueba.

ENERGÍA DISPERSA: Aquella energía que es reflejada al azar por pequeñas reflexiones en la trayectoria del haz ultrasónico.

SISTEMA SHLIEREN: Sistema óptico para observar un haz ultrasónico pasando a través de un medio transparente.

PALPADOR.- Unidad que incorpora uno o más transductores.

SENSITIVIDAD: Disponibilidad de un sistema ultrasónicos para detectar una pequeña discontinuidad.

SOMBRA: Región de un cuerpo que no es detectada por la energía ultrasónica viajando en una dirección dada debido a la geometría del cuerpo o discontinuidad.

ONDA CONTANTE: Movimiento de la onda en el que el movimiento de la partícula es perpendicular a la dirección de propagación.

ACOPLANTE: Sustancia usada entre el palpador y la superficie de prueba para permitir o mejorar la transmisión de la energía ultrasónica.

ÁNGULO CRÍTICO: Ángulo incidente del haz sonoro después del cual modo específico refractado de vibración no existe.

INTERFERENCIA: Señal dispersa (acústica o eléctrica) transversal a una barrera cercana.

CRISTAL.- Elemento piezoelectrónico de un palpador.

ESCALA "C": Medio de presentación de datos que proporciona una vista plana del material y sus discontinuidades.

AMORTIGUADOR: Limitador de la duración de vibración en el palpador por medios eléctricos o mecánicos.

ZONA MUERTA: Distancia comprendida entre la superficie de prueba y la zona más cercana en donde empieza la inspección.

DECIBEL (DB): Expresión logarítmica del promedio de dos amplitudes o intensidades.

BARRIDO DE RETARDO: Presentación en escala A ó B en la que parte de la escala inicial no aparece.

DAC: (Corrección distancia - amplitud) (ganancia de barrido, ganancia de tiempo corregido, ganancia de tiempo variable, etc.) **CAMBIO ELECTRÓNICO DE AMPLIFICACIÓN PARA PROPORCIONAR** amplitud igual de igual reflexión a diferente profundidad.

DGS: (Medidor alemán, ganancia-distancia AVG) curvas de distancia amplitud que permiten la predicción o tamaño de reflexión comparada a la respuesta de una superficie de reflexión de respuesta.

PALPADOR DOBLE: Palpador que consta de dos elementos, uno transmite y otro recibe (T- R, S. E.).

RANGO DINÁMICO: Promedio de áreas reflectivas máxima y mínima que pueden distinguirse en el tubo de rayos catódicos como un posicionamiento constante de ganancia.

ECO: Indicación de energía reflejada.

CAMPO LEJANO: Zona del haz donde igual reflexión da una disminución exponencial de amplitud con aumentos de distancia.

ENFOQUE DEL HAZ: Energía convergente del haz sonoro a una distancia específica.

FRECUENCIA (FUNDAMENTAL) En pruebas de resonancia. La frecuencia en la que la longitud de ondas es dos veces el espesor del material examinado.

FRECUENCIA (INSPECCIÓN) Onda efectiva ultrasónica del sistema usado para inspeccionar el material.

FRECUENCIA (REPETICIÓN DE PULSOS) Número de pulsos por segundo.

BOQUILLA DE BARRIDO: Columna corta de fluido como técnica de acoplamiento.

PUNTE: Medio electrónico para transmitir un segmento seleccionado de la distancia del trazo.

INCIDENCIA RAZANTE: Inspección por inmersión con el haz dirigido en un ángulo oblicuo a la superficie de prueba.

ARMÓNICO: Vibraciones que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

HOLOGRAFIA (ACÚSTICA): Sistema de presentación de datos usando ondas acústicas, análoga a la holografía óptica.

PRUEBAS DE INMERSIÓN: Método de examen donde el palpador y el material están sumergidos en agua.

IMPEDANCIA (ACÚSTICA): Cantidad matemática usada en el cálculo de características de reflexión en límites, producto de la velocidad de ondas y la densidad del material.

INDICACIÓN: Marca o señal que denota la presencia de un reflejo.

PULSO INICIAL: Respuesta en la pantalla al pulso transmitido.

INTERFASE: Limite entre dos materiales.

ONDA DE LAMB. Tipo de onda que se propaga dentro del espesor de una placa delgada que puede generarse solo en valores particulares de ángulo incidencia, frecuencia y espesor de la placa. La velocidad de la onda depende del modo y el producto del espesor de la placa y la frecuencia.

LINEALIDAD:

AMPLITUD: Característica de un sistema ultrasónico que indica su habilidad de respuesta en manera proporcional a un rango de amplitudes de eco producida por una reflexión específica.

DISTANCIA: Característica de un sistema ultrasónico que indica su disponibilidad de respuesta de manera proporcional a un rango de señales de eco, producida por una reflexión específica, variable en tiempo generalmente una serie de múltiplos de la reflexión de respuesta.

ONDA LONGITUDINAL: Ondas en las que el movimiento de las partículas del material es en la misma dirección que las ondas de propagación.

MARCAS: Pulsos generados electrónicamente o cualquier otra deflexión en la línea de base tiempo usada en la medición de distancia.

MODO DE VIBRACIÓN: Tipo de onda en movimiento p.e. longitudinal, transversal etc.

REFLEXIONES MÚLTIPLES: Ecos sucesivos de energía ultrasónica entre dos superficies.

CAMPO CERCANO: Región del haz ultrasónico adyacente al transductor que tiene perfil complejo conocido también como zona de fresnel.

RUIDO: Cualquier señal indeseable que tiende a interferir con la recepción normal, su origen puede ser eléctrico o de pequeños materiales reflejantes.

OSCILALOGRAMA: Término común para el registro de los datos de la pantalla de rayos catódicos.

- PENETRACIÓN:** Máxima profundidad en un materia en la que la indicación puede medirse.
- ONDA PLANA:** Ver onda lamb.
- PULSO:** Serie de ondas cortas de vibraciones mecánicas
- MÉTODO PULSO:** ECO. Método de inspección en el que la presencia y posición de un reflector se indica por la amplitud del eco tiempo.
- LONGITUD DE PULSO:** Medición de la duración de una serie de ondas expresadas en tiempo o numero de ciclos.
- VELOCIDAD DE REPETICIÓN DEL PULSO:** Ver frecuencia (Repetición de pulsos).
- SELECCIÓN DEL PULSO:** Control de algunos equipos usados para optimizar la respuesta del palpador y transmitirla por variación de frecuencia.
- RF (PRESENTACIÓN DE RADIO DE FRECUENCIA):** Señal en la pantalla que no esta rectificada.
- RANGO. (VER BARRIDO):** Longitud máxima que puede presentarse en la pantalla de rayos catódicos.
- ONDA RAYLEIGH:** Onda superficial en la que el movimiento de la partículas es elíptico y la penetración efectiva es menor que una longitud onda.
- BLOCK DE REFERENCIA:** Block usado par establecer una escala de medición y un medio de producir una reflexión de características conocidas
- PALPADOR DE ONDA CORTANTE (palpador de cuarzo con corte en "Y"):** Palpador de haz recto usado para generar o detectar ondas cortantes.
- RELACIÓN SEÑAL: RUIDO:** La relación de la amplitud de una indicación ultrasónica a la amplitud máxima del ruido.

DISTANCIA DE MALA RECEPCIÓN: Prueba de haz angular, distancia desde la superficie de pruebas en el punto de entrada del sonido a un primer punto de reflexión.

HAZ RECTO: Pulso vibratorio en una serie de ondas viajando en dirección normal a la superficie de prueba.

