



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

59  
rejeu

FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACION DE MATERIALES MEDIANTE EL  
ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.  
FUNDAMENTOS Y APLICACIONES**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
**JOSE MANUEL DIAZ GAMBOA**  
**JORGE E. LEON CASTRO**



DIRECTOR DE TESIS:

M. I. ARTURO BARBA PINGARRON

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Arturo Barba P, gracias por sus consejos, apoyo y tiempo dedicado en este trabajo. Por ser nuestro maestro, director de tesis, pero más que eso gracias por ser nuestro amigo.  
Suerte hoy y siempre.

A Patricia Castillo por sus consejos y asesoría en este trabajo.

Al Ing. René Ocon y al grupo LLog, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, por su asesoría y tiempo disponible, muchas gracias.

Al Ing. Luis López del grupo Magnaflux, por la información y asesoría brindadas.

Al Ing. Mauricio Calva, por su tiempo, asesoría y por invitarnos a conocer el mundo del ensayo de Partículas Magnéticas.

## INDICE

	PAG.
I.- INTRODUCCION	1
II.- NOCIONES SOBRE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	3
III.- FUNDAMENTOS Y GENERALIDADES DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.	20
IV.- MEDIOS DE INSPECCION	49
V.- TIPOS DE DEFECTOS DETECTABLES	66
VI.- TECNICAS DE DESMAGNETIZACION	74
VII.- APLICACION DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS A PIEZAS DIVERSAS.	81
ANEXO A.- CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS	118

	PAG.
ANEXO B.- EJEMPLOS ADICIONALES SOBRE DISCONTINUIDADES QUE SE PUEDEN DETECTAR MEDIANTE LA APLICACION DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.	121
CONCLUSIONES	134
BIBLIOGRAFIA	136

## I.- INTRODUCCION

La fabricación de piezas de creciente calidad y la necesidad de conservar en las mejores condiciones posibles estas piezas durante su funcionamiento, son dos requerimientos que, en el actual contexto de competitividad internacional en el que está inmerso nuestro país, y dadas las condiciones de globalización, resulta de la mayor significación e importancia.

Un recurso que puede constituirse en una valiosa herramienta para llevar a cabo la evaluación de la calidad de un material durante su fabricación y durante el servicio, es el empleo de los ensayos no destructivos.

Uno de los ensayos no destructivos más empleado principalmente por la facilidad de su ejecución, la versatilidad de los defectos que puede detectar, el costo accesible de los equipos y su posibilidad de funcionamiento para la valoración de piezas en serie es el ensayo de partículas magnéticas. Es por ello que en este trabajo se ha elegido este tipo de ensayo.

Inicialmente se revisan con detalle los fundamentos de magnetismo para explicar los principios que rigen el ensayo de partículas magnéticas. A continuación se señalan las diversas técnicas a través de las cuales se pueden preparar las piezas, así como los materiales a los cuales el ensayo de partículas magnéticas puede ser aplicado.

Posteriormente se describe la variedad de técnicas que se pueden emplear para llevar a cabo el ensayo así como los diferentes tipos de discontinuidades que se pueden detectar.

A fin de que los lectores puedan obtener una idea más exacta de la utilidad de este tipo de ensayos, se muestra una serie de ejemplos de la morfología de las indicaciones que se pueden detectar con el ensayo de partículas magnéticas y se complementa esta panorámica mediante la presentación de una serie de casos prácticos que ilustran los resultados que se pueden obtener cuando se emplea el ensayo de partículas magnéticas en aspectos y funciones tales como control de calidad, soldadura, análisis de fallas, así como las consecuencias que se pueden derivar de una adecuada realización del ensayo mencionado.

Deseamos al presentar esta panorámica del ensayo de partículas magnéticas lograr nuestra intención de que, a lo largo de este trabajo los lectores puedan comprender los principios que fundamentan este tipo de ensayo, conocer las técnicas más comúnmente empleadas para preparar las muestras a ensayar, así como los procedimientos de realización de los ensayos, vislumbrar las capacidades de detección del propio ensayo y obtener una visión de las ventajas que se tienen al emplear este ensayo así como de las limitaciones que acompañan su realización.

## II.- NOCIONES SOBRE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

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

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

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

Como se ha indicado, cualquier calidad deseada del producto es susceptible de requerir inspección para determinar su conformación con las especificaciones o límites deseados. La inspección puede ser del tipo destructivo o del tipo no destructivo, dependiendo de la calidad que se inspecciona y de que exista o no una prueba confiable económica; nos enfocaremos a tratar las de carácter no destructivo.



Las pruebas no destructivas, requieren el uso de todos los métodos -- posibles de detección y medición de las propiedades o capacidades de rendi -- miento, de materiales, partes, ensambles, estructuras y máquinas que no da-- ñan o destruyen su capacidad de servicio.

Por definición una prueba no destructiva es aquella que no afecta al material o producto en su uso final o en su estructura misma. También se --- puede interpretar como todas las pruebas realizadas indirectamente para de-- terminar las cualidades internas y propiedades sin la destrucción de la par-- te que se examina, sin marcas visibles de que se ha realizado la prueba.

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

Debido a que la mayoría de estas pruebas son indirectas, existe una suposición peligrosa muy parecida a la que se hace para la prueba destructiva. La suposición es que existe una correlación verdadera entre la propiedad medida y la propiedad de servicio que se evalúa. Esta correlación puede esta-- blecerse sólo por la realización de ambas, prueba destructiva y no destruc-- tiva y analizar la información correctamente en tamaños adecuados de muestra.