SUPRESIÓN: Ver (rechazo.)

ONDA SUPERFICIAL: (Ver onda Rayleing).

BARRIDO: Movimiento uniforme y repetido de un haz electrónico en una pantalla de rayos catódicos.

GANANCIA DE BARRIDO (VER DAC).

SUPERFICIE DE PRUEBA: Superficie de la cual la energía ultrasónica entra o deja la pieza.

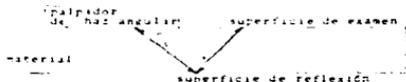
TRANSMISIÓN CONTINUA: Procedimiento de pruebas en que la vibraciones ultrasónicas son emitidas por un palpador y recibidas por otro en la superficie opuesta del material bajo prueba.

TRASDUCTOR: Unidad eléctrica acústica que convierte la energía eléctrica en acústica y viceversa.

ONDA TRANSVERSAL: (Ver onda de corte).

ULTRASONIDO: Pertenece a la vibraciones mecánicas que tiene una frecuencia mayor a 20, 000 hz. aproximadamente.

TRAYECTORIA "VEE": Trayectoria del haz angular que empieza en la superficie del examen, atraviesa el material hasta la superficie de reflexiones, continúa hacia la superficie de examen frente al palpador y se refleja en la misma trayectoria. Esta trayectoria generalmente describe y se identifica como una letra "V".



LIMITE VERTICAL: Máximo nivel leído de indicación vertical determinada por un límite físico o eléctrico en una presentación de registro "A".

PRESENTACIÓN VISUAL: Señal rectificadora rf.

TRAYECTORIA DE AGUA: Distancia del transductor a la superficial de pruebas en pruebas de columnas o inmersas en agua.

ONDA FRONTAL: Inducción continua superficial que va a los puntos mas alejados en una onda distorsionada que tiene la misma fase.

SERIE DE ONDAS: Sucesión de ondas ultrasónicas producidas desde la misma fuente, que tiene la misma característica y se propagan en la misma trayectoria.

CUÑA: Unidad que se usa para dirigir la energía ultrasónica a un determinado ángulo.

PALPADOR CIRCULAR: Unida ultrasónica que acopla el haz al material de prueba un área de contacto circular de un recipiente redondo.

ANEXOS

TABLAS LIQUIDOS PENETRANTES

Intensidad de Luz Visible (Lux)	Intensidad de Luz Visible (Bulbas-Pla)	Observaciones
10	1	Una mejor intensidad de luz negra en la cabina.
100	10	Una débil iluminación en el interior de la cabina.
1.000	100	Un interior brillante en la cabina y se observan sombras externas.
10.000	1.000	Un interior con luz de día y formación de sombras.

TABLA 1
Interferencia de Intensidades de luz visible durante la Inspección con luz ultravioleta.

Grietas Finas		Grietas Burdas o Gruesas	
Watts (W)/m ²	Microwatts (μW)/cm ²	W/m ²	μW/cm ²
0.3	30	0.1	10
5	500	0.5	50
50 (200 W/m ² es suficiente)	5,000	5	500

TABLA 2
Intensidad mínima de luz ultravioleta para detectar grietas finas y gruesas.

PROCESOS	DISCONTINUIDADES OCULTAS	INDICACIONES IRRELEVANTES
Esmerilado Rectificado	Obstruye las aberturas	Los aceites y grasas pueden fluorescer
Forjado	Traslapes parciales	Penetrante absorbido en las cascanillas
Granallado	Aberturas selladas	
Fundición o Soldadura		Las superficies rugosas retienen el penetrante
Pulido	El metal fluye sobre las discontinuidades	
Tratamiento Térmico		Penetrante absorbido en la cascanilla
Pintado o Deposición Metálica	Aberturas rellenadas	
Anodizado	Reducción de la fluorescencia	Los poros oxidados absorben penetrante
Cromado	Reducción de la fluorescencia	
Maquinado áspero en agujeros		Difícil remoción del exceso de penetrante

TABLA 3
Efecto de los procesos de manufactura en los metales sobre las indicaciones del penetrante.

CONDICION SUPERFICIAL	POSIBLE RESULTADO
Aceitosa o grasosa	(1) Ninguna indicación, discontinuidades obstruidas (2) Falsa fluorescencia
Sucia-polvorienta	Ninguna indicación, discontinuidades obstruidas
Granalladas o sandbiasteada	Ninguna indicación, discontinuidades obstruidas
Acida	Indicaciones débiles, reduce la fluorescencia
Cáustica (corrosiva)	Indicaciones débiles, reduce la fluorescencia
Húmeda	Indicaciones débiles, dilución del penetrante
Escamosa o con moho	(1) Indicaciones falsas (2) Ninguna indicación, discontinuidades obstruidas
Soldadura excesivamente rugosa	Falsas indicaciones
Superficie de fundición rugosa	Falsas indicaciones
Limpia	Excelente

TABLA 4
Influencia de la condición superficial del material
sobre las indicaciones del penetrante.

OPERACION	LO MINIMO QUE PUEDE SUCEDER	LO MAS QUE PUEDE SUCEDER
Temperatura (de la pieza o del penetrante)	Se pierden discontinuidades finas	Se pierden discontinuidades finas
Tiempo de penetración	Se pierden discontinuidades finas	Remoción difícil
Lavado	Falsas indicaciones	Se remueve el penetrante de las discontinuidades poco profundas o superficiales
Revelador	Poco o pobre contraste	Se cubren las discontinuidades finas

TABLA 5
Efecto de diferentes parámetros en las indicaciones

MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	5 - 15
		Traslapes en frío	5 - 15
	Forjados	Traslapes	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
Magnesio	Cualquier forma	Grietas por fatiga	30
		Porosidad	15
	Fundiciones	Traslapes en frío	15
		Dobleces	30
	Forjados	Falta de fusión	30
	Soldaduras	Porosidad	30
		Cualquier forma	Grietas por fatiga
Aceros Inoxidables	Fundiciones	Porosidades	30
		Traslapes en frío	30
	Forjados	Dobleces	60
	Soldaduras	Falta de fusión	60
		Porosidad	60
	Cualquier forma	Grietas por fatiga	30
		Porosidad	30
Latones y Bronces	Fundiciones	Porosidad	10
		Traslapes en frío	10
	Forjados	Dobleces	30
	Partes con soldadura de latón	Falta de fusión	15
		Porosidad	15
	Cualquier forma	Grietas por fatiga	30
		Porosidad	30
Plásticos	Cualquier forma	Grietas	5 - 30
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5 - 30
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	30
		Porosidad	30
		Grietas por esmerinado	10
Titanio y Aleaciones de alta temperatura		Todos	Usar solamente con penetrante posemulsificable

TABLA 6
Tempos de penetración para el proceso de penetrante fluorescente lavable con agua.

MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Soldadura	Falta de fusión	5
		Porosidad	5
Cualquier forma	Grietas por fatiga	10	
Magnesio	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Soldadura	Falta de fusión	10
		Porosidad	10
Cualquier forma	Grietas por fatiga	10	
Aceros Inoxidables	Fundición	Porosidad	10
		Traslapes en frío	10
	Forja	Dobleces	10
	Soldadura	Falta de fusión	20
		Porosidad	20
Cualquier forma	Grietas por fatiga	20	
Latones y Bronce	Fundición	Porosidad	5
		Traslapes en frío	5
	Forja	Dobleces	10
	Partes soldadas	Falta de fusión	10
		Porosidad	10
Cualquier forma	Grietas por fatiga	10	
Plásticos	Cualquier forma	Grietas	2
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	5
		Porosidad	5
		Grietas por esmerilado	20
Titanio y Aleaciones de alta temperatura		Todos	20 - 30

TABLA 7
Tempos de penetración para el proceso de penetrante fluorescente posomulsificable.

MATERIAL	FORMA O PROCESO	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION EN MINUTOS
Aluminio	Fundición	Porosidad	3
		Traslapes en frío	3
	Extrusión y forja Soldadura	Traslapes	7
		Cualquier forma	Falta de fusión
	Porosidad		3
Grietas	5		
Magnesio	Fundiciones	Grietas por fatiga	5
		Porosidad	3
	Extrusión y Forja Soldadura	Traslapes en frío	3
		Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	5
Porosidad		5	
Grietas		5	
Grietas por fatiga		7	
Aceros	Fundiciones	Porosidad	5
		Traslapes en frío	7
	Extrusión y forjado Soldadura	Traslapes	7
		Cualquier forma	Falta de fusión
	Porosidad		7
Grietas	7		
Latones y Bronces	Fundiciones	Grietas por fatiga	10
		Porosidad	3
	Extrusión y Forja Soldadura	Traslapes en frío	3
		Traslapes	7
	Cualquier forma	Falta de fusión	3
Porosidad		3	
Grietas		3	
Plástico	Cualquier forma	Grietas	5
Vidrio	Cualquier forma	Grietas	5
Herramientas con extremos de carburo		Falta de fusión	3
		Porosidad	3
		Grietas por esmerinado	5
Titanio y Aleaciones de alta temperatura	Cualquier forma		15
Todos los metales	Cualquier forma	Corrosión Intergranular	240

TABLA 8
Tiempos de penetración para el proceso de penetrante
fluorescente removible con solvente.

MATERIAL Y PROCESO	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION (MINUTOS)			
		TEMPERATURA		TEMPERATUR	
		60° F	90° F	35° F	60° F
Cualquier metal	Grietas por tratamiento térmico	03	05	10	15
Cualquier metal	Grietas por esmerilado	07	10	15	20
	Grietas por fatiga	07	10	15	20
Plásticos	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Porosidad	03	05	10	15
Herramientas de corte					
Extremos de carburo	Poca soldadura	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el extremo	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el acero (o grietas en el cuerpo)	03	05	10	15
Métalos					
Fundición de molde permanente	Porosidad por contracción	03	05	10	15
Troquelado	Porosidad superficial	03	05	10	15
Troquelado	Traslapes en frío	03	20	10	20
Forjado	Grietas y traslapes	07	20	15	20
Metal rolado	Costuras	-	-	-	-
Soldadura de aluminio	Grietas y poros	03	05	10	15
Soldadura de aceros	Grietas y poros	07	20	15	20

Tabla 9
Tiempos de penetración para el proceso de penetrante
visible posemulsificable.

MATERIAL Y PROCESO	DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION (MINUTOS)			
		TEMPERATURA		TEMPERATUR A	
		60° F	90° F	35° F	60° F
Cualquier metal	Grietas por tratamiento térmico	03	05	10	15
Cualquier metal	Grietas por esmerilado	07	10	15	20
	Grietas por fatiga	07	10	15	20
Plásticos	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Grietas	03	05	10	15
Cerámicas	Porosidad	03	05	10	15
Herramientas de corte					
Extremos de carburo	Poca soldadura	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas en el extremo	03	05	10	15
Herramientas de corte	Grietas de acoro	--	--	--	--
Metales					
Molde permanente para fundición	Porosidad por contracción	03	05	10	15
Colado a matriz (fundición)	Porosidad superficial	03	05	10	15
Colado a matriz (fundición)	Traslapes en frío	03	20	10	20
Forjado	Grietas y traslapes	07	20	15	20
Metal rolado	Costuras	07	20	15	20
Soldadura de aluminio	Grietas y poros	03	05	10	15
Soldadura de aceros	Grietas y poros	07	20	15	20

TABLA 10
Tiempos de penetración para el proceso de penetrante
visible removible con solvente.

$$\frac{V_t}{V_L} = 0.49$$

y

$$\frac{V_s}{V_t} = 0.93 \text{ en aluminio}$$

Para completar cuanto hasta ahora se ha expuesto en la siguiente tabla se dan una serie de datos numéricos de interés.

DENSIDADES, VELOCIDADES E IMPEDANCIAS ACÚSTICAS
DE DISTINTOS MATERIALES.

MATERIAL	DENSIDAD 10^3 kg/m^3	VELOCIDADES ACÚSTICA 10^3 m/s		IMPEDENCIA ACÚSTICA $10^6 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$ $z = \rho \cdot V_L$
		V_L	V_t	
Acero (baja aleación)	7.85	5.82	3.19	45.7
Acero inox. austenítico (18/8)	8.03	5.66	3.12	45.5
Acero inox. martensítico 13% Cr.	7.67	7.39	2.99	56.7
Aluminio	2.71	6.32	3.08	17.1
Aleación Al - Cu AL L 3120	2.78	6.25	3.10	17.4
Aleación Al - Cu AL L3140	2.78	6.19	3.11	17.2
Fundición (hierro-carbono)	7.2	3.5-5.6	2.2-3.2	25.40
Hierro	7.7	5.85	3.23	45
Inconel. (lamindo)	8.25	7.82	3.02	64.5
Latón (Cu - Zn)	8.6	3.83	2.05	33
Metal duro (widia)	11-15	6.8-7.3	4.0-4.7	75-110
Monel (laminado)	8.83	6.02	2.72	53.1
Níquel	8.9	5.63	2.96	50
Plomo 6% Antimonio	10.9	2.16	0.81	23.6

MATERIAL	DENSIDAD 10^3 kg/m^3	VELOCIDADES ACÚSTICA		IMPEDENCIA LA ACÚSTICA 10^6 Kg/m^2 $z = \rho \cdot VL$
		VL	10^3 m/s Vt	
Cristales Piezoeléctricos				
Cuarzo (SiO_2) Corte X	2.65	5.76	---	15.3
Metaniobato de Plomo (PbNb_2O_7)	5.8	2.8	---	16
Sulfato de Litio (Li_2SO_4)	2.06	4.72	---	8.6
Titanato de Bario (BaTiO_3)	5.7	4.40	---	11.2
Perpex (Polimetacrilato metilo)	1.18	2.73	1.43	3.2
Teflon	2.2	1.35	---	3.0
Araldit	1.15-1.3	2.5-2.8	1.1	2.8-3.7
Baquelita	1.4	2.59	---	3.6
Aceite (SAE 20 a 30)	0.89-0.96	1.74	---	1.5-1.7
Agua destilada	1.0	1.483	---	1.48
Glicerina	1.26	1.92	---	2.4
Alcohol etílico	0.79	1.117	---	0.92
Aire	0.0012	0.330	---	0.000398

Los parámetros de frecuencia, velocidad acústica y longitud de onda son útiles para describir la geometría del haz, las propiedades de los transductores, además de los modos de propagación y se interrelacionan por medio de la siguiente ecuación, la cual es válida para todos los tipos de ondas:

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

ULTRASONIDO

Tabla I: Velocidad e impedancia acústica en diferentes materiales.