Los usos típicos de las pruebas no destructivas son los siguientes:

- 1.- Identificación y elección de la materia prima.
- 2.- Verificación de la composición química.
- 3.- Detección de las variaciones en la estructura.
- 4.- Detección de las condiciones de esfuerzo mecánico.
- 5.- Detección de vacíos internos o discontinuidades.

- 6.- Detección de las inclusiones internas.
- 7.- Detección de las grietas en la superficie.
- 8.- Calibración de las dimensiones difíciles.
- 9.- Detección de las propiedades o presencia de materiales específicos.

#### ELEMENTOS BASICOS PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Se requieren 5 elementos básicos para realizar las pruebas no destructivas, como sigue:

- 1.- Una fuente que proporciona en forma y distribución adecuada el medio por el cual realizamos la prueba en regiones apropiadas del producto. La fuente será entonces un tubo de rayos X, o una bobina de magnetización, o un isótopo radioactivo o una pistola atomizadora.
- 2.- Una modificación del medio palpador causado por variaciones en el material del objeto que se prueba. El tipo de variaciones esperadas pueden ser cambios de densidad, discontinuidad, diferencias dimensionales y variación en la composición. La variación de interés puede afectar en cierta forma el medio palpador.
- 3.- Un medio de detectar los cambios en el medio palpador. Dependiendo de este medio, pueden emplearse varios métodos para detectar el cambio. Puede usarse películas fotográficas para rayos X, calibradores de fatiga por desplazamiento, termopares para cambios de temperatura y bobinas de alambre conductor para los disturbios eléctricos o magnéticos.

- 4.- Un dispositivo que indique o registre las señales del sensor en forma útil. Aquí también se usa una variedad de dispositivos, - dependiendo del medio y como se aplica. El registro o la indicación puede hacer uso de medidores eléctricos o de presión, fotografías u otras simulaciones de imagen, gráficas y curvas o contadores en una variedad de tipos.
- 5.- Un observador o un dispositivo capaz de interpretar los datos y relacionarlos con las propiedades o discontinuidades del material. En otros casos, la señal puede ser tal que el resultado -- puede ponerse automáticamente a trabajar en un dispositivo de -- retroalimentación para mantener el control de un proceso.

#### MEDIOS TÍPICOS USADOS EN PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

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

- 1.- Movimientos de materia:
  - Líquidos penetrantes
  - Gases penetrantes
  - Por presión y fugas
  - Visual
  
- 2.- Transmisión de energía:
  - Corrientes parásitas
  - Sonido y ultrasonido
  - Partículas magnéticas

3.- Movimiento de materia y transmisión de energía:

- Rayos X y rayos gamma
- Corrientes eléctricas
- Reacciones químicas y electroquímicas
- Movimiento de ondas y vibración

PROPIEDADES QUE SE PUEDEN DETECTAR

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

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

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

Propiedades de absorción, reflexión y difusión: como son transparencia, reflexión o refracción de rayos x, rayos gamma, electrones, neutrones, etc; que están relacionados con el espaciado atómico, -- esfuerzo, temperatura, densidad, etc.

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

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

## LIQUIDOS PENETRANTES

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

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

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

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

Los líquidos penetrantes pueden ser divididos en dos tipos: los penetrantes colorantes y los penetrantes fluorescentes. En el caso de los penetrantes colorantes se disuelve una tintura en el líquido de tal manera que proporcione un buen contraste entre el revelador y el penetrante.

En el caso de los penetrantes fluorescentes se disuelve un material fluorescente en el penetrante. Estos materiales fluorescentes son derivados del petróleo y su presencia se resalta si les observa con luz negra o luz ultravioleta.

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

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



(1)



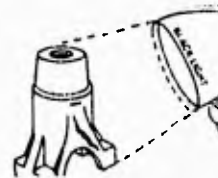
(2)



(3)



(4)



(5)

Las figs. (1), (2), (3), (4), (5), muestran la secuencia a seguir en el método por líquidos penetrantes.

## RADIOGRAFIA

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

El método radiográfico puede ser empleado para el examen de:

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

En un principio este método, se aplicó casi exclusivamente al examen de uniones soldadas y piezas moldeadas, relacionándose únicamente con problemas de defectología.

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



En la radiología industrial se utilizan dos tipos de fuentes de radiación que responden a principios físicos distintos:

- Los rayos x
- Los rayos gamma

Los rayos x cuya fuente emisora requiere de un cierto consumo de energía eléctrica y los rayos gamma que se generan por el proceso espontáneo e irreversible de las reacciones nucleares de átomos inestables que pierden energía conforme tienden a hacerse estables.

La diferencia básica de los rayos x y gamma, consiste en que mientras los rayos x requieren de una fuente de alimentación de energía eléctrica para ser producidos, los rayos gamma se producen constantemente, sin la aportación de ninguna otra energía, sino que son producidos por la desintegración atómica de elementos radioactivos o radioisótopos.

## ULTRASONIDO

La técnica del ultrasonido ha obtenido un crecimiento considerable en usos e importancia en el campo de las pruebas no destructivas.

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

La inspección ultrasónica puede usarse para verificar la existencia de fallas internas en la mayoría de los materiales metálicos pero es especialmente valiosa para examinar grandes forjas tales como los ejes de un motor de alta velocidad, generador o turbina y para verificar los espesores de paredes de artículos tales como extremos cerrados de tanques.

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

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

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

## CORRIENTES DE EDDY

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

Los elementos básicos de un sistema de pruebas con corrientes de Eddy son:

- Una bobina de prueba
- Un generador
- Un indicador

Algunos dispositivos de inspección aplican los campos eléctricos o magnéticos al material del trabajo de tal modo de que la variación de propiedades en la pieza causa disturbios en el campo, lo que permite la comparación con los resultados de muestras conocidas. El flujo uniforme de corriente eléctrica a través de cualquier material conductor establecerá un campo magnético que se distorsionará por cualquier grieta, inclusión o discontinuidad. Las bobinas eléctricas que pasan a través de este campo magnético se pueden usar para detectar estas alteraciones y para identificar la localización de los defectos o las partes. Por procedimientos de comparación, también puede realizarse la selección de materiales magnéticos.