MATERIAL	VELOCIDAD LONGITUDIN AL		VELOCIDA D DE CORTE		IMPEDANCI D ACÚSTICA Kg/M ² SEG X 10 ³ ZL
	PULG / SEG X 10 ³	CM / SEG X 10 ³	PULG / SEG X 10 ³	CM / SEG X 10 ³	
AIRE	0.13	0.33	--	--	0.0004
ALUMINIO	2.50	6.30	1.2	3.1	17.0
OXIDO DE ALUMINIO	3.40	8.70	--	--	32.0
BERILIO	5.10	12.90	3.5	8.9	23.0
CARBURO DE BORO	4.30	11.00	--	--	26.4
BRONCE	1.50	3.80	0.83	2.1	31.0
CADMIO	1.10	2.80	0.59	1.5	24.0
CÓBRE	1.80	4.70	0.90	2.3	41.6
VIDRIO	2.00	5.10	1.10	2.8	11.4
GLICERINA	0.75	1.90	--	--	24.6
ORO	1.30	3.20	0.47	1.2	62.6
HIELO	1.60	4.00	0.80	2.0	3.5
INCONEL	2.20	5.70	1.20	3.0	47.2
ACER	2.30	5.90	1.30	3.2	45.4
ACERO (FUNDIDO)	1.80	4.60	1.00	2.6	33.2
PLOMO	0.87	2.20	0.30	0.7	24.6
MAGNESIO	2.30	5.80	1.20	3.0	10.0
MERCURIO	0.55	1.40	--	--	19.6
MOLIBDENO	2.50	6.30	1.30	3.4	63.1
MONEL	2.10	5.40	1.10	2.7	47.6
NEOPRENO	0.63	1.60	--	--	2.1
NICKEL	2.20	5.60	1.20	3.0	49.5
NYLON 6-6	1.00	2.60	0.43	1.1	2.9
ACEÍTE (SAE 30)	0.67	1.70	--	--	1.5
PLATINO	1.30	3.30	0.67	1.7	69.8
PLEXIGLASS	1.10	2.70	0.43	1.1	3.1
POLIETILENO	0.70	1.90	0.20	0.5	1.7
POLISTIRENO	0.93	2.40	0.40	1.1	2.5
POLIURETANO	0.70	1.90	--	--	1.9
QUARZO	2.30	5.80	0.87	2.2	15.2
ELASTICO BUTILO	0.70	1.80	--	--	2.0
PLATA	1.40	3.60	0.60	1.6	38.0
ACERO TEMPLADO	2.30	5.90	1.30	3.2	46.0
ACERO INOXIDABLE	2.30	5.80	1.20	3.1	45.4
TEFLON	0.60	1.40	--	--	3.0
ESTAÑO	1.30	3.30	0.70	1.7	24.2
TITANIO	2.40	6.10	1.20	3.1	27.3
TUNGSTENO	2.00	5.20	1.10	2.9	101.0
URANIO	1.30	3.40	0.80	2.0	63.0
AGUA	0.584	1.48	--	--	1.48
ZINC	1.70	4.20	0.90	2.4	29.6

Los materiales de este tipo utilizados con mayor frecuencia son:

1) **Titanato de Bario**. Se considera buen emisor debido a su elevado módulo piezoeléctrico. Sus limitaciones más importantes son: problemas de acoplamiento y amortiguación; su empleo está limitado a frecuencias menores de 15 Mhz, debido a su baja resistencia mecánica y alta impedancia acústica; presenta interacción entre varios modos de vibración y la temperatura de su punto de Curie es de 115-150 grados C.

2) **Metaniobato de Plomo**. Presenta un módulo piezoeléctrico elevado, lo que lo califica como buen emisor. Posee excelente estabilidad térmica, similar al cuarzo, lo que le permite ser empleado a altas temperaturas. Otra ventaja es que posee un elevado coeficiente de amortiguación interna, por lo que se considera como el mejor material para generar impulsos cortos. Una de sus limitaciones es que presenta una baja frecuencia fundamental y una mala resistencia mecánica, por lo que se aplica principalmente a frecuencias altas. Otra limitante es que presenta interacción entre varios modos de vibración.

3) **Zirconato Titanato de Plomo**. Se considera como el mejor emisor por su alto módulo piezoeléctrico. Sin embargo, es el más difícil de amortiguar por su alto coeficiente de deformación. Se recomienda su empleo cuando existen problemas de penetración.

Un breve resumen de las características físicas y de selección de los materiales a ser empleados en la fabricación de transductores, se presentan en las tablas III.1 y III.2

**Características Físicas de los Materiales
Piezoeléctricos más comunes.**

	Cuarzo	Sulfato de Litio	Titanato de Bario	Metaniobato de Plomo	Zirconato titanato de plomo	Unidades
Densidad	2.65	2.06	5.4	6.2	7.5	g/cm ³
Velocidad acústica	5.74	5.46	5.10	3.30	4.00	×10 ⁶
Impedancia (Z)	15.3	11.2	27	20.5	30	mm/seg 10 ⁶ kg/m ² s
Temperatura Crítica	576	130	120	550	190-350	grados C
Constante Dieléctrica	4.5	10.3	1000	300	400-4000	

dB	Relación	dB	Relación
0	1.00:1	11	3.55:1
0.5	1.06:1	12	3.98:1
1	1.12:1	13	4.47:1
2	1.25:1	14	5.01:1
3	1.41:1	15	5.62:1
4	1.58:1	16	6.31:1
5	1.78:1	17	7.08:1
6	2.00:1	18	7.94:1
7	2.24:1	19	8.91:1
8	2.51:1	20	10.00:1
9	2.82:1	40	100.00:1
10	2.16:1	60	1000.00:1

Tabla VII.1.- Esta tabla muestra las relaciones de amplitud versus decibeles.

Otras relaciones pueden ser computadas, como se muestra a continuación

$$28 \text{ dB} = (20 \text{ dB} + 8 \text{ dB}) \text{ Relación} = 10 \times 2.51) = 25.1 : 1$$

$$77 \text{ dB} = (60 \text{ dB} + 17 \text{ dB}) \text{ Relación} = 1000 \times 7.80) = 7080 : 1$$

Los siguientes dos ejemplos sirven para clasificar este método de evaluación

Ejemplo.- Al efectuar una inspección se detecta una discontinuidad que presenta una indicación con una altura del 20% de la EVP. El nivel de referencia del sistema (NR) es de 38 dB para un diámetro de 3.2 mm (1/8") y la indicación (NI) requiere de 51 dB para alcanzar la altura del 70% de la EVP. ¿Cuál es el tamaño estimado de la discontinuidad?

Sustituyendo valores se tiene:

$$\text{dB I} = \text{NI} - \text{NR} ; \text{dB} = 51 - 38 = +13$$

De la tabla VII. 1, 13 dB equivalen a una relación de 4.47:1. Como el signo es positivo, se puede predecir que la indicación tiene un diámetro 4.47 veces menor que el AFP de referencia.

Si el $D_r = 3.2 \text{ mm}$ (1/8"), entonces.

$$D_i = \frac{D_r}{rc/dB} ; \quad D_i = 0.71 \text{ mm.}$$

Por lo que el diámetro estimado de la discontinuidad es de 0.71 mm.

**RECOPIACIÓN DE LAS NORMAS Y ESPECIFICACIONES MÁS
EMPLEADAS PARA LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL.**

ANSI

B31.1, Power Piping

B31.3, Petroleum Refinery Piping

B31.7, Code for Pressure Piping, Nuclear Power Piping

N45.2.6, Qualifications of Inspection, Examination, and Testing Personnel for Construction Phase of Nuclear Power Plants.

Y32.17 Nondestructive Testing Symbols.

API.

API 54, Specification for Casing, Tubing, and Drill Pipe.

API 5AC, Specification for Restricted Yield Strength Casing and Tubing.

API 5AX, Specification for High Strength Casing, Tubing, and Drill Pipe.