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

- 1.- Discontinuidades.
- 2.- Dimensiones del objeto, incluyendo diámetro, excentricidad y espesor de recubrimientos.

- 3.- Conductividad eléctrica debida a aleaciones, tratamiento térmico y efectos de trabajo en frío.
- 4.- Esfuerzos internos en metales.
- 5.- Vibración y otros cambios en la distancia de acoplamiento entre el objeto y la bobina de prueba durante el ensayo.
- 6.- Elevación de ruido.
- 7.- Temperatura.

## PARTICULAS MAGNETICAS

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

La prueba consiste de los siguientes pasos:

- 1.- Magnetización del artículo.
- 2.- Aplicación de las partículas.
- 3.- Interpretación de los patrones formados por las partículas que son atraídas por los campos magnéticos de fuga.

Los materiales ferromagnéticos pueden inspeccionarse por los métodos de partículas magnéticas. Se establece un campo magnético en la pieza por --aplicación directa de la potencia eléctrica o, en algunos casos, por el uso de algún conductor auxiliar. Se aplican polvos magnéticos finos a la pieza ya sea en seco o suspendidos en un líquido. Las partículas se alinearán por sí mismas con el campo magnético y cualquier alteración en el campo será --evidente por observación. Para detectar todas las fallas, el campo magnético debe establecerse cuando menos en dos direcciones para tener la certeza de que las líneas del flujo magnético serán cortadas por la discontinuidad. La inspección con partículas magnéticas mostrará tanto las fallas internas como externas. La interpretación de las indicaciones en la superficie para una --falla interna requiere considerable experiencia y habilidad por parte del --operador.

## COMPARACION CON OTROS METODOS

Existen básicamente cuatro métodos de pruebas no destructivas para la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Para determinar cual de ellos se utiliza en cada caso, el inspector debe saber las limitaciones de los materiales y de cada método.

- a).- Radiográfico.- Es superior a la prueba de partículas magnéticas en la mayoría de los casos para localizar discontinuidades que se encuentran totalmente abajo de la superficie. No es tan efectivo, sin embargo para localizar grietas de superficie en las cuales las partículas magnéticas sobresalen de otros métodos.

El método de partículas magnéticas se utiliza ya que es más rápido y menos costoso de aplicar que el de radiografía. Especialmente cuando se requiere una inspección al 100% sobre varias piezas y los resultados son inmediatos.

No se encuentra dificultad sobre la forma de la pieza que se quiere examinar por medio de este método radiográfico.

- b).- Líquidos penetrantes.- Es lo mismo que las partículas magnéticas en cuanto a la localización de las grietas superficiales, proviendo que estén limpias y que no contengan aún sustancias externas. Debido a esta limitación en el caso del método de

líquidos penetrantes y al hecho que es más lento que el método por partículas magnéticas que produce resultados inmediatos, es preferido sobre materiales magnéticos para localizar discontinuidades superficiales.

Para localizar discontinuidades en el interior del metal, el método de líquidos penetrantes es inadecuado completamente, en cambio el método por partículas magnéticas puede hacer un trabajo mucho mejor sobre condiciones favorables y controladas.

c).- Ultrasonido.- Es inferior que el método de partículas magnéticas para la localización de grietas superficiales.

Por otro lado el ultrasonido requiere de una cierta -- profundidad mínima (aunque es muy pequeña), para obtener la reflexión de las ondas de sonido.

En el caso de discontinuidades subsuperficiales, el ultrasonido es en general superior, pues es capaz de detectar, -- bajo condiciones favorables, discontinuidades a grandes profundidades por debajo de la superficie. Sin embargo, las partículas magnéticas poseen menos capacidad para detectar formas --- irregulares que el ultrasonido.

d).- Corrientes de Eddy.- Están sujetas en forma similar a las limitaciones del ultrasonido para la localización de grietas en superficie, a partir de profundidades con límite, se requiere un puente de impedancia desbalanceado y seguridad en las indicaciones con lectura.

El método de corrientes de Eddy en general tiene mejor adaptación para la prueba de materiales no magnéticos que para los magnéticos. La corriente de Eddy en conjunto con los campos de saturación de vías, algunas veces son mejores para la localización de discontinuidades en superficies bajas que las partículas magnéticas. Pero están más limitadas en las profundidades que pueden penetrar.

Usualmente indican solamente discontinuidades cercanas a la superficie. Las partículas magnéticas tienen menos impedimentos en el tamaño y la forma que las corrientes de Eddy.

Debido a que el método de partículas magnéticas sobresale de los demás en encontrar grietas subsuperficiales sobre materiales ferromagnéticos, es el mejor método utilizado para localización de grietas por fatiga hechas sobre tales materiales; estas grietas ocurren en partes sometidas a altas concentraciones de esfuerzo y a variaciones de estas concentraciones en servicio, casi siempre empiezan sobre la superficie y se propagan sobre la sección. Si estas grietas por fatiga se localizan oportunamente en su progreso se puede evitar una fractura de la parte, y la parte puede ser comúnmente salvada.

Debido a la tremenda habilidad de localizar grietas subsuperficiales por fatiga, el método de partículas magnéticas es preferido a los otros para llevar a cabo la inspección de mantenimiento sobre maquinaria de cualquier tipo.



## III.- FUNDAMENTOS Y GENERALIDADES DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS

Al método se le ha denominado en términos generales como inspección magnética. Un nombre definido para el método, y que ahora se utiliza generalmente es: Inspección por Partículas Magnéticas, y este ha sido adoptado como oficial por sociedades técnicas diferentes, cuyo campo de interés es este método.

Ya que el método está relacionado fundamentalmente con los fenómenos magnéticos, se dedicará un espacio para adquirir una cantidad determinada de teoría sobre el magnetismo elemental. Cuando se están adquiriendo los principios fundamentales del método y de sus aplicaciones, los problemas nuevos pueden resolverse con más facilidad conforme se van presentando. Es posible ahora para los inspectores (en el campo por ejemplo de la aviación) acudir a algún manual o a una serie de especificaciones de los procesos en las fábricas y leer allí exactamente cómo la operación de las partículas magnéticas actúa sobre una pieza específica del motor o del aeroplano. Sin embargo, si el que inspecciona se contenta únicamente con orientarse en un manual, más pronto o más tarde se enfrentará con un nuevo diseño, o un material nuevo o ambos a la vez, en cuyo caso si no poseyese una cantidad de conocimientos de los últimos términos teóricos, indudablemente se encontrará en grandes dificultades, y aún más, no podría resolver el problema.

MAGNETISMO.- Trabajos realizados por varios investigadores tales como Brugmanns, Becquerel y Faraday demostraron que todos los cuerpos, incluyendo los líquidos y los gases, estaban afectados por el magnetismo de uno u otro modo y en grados diferentes. Los hallazgos de Faraday fueron que, mientras todos los materiales son susceptibles de la influencia magnética, sólo unos pocos, tales como el hierro, responden a estas influencias en grado --

sumo y estos responden a la atracción de un imán cuando están en condiciones no magnéticas. Esta facultad de los imanes naturales o artificiales para -- atraer las partículas de hierro, es conocida con el nombre de "Magnetismo".

IMANES.- Un cuerpo que posee esta facultad de magnetizar y por ella atrae el hierro y otras sustancias ferromagnéticas, se le conoce con el --- nombre de "Imán".

MATERIALES FERROMAGNETICOS.- Los materiales más fuertemente afecta-- dos por el magnetismo se conocen con el nombre de "ferromagnéticos", ya que el hierro y el acero dan las características magnéticas más fuertes que cual-- quier otra sustancia. Bajo el título de "materiales ferromagnéticos" se in-- cluyen el hierro, el acero, el níquel, cobalto y muchas de sus aleaciones. Posiblemente el manganeso y el cromo, tanto como ciertas aleaciones peculia-- res, se pueden incluir. Determinadas aleaciones de elementos no magnéticos, comprendiendo el grupo conocido como aleaciones Huessler de manganeso, es-- taño, cobre y algunos otros de aluminio, son también curiosidades magnéticas. Los materiales ferromagnéticos en general, se caracterizan por no magneti--- zarse en proporción directa a las fuerzas de magnetización aplicada. Hay un límite llamado Valor de Saturación, más allá del cual no se puede magneti--- zar más.

CAMPOS MAGNETICOS.- El espacio adyacente a un imán permanente y a un electroimán, cuando la corriente fluye a través del arrollamiento, así como el espacio que rodea a un conductor que lleva corriente, están caracteriza-- dos por la posesión de la fuerza de atracción o repulsión de imanes o piezas magnetizadas de material ferromagnético, dependiendo de su polaridad. A es-- tos espacios se les da el nombre de campos magnéticos, y están limitados al área dentro de la cual la fuerza del campo es sensible, aunque teóricamente, el campo se extiende al infinito.

**CAMPO MAGNETICO ALREDEDOR DE UN CONDUCTOR.**- Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor tal como una barra o un alambre, se forma un campo magnético próximo al conductor. La dirección de las líneas magnéticas es de  $90^\circ$  a la de la corriente que fluye a través del conductor.

El ejemplo "a derechas" es otro método común de determinar la dirección de las líneas de fuerza próximas a un conductor. Si un conductor se toma con la mano derecha, con el dedo pulgar en la dirección en la que mana la corriente, los dedos señalaran la dirección de las líneas de fuerza.

La figura 6, ilustra la dirección de las líneas magnéticas que están formadas alrededor de un conductor que lleva corriente en la dirección que indican las flechas.

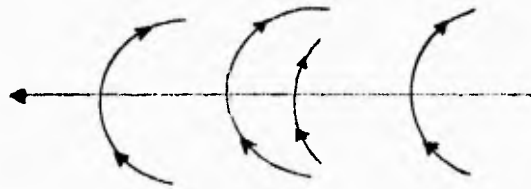


Fig. 6. Campo magnético rodeando a un conductor.

**RIZO.**- Si un conductor que lleva una corriente eléctrica se curva en un rizo, la línea magnética de fuerza entra por un lado y sale por el otro lado del rizo, y el espacio entre el rizo se encuentra que tiene un campo magnético de propiedades de dirección muy definidas. El área en un lado del rizo tiene una polaridad y del otro la polaridad opuesta. En otras palabras, el espacio encerrado por el rizo está longitudinalmente magnetizado.

**SOLENOIDE.-** Si se aumenta el número de rizados o vueltas se formará una bobina y cuanto más grande sea el número de rizados o vueltas, más fuerte será el campo magnético en el interior de la bobina. A tal bobina se le suele llamar "solenoides".

**ELECTROIMÁN.-** Un electroimán consta de un núcleo de material ferromagnético que tiene un arrollamiento que lo rodea de una o más vueltas de conductor eléctrico. Este atraerá trozos de materias magnéticas en cuanto se haga pasar la corriente a través de los arrollamientos y puede liberarlas tan pronto como el flujo de la corriente cese. Por inversiones sucesivas y por disminución de la corriente, se puede utilizar un electroimán para desmagnetizar un imán permanente.