API 5L, Specification for Line Pipe

API 5LS, Specification for spiral Weld Line Pipe.

API 5LU, Specification for Ultra High-Tensile Heat Treated Line Pipe

API 5LX, Specification for High Test Line Pipe.

API RP 5A5, Recommended Practice for the Field Inspection of New Casing, Tubing, and Plain End Drill Pipe.

ASME.

Sec. I, Boiler and Pressure Vessel Code, Power Boilers.

Sec. II, Boiler and Pressure Vessel Code

Sec. III, Boiler and Pressure Vessel Code, Nuclear Vessels

Sec. V, Boiler and Pressure Vessel Code, Nondestructive Examination

Sec. VIII, Div. 1, Boiler and Pressure Vessel Code, Unfired Pressure Vessels

Sec. VIII, Div. 2 Boiler and Pressure Vessel Code, Alternative Rules for Pressure Vessels.

Sec. XI, Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components.

ASNT

Recommended Ultrasonic Acceptance Standards for Airframe Aluminum Alloy Plate, Forgings, and Extrusions

TABLA I

**FECUENCIAS DE ENSAYOS POR
ULTRASANIDOS UTILIZADAS
NORMALMENTE EN DIVERSOS MATERIALES**

	ENSAYO POR CONTACTO
Intervalo de Frecuencia	Aplicación
0.015-0.1	Inspección, partes de vidrios, cerros y otros materiales de estructura basta.
0.1-1	Productos moldeados: fundición gris, modular y materiales de estructura relativamente basta, tal como cobre y aceros inoxidables.
0.4-6	Productos moldeados: Acero, aluminio, latones y otros materiales con tamaño de grano fino.
0.2-2.25	Materiales plásticos y similares, tales como combustibles sólidos de motores, cohetes y polvoras.
1-6	Productos laminados: chapa, placa, barra y perfiles metálicos.
2.25-10	Productos extruados y estirados: barra, tubo y perfiles (materiales ferrosos y no ferrosos).
1-10	Productos forjados: Materiales ferrosos y no ferrosos.
2.25-10	Vidrios y Cerámicos.
1-2.25	Soldaduras: Materiales ferrosos y no ferrosos.
1-10	Inspección de mantenimiento, especialmente para grietas de fatiga.
	ENSAYO POR INMERSION
Frecuencias	Aplicación
0.5-10	Grandes lingotes de aluminio, magnesio y titanio y sus aleaciones.
1-5	Aleros inoxidables.
5-25	Productos extruados, forjados y laminados de aluminio, magnesio y titanio y sus aleaciones.

UT LESSON 4 WORKSHEET #1

Angle	Sin	Cos	Tan	Angle	Sin	Cos	Tan
1°	0.0175	9998	0.0175	71°	0.9455	0.3256	2.9042
2°	0.0349	9994	0.0349	72°	0.9511	0.3090	3.0777
3°	0.0523	9995	0.0524	73°	0.9563	0.2924	3.2709
4°	0.0698	9976	0.0699	74°	0.9613	0.2757	3.4874
5°	0.0872	9952	0.0875	75°	0.9663	0.2598	3.7321
6°	0.1045	9925	0.1051	76°	0.9713	0.2449	4.0108
7°	0.1218	9895	0.1228	77°	0.9761	0.2309	4.3235
8°	0.1392	9863	0.1405	78°	0.9807	0.2178	4.5446
9°	0.1564	9829	0.1581	79°	0.9851	0.2054	4.8397
10°	0.1736	9792	0.1763	80°	0.9892	0.1936	5.1724
11°	0.1908	9753	0.1944	81°	0.9931	0.1824	5.5474
12°	0.2079	9711	0.2126	82°	0.9968	0.1718	5.9683
13°	0.2250	9667	0.2309	83°	0.9999	0.1618	6.4397
14°	0.2419	9621	0.2493	84°	1.0000	0.1524	6.9672
15°	0.2598	9573	0.2679	85°		0.1436	7.5541
16°	0.2776	9523	0.2867	86°		0.1354	8.2044
17°	0.2954	9471	0.3057	87°		0.1277	8.9327
18°	0.3090	9417	0.3249	88°		0.1205	9.7554
19°	0.3272	9361	0.3443	89°		0.1138	10.7007
20°	0.3422	9303	0.3640	90°		0.1075	11.8017
21°	0.3584	9244	0.4040			0.1018	13.0606
22°	0.3746	9183	0.4245			0.0966	14.4943
23°	0.3907	9120	0.4452			0.0918	16.1307
24°	0.4067	9055	0.4663			0.0874	17.9967
25°	0.4226	9000	0.4877			0.0834	19.1250
26°	0.4384	8944	0.5096			0.0796	20.5625
27°	0.4543	8887	0.5317			0.0762	22.3650
28°	0.4695	8829	0.5543			0.0731	24.6000
29°	0.4848	8770	0.5774			0.0702	27.3300
30°	0.5000	8711	0.6009			0.0675	30.6300
31°	0.5150	8651	0.6249			0.0651	34.6600
32°	0.5299	8590	0.6494			0.0629	39.5000
33°	0.5446	8529	0.6745			0.0609	45.2500
34°	0.5592	8467	0.7002			0.0591	52.0000
35°	0.5736	8405	0.7265			0.0575	60.0000
36°	0.5878	8342	0.7536			0.0560	70.0000
37°	0.6018	8279	0.7813			0.0547	83.0000
38°	0.6157	8215	0.8098			0.0535	100.0000
39°	0.6293	8151	0.8391				
40°	0.6428	8087	0.8693				
41°	0.6561	8022	0.9004				
42°	0.6691	7957	0.9325				
43°	0.6820	7891	0.9657				
44°	0.6947	7825	1.0000				
45°	0.7071	7759					

SEVERIDAD DE LA DISCONTINUIDAD	ESPESOR DE LA SOLDADURA Y ANGULO DEL TRANSDUCTOR										
	5/16	3/8	1-1/2 A 2-1/2			2-1/2 A 1			8 A 3		
	A	A	A			A			A		
CLASE	70°	10°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
CLASE A	+5 E INF.	+2 E INF.	-2 E INF.	+1 E INF.	+3 E INF.	-5 E INF.	-2 E INF.	0 E INF.	-7 E INF.	-4 E INF.	-1 E INF.
CLASE B	+6 Y SUP.	+3 Y SUP.	-1 0	+2 +1	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
CLASE C	+7 Y SUP.	+4 Y SUP.	+1 +2	+4 +5	+6 +7	+2 +2	+1 +2	+3 +4	-4 +2	-1 +2	+2 +3
CLASE D	+8 Y SUP.	+5 Y SUP.	+3 Y SUP.	+6 Y SUP.	+8 Y SUP.	+3 Y SUP.	+3 Y SUP.	+5 Y SUP.	+3 Y SUP.	+3 Y SUP.	+4 Y SUP.