**FLUJO MAGNETICO.-** Las líneas de fuerza de un circuito magnético, siempre retornan a ellas mismas para formar una trayectoria cerrada. De aquí que un circuito magnético esté siempre cerrado. Al número total de líneas magnéticas existentes en un circuito se le denomina "flujo magnético".

**FUERZA DE MAGNETIZACION.-** La fuerza de magnetización se considera que es el total de fuerza que tiende a establecer un flujo en un circuito magnético.

**RELUCTANCIA.-** Reluctancia es la oposición que presenta un material magnético al establecimiento de un campo magnético mostrado por la trayectoria por la que el flujo magnético tiene que pasar y es la que determina la magnitud de flujo que produce una fuerza de magnetización dada.

**DENSIDAD DE FLUJO.-** Este es el flujo por unidad de área en ángulos rectos a la dirección del flujo.

PERMEABILIDAD.- Permeabilidad es un término que se utiliza para referirse a la facilidad con que un flujo magnético puede establecerse en un circuito magnético dado. Es numéricamente igual a la relación de:

$$\frac{\text{Densidad de flujo}}{\text{Fuerza de magnetización}}$$

HISTERESIS.- Cuando una pieza no magnetizada de acero se expone a una fuerza de magnetización variable y la fuerza del campo es trazada contra la fuerza aplicada magnética, la curva obtenida es la "curva de histéresis" como se muestra en la figura

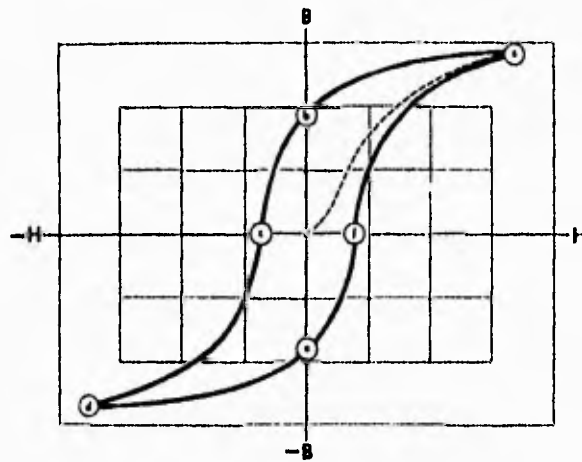


Fig. 7. Curva de Histéresis

Partiendo de 0, con un espécimen en condiciones magnéticas e incrementando las fuerzas magnéticas con pequeños aumentos, hallamos que el flujo en el material aumenta completamente al principio, después más lentamente -- hasta que alcanza un punto más allá del cual no existe ningún incremento en la fuerza de magnetización, ni se incrementa el flujo. Esto lo demuestra la curva "oa". En este estado de la pieza se dice que está completamente saturada de magnetismo. Ahora, si la fuerza de magnetización se reduce gradualmente a cero, la curva "ab" será el resultado. Si la corriente de magnetización se invierte, el flujo continúa disminuyendo. El flujo no alcanza la cifra cero hasta que alcance el punto "c" en cuyo tiempo la fuerza de magnetización está representada por "co". La línea "co" representa graficamente la fuerza coerciva del material. Cuando el campo de inversión se incrementa más allá de "c", se alcanza el punto "d", en cuyo punto el espécimen está de nuevo saturado. La fuerza de magnetización está ahora decreciendo hasta cero y se está formando la porción de la curva "de". De nuevo se incrementa la fuerza de magnetización en la dirección de origen completando la curva "efa". En el punto "a" el ciclo está completo y el área en el interior del rizo -- "abcdefa" se llama la "curva de histéresis" o "rizo de histéresis".

El ciclo de histéresis de algún material revela sus propiedades magnéticas.

Un rizo amplio indicará un material que retiene un campo considerable y será conveniente, probablemente, para la inspección por Partículas magnéticas por el método de magnetismo residual. Un rizo estrecho indicará uno de retentividad baja y probablemente un caso que tendrá que ser comprobado por el método continuo.

RETENTIVIDAD.- La retentividad de un acero particular es su propiedad de retener en un grado mayor una cierta cantidad de magnetismo residual.

**MAGNETISMO RESIDUAL.**- Este es el término aplicado a los restos de magnetismo en un circuito magnético, después que han sido quitadas las fuerzas de magnetización.

**FUERZA COERCIVA.**- Fuerza coerciva es la fuerza de magnetización inversa necesaria para eliminar los residuos de magnetización en la desmagnetización de la pieza. Se indica en el diagrama de la figura 7 por la línea "co".

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

**MAGNETIZACION LONGITUDINAL.**- Existe la magnetización longitudinal en una pieza cuando la línea de flujo la atraviesa en una dirección esencialmente paralela a uno de sus ejes. Un imán de barra permanente es el ejemplo más sencillo de magnetización longitudinal, ya que la dirección del flujo magnético es axial y tiene por lo general dos polos, a un extremo el norte y, al otro el sur.

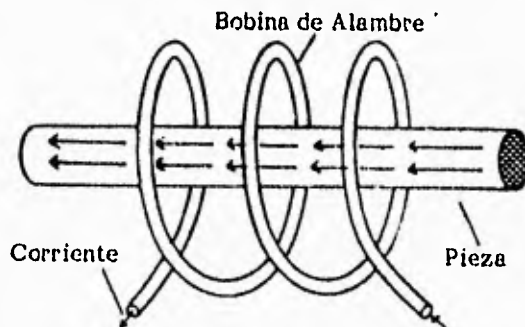


Fig. 8. Magnetización longitudinal

Otra técnica de magnetización longitudinal es emplear una bobina -- (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la - pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina, problema que se elimina al enredar el cable de magnetización alrededor de la pieza.