SEVERIDAD DE LA DISCONTINUIDAD	ESPESOR DE LA SOLDADURA Y ANGULO DEL										
	5/16	>3/4	>1-1/2 A 2-1/2			>2-1/2					
	A	A	A			A					
CLASE	70°	70°	70°	60°	45°	70° 60° 4.					
CLASE A	+10 E INF.	+8 E INF.	+4 E INF.	+7 E INF.	+9 E INF.	+1 E INF.	+4 E INF.	+6 E INF.			
CLASE B	+11 Y SUP.	+9 Y SUP.	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0 +3		
CLASE C	+12 Y SUP.	+10 Y SUP.	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2		
CLASE D	+13 Y SUP.	+11 Y SUP.	+9 Y SUP.	+12 Y SUP.	+14 Y SUP.	+6 Y SUP.	+9 Y SUP.	+11 Y SUP.	+3 +4 +8		

TERMOGRAFÍA

SECTION 2 – BASIC SYSTEM

Table 2.6. Display Unit – Rear Panel Connectors and Switches

Description	Function
SPOT WOBBLING	This switch selects whether SPOT WOBBLING will be added to the displayed image.
OPERATIONAL MODE -NORMAL/REC/RO -PLAYBACK	This switch selects which image source is displayed (live or video). This position selects normal live images for display or recording. This position is selected to replay images previously recorded on a video tape recorder.
FIELD 1-4	This switch selects either 1 or 4 fields that will be recorded onto a film (the 4 position is generally recommended).
ACCESSORY CONNECTOR	The accessory socket is used to connect accessories to the Display Unit, e.g. the VTR of the Colour Monitor.
POWER SCANNER	This plug is used to connect both power supplies to the system. This socket is used to connect the Scanner Unit to the Display Unit.
LEVEL ADJUST	This control adjusts the THERMAL LEVEL during system calibration.
PHOTO PRESET	This switch, when set to ON, enables the operator to set up the preset contrast and brightness controls on the front panel.

FIRST TIME OPERATION

Figs 2.29 to 2.32 together with the following text detail the step-by-step operating procedures for the Thermovision™ 782. It is recommended that first time operation should be carried out using the Power Supply/Charger Unit.

- (a) Ensure that the scanner is correctly connected to the Display Unit, and that the ac setting on the Power Supply/Charger Unit is correctly set for the supply being used. Ensure that the scanner Dewar is filled with LN₂.
- (b) Set the POWER ON/OFF switch located at the lower right of the monitor screen to ON (see Fig. 2.29).
- (c) Check that the red LED is illuminated.
- (d) Ensure that the scanner motor starts and (within 20 seconds) the scale illumination is lit and the raster appears on the display screen.
- (e) Set the PICTURE MODE selector to 'GRAY SCALE' (see Fig. 3.22).
- (f) Set the MEASURE PAN switch to MEASURE.
- (g) Adjust the gray scale picture graduation as follows –
 - (i) Set the CONTRAST control fully counter-clockwise.
 - (ii) Adjust the BRIGHTNESS control to obtain middle gray tone over the complete picture area.
 - (iii) Readjust the CONTRAST control to obtain graduated gray tone, i.e. black at the base of the picture through middle gray to white at the top of the picture.

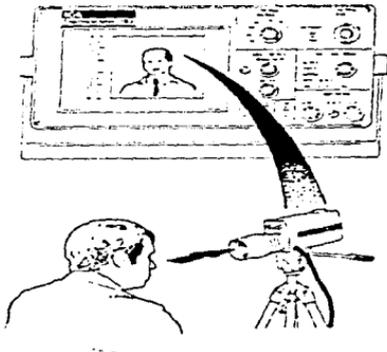


Fig. 2.31. Initial Setting Up

SECTION 3 - PHOTO-RECORDING ACCESSORIES

Introduction

A photo-recording attachment is designed to be used with the Thermovision® 782 system. The attachment employs the use of specially adapted Polaroid or 35 mm film cameras. These cameras are connected via the photo attachment to the display unit. It should be emphasized that the system should be correctly set up for thermal measurement as described in Section 2 and Section 8 prior to the commencement of photo-recording. Fig. 3.1 shows how the Polaroid or 35 mm cameras are fitted to the attachment. This unit is an optional extra and can be purchased separately.

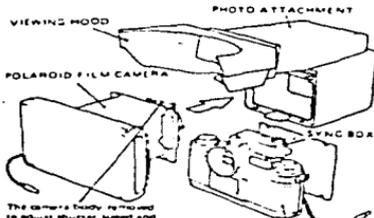


Fig 3.1 Photo Recording Attachment - 35mm CAMERA (Polaroid and 35mm)

POLAROID FILM CAMERA

Installing the Attachment to the Display Unit

The photo recording attachment is mounted to the display unit by locating the rails at either side of the attachment into location grooves fixed on either side of the display screen.

Setting the Shutter Speed and Aperture

Prior to inserting the camera into the attachment the shutter speed should be set to 1 sec and the aperture set to f/8.

Fitting the camera to the attachment

The camera is fitted to the attachment by fitting the camera so that the lens is pointing down and then engaging the two guide pins into the slots on the recording attachment. The camera should then be tilted down and by pressing at the back of the camera the lower latch will snap into place. The synchronization cable is connected to the PHOTO socket on the display unit.

NOTE: This connection is a push to lock connection and the cable should not be twisted. If the sync cable is not used the exposure time should be reset to 0.25 sec at 1/11.

Loading the Film

Loading instructions are contained in the film pack for Polaroid Land type 667 or 107 film.

Preset Display Unit Controls

On rear of display unit set SPOT WOBBLING switch to "ON", PHOTO PRESET to "ON" and FIELD switch to "1" in case of moving object. On front of display unit set PICTURE MODE selector to GRAY STEP and adjust BRIGHTNESS and CONTRAST preset screwdriver controls to obtain a clear stepped gray scale picture. Low brightness and contrast settings give correct thermogram exposures. (See Fig. 3.2)

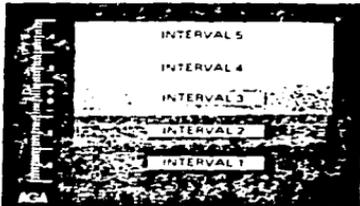


Fig 3.2 Gray Step Picture

Gray Scale Test Exposure

To make a test exposure proceed as follows:

- Ensure the Thermovision® 782 system is set up as described in Section 2.
- Set the PICTURE MODE switch to GRAY SCALE.
- View the display screen through the viewing hood of the attachment.
- Close the viewing door.
- Depress the shutter fully and release.
- To develop the Polaroid picture proceed as follows:
 - Grip the centre of the WHITE TAB of the film and carefully pull it all the way out of the camera.
 - Carefully grip the YELLOW TAB and pull it straight and at a constant speed all the way out of the camera.

NOTE: This action must be continuous. Start timing the development of the film from the time the photographic clear of the camera.

- ALLOW 45 seconds for the film to develop at room temperature (i.e. greater than 21°C).

WARNING: THE CHEMICALS USED FOR THE FILM DEVELOPMENT CAN CAUSE SKIN IRRITATION THEREFORE CARE SHOULD BE TAKEN TO AVOID CONTACT WITH THE CHEMICALS ON FILM SEPARATION.

SECTION 3 - PHOTO RECORDING ACCESSORIES

(N) Separate the print from the film starting at the yellow tab

- (i) Compare the gray tone print with the display. (See Fig. 3-3) If necessary, fine adjustments to the CONTRAST and BRIGHTNESS preset controls may be required. A small screwdriver included in the tool kit is required to carry out this operation. Clockwise rotation causes an increase of brightness or contrast. Counter-clockwise rotation causes a decrease of brightness and contrast. If adjustment is required a further test print should be carried out.



Fig. 3-3. Gray Scale Sample Picture

NOTE: The PHOTO PRESET switch should be set to ON to allow adjustments of the preset controls. When a satisfactory print is obtained the switch should be set to 'OFF'. In this position the BRIGHTNESS and CONTRAST manual controls can be adjusted for optimum viewed image without affecting the preset controls.

Thermogram Recording

Set PICTURE MODE selector to either NORMAL or INVERTED as required. Use ISOTHERM LEVEL controls to determine area of highest and lowest temperatures to be recorded and proceed as detailed in the Gray Scale Test Exposure.

Optimum Exposure Tips

The best balanced exposures are achieved by avoiding the use of saturated white as the highest temperature level in the NORMAL mode of operation. One method is to set one isotherm marker to ± 0.3 by adjustment of the ISOTHERM LEVEL 1 control and to adjust the THERMAL LEVEL control until the isotherm just brightens the highest thermal area. All details are then rendered in varying tones of gray, and only the isotherm as saturated white. Subsequent exposures can be changed by slight adjustment of the BRIGHTNESS and CONTRAST screwdriver controls without affecting the THERMAL LEVEL setting.

Film Developing Tips

Develop the film longer in cooler conditions (ie. below 19°C) Under-development produces gray, low contrast

thermogram prints. Over-development gives too much contrast.

Polaroid film Type 667 need not be coated.

Pictures made on Polaroid Type 167 film should be coated with the solution provided with the film as soon as it is convenient to do so, preferably within two hours. Before loading the film pack, check that developer spreader mechanism in camera back is clean. Dirt or chemical residue on spreader rollers or film exit door can cause stripages which may ruin an entire film pack.

Cleaning the Polaroid Film Camera

Details for care and cleaning of the Polaroid camera are detailed on the inside of the camera back.

35mm CAMERA

Fitting the Camera and the Attachment

The 35 mm camera is fitted to the attachment in the same way as previous 35mm cameras for the Polaroid film camera. The photo attachment is located into the grooves fitted to each side of the display unit. The function selector box is fitted to the 35mm camera body, flash socket.

Important

Before mounting the 35mm camera with lens to the photo attachment, the sync box must be removed. After fitting the camera to the attachment, the sync box can be replaced.

Setting the Shutter Speed

Prior to inserting the camera into the attachment the shutter speed should be set to 1 sec (aperture is fixed).

Loading the Film

The 35 mm film is loaded in the normal way (see camera instruction manual).

Preset Display Unit Controls

At the rear of the display unit set SPOT WOBBLING switch to OFF, PHOTO PRESET to ON and FIELD to ON. The front of display unit set PICTURE MODE to GRAY SCALE.

Gray Scale Adjustment

Set CONTRAST screwdriver control to suit film type being used. The values given in Table 1 may be used as a guide for initial settings. These adjustments are only a guide and more accurate settings will be obtained as experience is gained. If reflections of several TEMPERATURE RANGE figures are shown, the picture is over exposed and the CONTRAST setting needs to be reduced.

Holding the face light against the rubber eyepiece, adjust BRIGHTNESS screwdriver control until the scanning lines just become invisible at the bottom of the gray scale. Reset SPOT WOBBLING to ON, and PHOTO PRESET to OFF. All the control knobs on the front can now be operated in the usual way.

SECTION 3 — PHOTO-RECORDING ACCESSORIES

Thermogram Recording

Set PICTURE MODE selector to either NORMAL or INVERTED as required. Close the viewing door, press exposure button, and advance the film one frame. The

thermograms will be exposed in the preset gray tones, irrespective of how the manual control knobs are operated. For Optimum Exposure Tips refer to Polaroid Recording.

Table 3-1 Contrast Setting

Film type	CONTRAST (Screwdriver) Control
Black/White 125 ASA (23 DIN)	$\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{2}$ turn clockwise from fully counter-clockwise
Black/White 400 ASA (27 DIN)	$\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{2}$ turn clockwise from fully counter-clockwise
Kodak Ektachrome 16C ASA (23 DIN)	$\frac{1}{8}$ turn clockwise from fully counter-clockwise
Kodacolor II 100 ASA (21 DIN)	$\frac{1}{8}$ turn clockwise from fully counter-clockwise
Kodacolor 400 ASA (27 DIN)	$\frac{1}{8}$ turn clockwise from fully counter-clockwise

SECTION 5 - COMPUTER EVALUATION

DATA LINK

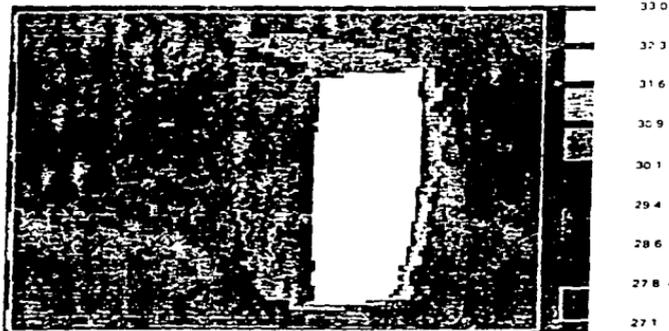
Is a basic hardware/software system to be used in conjunction with Thermovision® 700 series. No modifications are required to the Thermovision® and the thermal parameters inputs are controlled by the system software.

Thermal Image Handling and Analysis

Thermal image handling enables the operator to store and retrieve thermal data. Displayed image information may originate from live or recorded sources. Once in the computer memory all data can be stored on a floppy disk and retained for further analysis if required.

Simple commands from the computer will pinpoint spot temperatures, areas or profiling to obtain individual temperature measurements or areas of hidden thermal differences. Fig. 5.3 shows details of a transformer thermogram which has been produced on the colour graphics printer and prepared for analysis.

Further information on the installation or on the programming of the DIPS is contained in the Operators Handbook for that equipment.



782 SW 2144 - 7 NOV 18

Ed - 9 D/R Made
Infra-Red Systems, Ab

Fig. 5.3 Transformer Thermogram

GUIA DE SELECCIÓN DEL MÉTODO

DESCRIPCIÓN	MÉTODO A Y B Tipo	OBSERVACIONES
Alta producción de artículos pequeños	1	Pequeñas cantidades manejadas en canastas.
Alta producción de artículos grandes	2	Grandes forjas, estrucciones, etc..
Alta sensibilidad para discontinuidades finas	2	Indicaciones más claras y brillantes.
Discontinuidades superficiales rayones	2	Puede controlarse la profundidad de emulsificación
Artículos con rugosidad superficial	1	Puede evitar las formaciones de indicaciones falsas
Artículos con cuerdas y cuñeros	1	El penetrante del tipo 2 podría fijarse en las esquinas.
Artículos con rugosidad superficial media	1 - 2	La elección depende de los requisitos de producción y sensibilidad.
Prueba por puntos (zonas).	3	Alta sensibilidad a bajo costo
Se requiere equipo portátil	3	
No se dispone de agua ni de electricidad	3	
Artículos anodizados, agrietados después de anodizado.	3 - 2 - 1	De preferencia en el orden indicaco
Detección de fugas.	1 - 2	Método de permación.

Notas de la tabla guía de Selección del método de acuerdo con NO; _ B 133 - 1987 y la ASTM - 165. Tipo 1.- Penetrante lavable con agua. Tipo 2.- Penetrante posemulsificable. Tipo 3.- Penetrante removible con solvente.

PRACTICA

INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

1.0 OBJETIVO

1.1 Mostrar la importancia de las consideraciones preliminares a la inspección que deben tomarse en cuenta las cuales servirán como base para la obtención de los parámetros que conformen la decisión final de la misma.

1.2 El participante deberá adquirir la habilidad necesaria para la detección y localización de discontinuidades en uniones soldadas a tope.