Entre mayor número de vueltas (espiras) tenga una bobina presentará un mayor poder de magnetización.

MAGNETIZACION CIRCULAR.- Si a un cuerpo ferromagnético, tal como una barra de acero se le hace formar parte de un circuito que lleva una corriente eléctrica, se formará un campo magnético circular dentro y en los alrededores de la barra. Debido al hecho de que la permeabilidad de la barra es enormemente mayor que la del aire que la rodea, la densidad del campo circular dentro de una barra será mucho más grande que la densidad del campo circular en los alrededores de la barra.

La dirección del campo magnético siempre es un ángulo recto a la dirección de la corriente magnetizante.

Cuando la corriente pasa a través de una pieza o a través de una -- abertura, en el centro de la pieza, se produce un campo magnético perpendicular al flujo de la corriente, el cual es contenido esencialmente dentro - de los contornos de la pieza. Esta es la llamada magnetización circular.

Los defectos o discontinuidades paralelos al flujo de la corriente son los detectados más claramente por este método.

Una característica importante, más que sus propiedades de dirección que distingue un campo circular de uno longitudinal, es que el flujo magnético siempre tiene un camino de retorno ferromagnético completo.



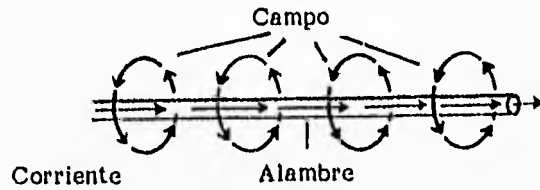


Fig. 9. Magnetización circular. Una corriente de alto amperaje, bajo voltaje a través de un alambre crea un campo magnético alrededor del alambre. La dirección del campo está a  $90^\circ$  de la dirección de la corriente.

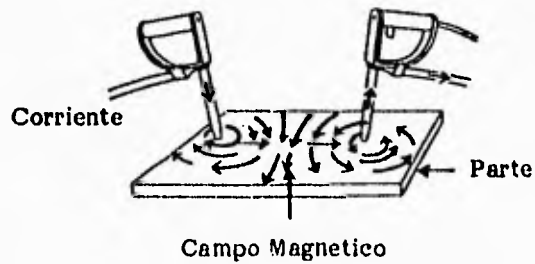


Fig. 10. Una corriente de alto amperaje, bajo voltaje que pasa a través de una pieza crea un campo magnético dentro de la pieza entre las terminales. Esta es magnetización circular, empleada para detectar defectos paralelos al flujo de corriente.

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Se han hecho descubrimientos importantes de un gran interés. El -- campo magnético en la proximidad de un imán de barra está ilustrado en la - figura 11 . Esta barra ha sido magnetizada longitudinalmente y es un imán, que tiene un polo norte en un extremo y un polo sur en el otro.

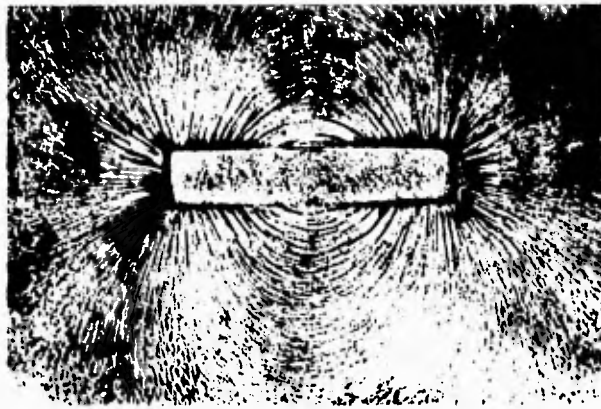


Fig. 11. Campo magnético formado alrededor de una barra magnetizada.

La densidad del campo magnético externo, indicada por la concentración de las líneas en la figura 11 , decrece hacia el centro de la barra - donde el campo es más débil. Ahora, si el imán de barra mostrado en la figura 11 se rompiera en su mitad, haciéndose dos barras más cortas, los dos - extremos de rotura de cada una de estas dos barras asumirían inmediatamente, polaridad opuesta y tendríamos dos imanes permanentes cada uno con su polo norte en un extremo y su polo sur en el otro. Si los dos imanes de barra se

FALLA DE UNISEN

uniesen de nuevo, de manera que los polos opuestos fueran consecutivos, estos polos no desaparecerían del todo, y un pequeño, pero concentrado campo de dispersión, se pondría en evidencia en la unión como se muestra en la figura 12 .

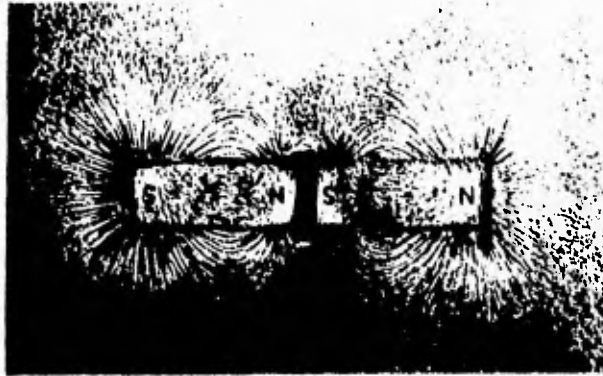


Fig. 12. Campo de unión en dos imanes de barra.

Si en lugar de romper la barra enteramente por la mitad, como se sugirió anteriormente, se rompe sólo parcialmente o, en otras palabras, se produce una resquebrajadura, los lados de la grieta asumen inmediatamente polaridad opuesta y un par de polos, lo que es preferible denominar un campo de dispersión local, se habrá producido en esta resquebrajadura dicho campo. Estas condiciones se muestran en la figura 13.