2.0 INTRODUCCIÓN

El examen de uniones soldadas mediante ultrasonido ha sido objeto, desde hace mas de 20 años, de especial atención por parte de centros, institutos, organismos internacionales y de la propia industria en vista de incorporar el método en este campo reservado hasta entonces a la radiografía industrial y a otros métodos convencionales de detección de discontinuidades. Los primeros trabajos y la mayor abundancia de bibliografía del tema, se orientaron al estudio de uniones a tope de geometría relativamente simple. En la actualidad se han realizado estudios aplicados a uniones soldadas de geometría mas compleja tales como las uniones a traslape, en ángulo, las uniones en T y K y las tubulares.

La practica a realizar tiene por objeto mostrar algunos aspectos prácticos de la calibración de los equipos de ultrasonido aplicados a la inspección con haz angular de uniones soldadas por la técnica de contacto.

3.0 ALCANCE

El alcance de esta practica comprende los siguiente:

- Pasos preliminares: determinación del punto indice de emisión, verificación del ángulo refractado, calibración en distancia y ajuste de sensibilidad.
- Determinación de la zona de barrido
- Barrido (exploración) de la zona de interés.
- Localización y ubicación de las discontinuidades.

4.0 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Manual de capacitación de ensayos no destructivos por la técnica de Ultrasonido Industrial.
- Manual de operación del fabricante del instrumento ultrasónico

- Planos de los diseños de las piezas a inspeccionar según sea el caso

5.0 EQUIPO

- A) Instrumento ultrasónico detector de fallas de tipo pulso-eco con barrido tipo A
- B) Cable coaxial con conector BNC - BNC
- C) Transductor de zapata de 60° o 70° de ángulo de refracción en acero y una frecuencia nominal de 2.5 Mhz.
- D) Block de calibración IIW tipo 1 o tipo 2
- E) Acoplante
- F) Placas soldadas a tope y tubos con soldadura longitudinal y/o circunferencial
- G) Flexometro
- H) Papel absorbente o trapo limpio

6.0 PROCEDIMIENTO

Inicialmente se debe hacer una inspección con haz recto del material base a ambos lados de la soldadura, cubriendo el área comprendida desde la soldadura hasta donde termina la distancia de barrido (cuando sea prácticamente posible); esto con la finalidad de registrar cualquier indicación que pudiera interferir la inspección con haz angular.

6.1 PASOS PRELIMINARES

A) Para la determinación del punto de índice de emisión y la verificación del ángulo refractado se debe proceder de la siguiente manera.

1.- Posesionar el control de la frecuencia de acuerdo a la marcada en el cuerpo del transductor.

En caso de que el equipo carezca de este control la frecuencia se ajustara automáticamente.

2.- Quitar el seguro del control de retardo y con el, buscar el pulso inicial y colocarlo en el extremo izquierdo de la pantalla.

3.- Aplicar el acoplante y colocar el transductor como se muestra en la posición A de la figura 1

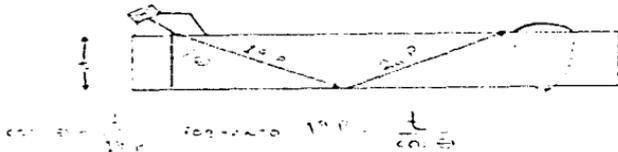
4.- Ajustar el control de rango burdo convenientemente, sin retirar el transductor hasta observar la primera reflexión de pared posterior (RPP)

5.- Ajustar la RPP con el control de ganancia hasta una amplitud de aproximadamente 50% no tomando en cuenta su ubicación en la escala horizontal.

6.- Mover suavemente el transductor hacia atrás o hacia adelante hasta obtener su máxima amplitud de la indicación sobre la pantalla sin incrementar la ganancia.

7.- Una vez obtenida la máxima amplitud sin mover el transductor, observar si la marca en la zapata del punto de salida del haz coincide con la marca de cero grabada en el block. En caso de no coincidir se debe remarcar la zapata en el punto en donde coincide con la marca de cero. Antes de marcar la zapata consultar a el inspector.

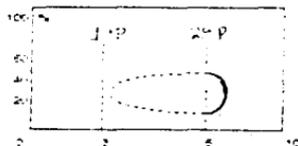
b) Con los datos del espesor del material a inspeccionar y el ángulo refractado calcular el valor de la primera y segunda pierna como se muestra a continuación.



c) Tomar con referencia el valor de la distancia recorrida por la primera y segunda pierna, para la determinación del rango total en la pantalla (se recomienda que esta sea múltiplo de 5).

d) Calibrar el equipo de ultrasonido en distancia de recorrido ajustando convenientemente los controles de longitud de barrido y el de ganancia para observar en la pantalla dos indicaciones.

e) Marcar sobre la pantalla, con unas barras, el recorrido de la primera y la segunda pierna y un corte transversal de la soldadura como se indica a continuación.



f) Para ajuste de sensibilidad ajustar al 40 % de amplitud

DELIMITACION DE LA ZONA DE BARRIDO.

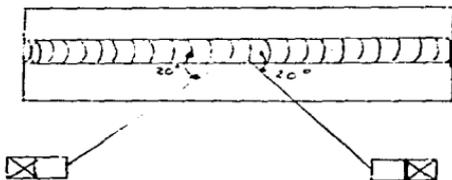
1.- Calcular la distancia de brinco -SD - (skip distance) y tomar resultado de esta como la distancia mas alejada de la soldadura, a partir de la cual se iniciara el barrido.

2.- Limite cercano de la zona de barrido. Dividiendo entre dos la distancia de brinco (SD) se obtiene la distancia que, medida a partir del centro de la soldadura, nos asegurara que la primera pierna esta tocando justamente la raiz de la soldadura. El área comprendida entre la distancia de brinco y la mitad de esta será la zona de barrido, esto se ilustra en la siguiente figura.



A) Desplazar el transductor en forma de zig - zag rotandolo ligeramente de un lado a otro de su dirección. Esta forma de rastro servirá para localizar las discontinuidades que se encuentren orientadas a lo largo de la soldadura.

B) Para detectar discontinuidades que se encuentran transversales al eje de la soldadura, el barrido deberá realizarse de la siguiente forma:



6.4 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

A) En la figura del tema 6.1 e) se observa que una buena aproximación para la determinación de la profundidad de una discontinuidad se obtiene observando la posición que una indicación ocupa respecto de las marcas hechas sobre la pantalla. Si la indicación aparece junto a la marca mas próxima al pulso inicial, ello demuestra que la discontinuidad se encuentra cerca de la superficie opuesta al exploración (raíz de la soldadura), mientras que si aparece junto a la segunda marca, ello indica que la discontinuidad se localiza cerca de la superficie de exploración. Así mismo, cualquier indicación que aparezca fuera del intervalo entre marcas, corresponde a un reflector situado fuera de la unión soldada. Esto será valido únicamente si el traductor es desplazado entre limites lejano y cercano de la zona de barrido.

b) Para la determinación mas precisa de la ubicación de una discontinuidad primero deberá determinarse su posición a partir del punto índice de emisión de emisión del transductor (distancia superficial $A = L \sin \theta$); y en segundo termino se deberá calcular la profundidad empleando para ello las ecuaciones correspondientes.

Profundidad de la discontinuidad
(cuando la indicación se encuentra en
la primera pierna)

$$D 1 = L \cos \theta$$

Profundidad de la discontinuidad
(cuando la indicación se encuentra en
la segunda pierna)

$$D 2 = 2 t - L \cos \theta$$

Profundidad de la discontinuidad

(Cuando la indicación se encuentra en la primera pierna)

Profundidad de la discontinuidad

(Cuando la indicación se encuentra en la segunda pierna)

CONCLUSIONES.

Los datos obtenidos se proporcionaron a los jefes de laboratorio, el cual nos indico que la practica era únicamente ilustrativa y la información era confidencial.