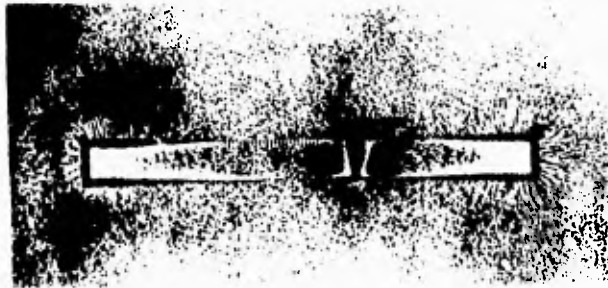


Fig. 13. Polaridad formada por una quebradura en un imán de barra.

FALLA DE ORIGEN

Puede verse que una rotura total o parcial en el curso del flujo magnético que recorre un objeto ferromagnético, origina la formación de polos locales. Investigaciones posteriores han revelado que los cambios bruscos en la permeabilidad, que es condición para la formación de tales efectos de polos locales, pueden ser causados por otros factores diferentes a una microgrieta abierta o a una quebradura completa en el circuito magnético.

La presencia o formación de polos originados por discontinuidades metálicas o por otros cambios bruscos en la permeabilidad, pueden detectarse de varias formas, pero el modo más conveniente es por el desenvolvimiento de la ilustración de las líneas de fuerza, esparciendo limaduras de hierro sobre una hoja de papel que se apoya sobre una barra imantada; en otras palabras, por el uso de partículas ferromagnéticas divididas finísimamente y espolvoreadas sobre la parte que se ha de magnetizar, o haciéndolas entrar en contacto con ellas por medio de líquidos convenientes que las tengan en suspensión. Este es, en resumen, el procedimiento usado en la industria y conocido como "Inspección de Partículas Magnéticas" y puede considerarse que es la aplicación de dos principios:

- A).- Un cambio brusco en la permeabilidad en el curso de un flujo magnético seguido a través de una pieza de material magnetizable que da como resultante un campo de dispersión de flujo local.
- B).- Si partículas divididas finísimamente de material ferromagnético se atraen a las proximidades, estas partículas ofrecen un paso de reluctancia más baja a la dispersión del flujo que lo hace el aire o el líquido. De aquí que tiendan a reunirse en tal campo y, bajo condiciones favorables, tiendan a contornear sus límites.

La reluctancia del campo desalocado (dispersión), es disminuída por la introducción de partículas ferromagnéticas en su camino y la caída de la reluctancia representa la energía con que las partículas se mueven para formar el modelo y la fuerza con que son mantenidas en la pieza después de formado.

DIRECCION DEL CAMPO.- Refiriéndonos de nuevo al imán de barra mostrado en la figura 11, se debe notar que las líneas de fuerza magnéticas están indicadas como fluyendo longitudinalmente, y el defecto señalado tiene su eje a  $90^\circ$ , aproximadamente al eje de la pieza en comprobación, y el campo que contiene. Si el resquebrajamiento fuese axial, en vez de transversal, el flujo magnético debería dirigirse en la misma dirección que el resquebrajamiento y de aquí poca o ninguna confusión resultaría del campo magnético y poca o ninguna dispersión del campo se produciría.

Debido a que cuando las discontinuidades están paralelas al campo magnético (perpendicular al flujo de la corriente) las indicaciones producidas son pobres, es necesario elegir y controlar la dirección de la magnetización, de modo que todas las discontinuidades sean indicadas adecuadamente. Si las indicaciones pudieran ocurrir en varias direcciones o en direcciones desconocidas en una parte de una pieza, cada pieza debe magnetizarse por lo menos en dos direcciones diferentes. En la mayoría de las piezas se usan tanto la magnetización longitudinal como la circular. En algunas piezas puede utilizarse más satisfactoriamente la magnetización circular, en dos o más direcciones, o magnetización longitudinal en dos o más direcciones. A menos que otra cosa sea especificada todas las piezas deben magnetizarse cuando menos en dos direcciones diferentes, aproximadamente en ángulo recto entre sí.

No puede darse como principio general, sin embargo, que sea siempre necesario que el defecto esté en ángulo a la dirección general del flujo -- para producir un campo de dispersión suficiente para la detección. La forma del defecto, su desviación de la línea recta absoluta como es el caso de muchas grietas y también las variaciones locales en la dureza y composición -- del material pueden causar distorsiones suficientes del flujo para producir

bastantes dispersiones de flujo y señalar una indicación.

**CAMPOS DE DISTRIBUCION DEL FLUJO.**- Anteriormente se mencionó como los cambios bruscos en la permeabilidad, tales como los causados por grietas, pueden formar polos locales. La existencia de polos magnéticos, sin embargo, es conocida sólo por los campos de dispersión que producen. Por campos de dispersión se entienden líneas magnéticas de fuerza que abandonan la pieza que se está examinando y pasan a través del aire. Con frecuencia el término "campo de dispersión" es preferible denominarle "polos locales" en cualquier examen de inspección magnética.

**CARACTERISTICAS DEL CAMPO DE DISPERSION DEL FLUJO.**- Tanto el carácter como la extensión de los campos de dispersión están afectados por un número de factores variables entre los que se encuentran la intensidad de la fuerza de magnetización, la permeabilidad del material, la forma de la sección y la forma, tamaño y dirección de la localización del defecto en la sección que se está examinando.

En la figura 14 se puede ver un espécimen magnetizado longitudinalmente, que contiene un defecto bajo la superficie. En este caso un cierto número de líneas "a", pasan tanto por debajo como por encima de los bordes del defecto, incrementando la concentración del flujo en la parte sólida del metal. En otro grupo "b" pasan a través del defecto, y en un tercero "c", se observa que pasan por el aire y forman un campo de dispersión externo. Este es el campo que indica "c" en cada caso y en el que estamos interesados para nuestro propósito, porque es precisamente lo externo o campo de dispersión lo que produce la adherencia del polvo y dá la indicación buscada.

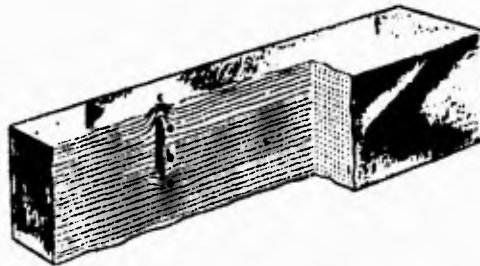


Fig. 14.

bastantes dispersiones de flujo y señalar una indicación.

**CAMPOS DE DISTRIBUCION DEL FLUJO.**- Anteriormente se mencionó como los cambios bruscos en la permeabilidad, tales como los causados por grietas, pueden formar polos locales. La existencia de polos magnéticos, sin embargo, es conocida sólo por los campos de dispersión que producen. Por campos de dispersión se entienden líneas magnéticas de fuerza que abandonan la pieza que se está examinando y pasan a través del aire. Con frecuencia el término "campo de dispersión" es preferible denominarle "polos locales" en cualquier examen de inspección magnética.

**CARACTERISTICAS DEL CAMPO DE DISPERSION DEL FLUJO.**- Tanto el carácter como la extensión de los campos de dispersión están afectados por un número de factores variables entre los que se encuentran la intensidad de la fuerza de magnetización, la permeabilidad del material, la forma de la sección y la forma, tamaño y dirección de la localización del defecto en la sección que se está examinando.

En la figura 14 se puede ver un espécimen magnetizado longitudinalmente, que contiene un defecto bajo la superficie. En este caso un cierto número de líneas "a", pasan tanto por debajo como por encima de los bordes del defecto, incrementando la concentración del flujo en la parte sólida del metal. En otro grupo "b" pasan a través del defecto, y en un tercero "c", se observa que pasan por el aire y forman un campo de dispersión externo. Este es el campo que indica "c" en cada caso y en el que estamos interesados para nuestro propósito, porque es precisamente lo externo o campo de dispersión lo que produce la adherencia del polvo y dá la indicación buscada.

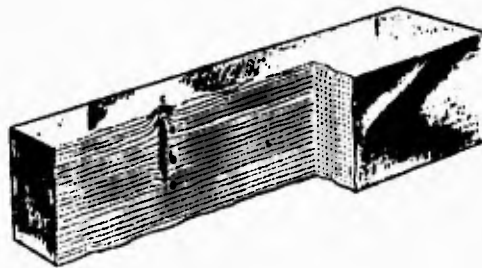


Fig. 14.

POSIBILIDADES DEL METODO.- Evidentemente puede utilizarse sobre -- cualquier acero o hierro que se pueda magnetizar lo suficiente para producir indicaciones. Se adapta bien en general a dispersiones no metálicas, particularmente, a las que tienen un contorno definido, por que tienden a producir campos de fuga más grandes, y pueden utilizarse para la localización de discontinuidades debajo de la superficie del metal, tan largas como sean, si no yacen tan profundamente situadas, que el campo de perturbaciones que estas produzcan no se registre en la superficie.



## METODOS DE MAGNETIZACION

CLASIFICACION DE LOS METODOS DE MAGNETIZACION.- Varias bases diferentes pueden utilizarse para la clasificación de los métodos de magnetización. Y la primera de entre ellas es la de si se mantienen o no las fuerzas de magnetización durante la aplicación del medio de inspección.

Sobre esta base tenemos:

- a).- Método residual
- b).- Método continuo

Se puede hacer una segunda clasificación sobre la base del carácter de campo utilizado para la operación de magnetización.

Sobre esta base tenemos:

- a).- Método circular
- b).- Método longitudinal
- c).- Método paralelo
- d).- Métodos de espiral o campo de distorsión
- e).- Combinación de los anteriores

La tercera base es la del tipo de corrientes de magnetización usado, sobre cuya base tenemos:

- a).- Método de corriente directa
- b).- Método de corriente alterna
- c).- Método de onda media
- d).- Método oscilatorio
- e).- Método de destello.

METODO RESIDUAL.- Volviendo a nuestra primera clasificación, dependiendo si se debe o no mantener la fuerza de magnetización durante la aplicación de los medios de inspección, tenemos el método residual. Cuando se emplea este método, el operario confía enteramente en la cantidad del magnetismo residual que se retiene en el espécimen inmediata o posteriormente a la aplicación del campo magnético o de la corriente de magnetización. Esta definición no hace ninguna referencia al tipo de pasta o polvo usado como medio de inspección ni al tipo de corriente usada, ni especifica el tiempo que ha mediar entre la aplicación de la fuerza de magnetización y el instante en que el medio de inspección se aplica. Puede seguir el uno al otro inmediatamente o pueden estar separados por un período de meses o de años.

A causa de que el campo residual retenido por un acero es siempre menor que el que existe en él, mientras la fuerza de magnetización está actuando, la fuerza del campo de dispersión en una discontinuidad será menor, para una fuerza de magnetización dada, cuando se confía en el campo residual. Por esta razón el método residual se considera que es menos sensible que el continuo, y es descartado en cuantas aplicaciones se necesita un máximo de sensibilidad. En muchas industrias grandes e importantes, no obstante, el método residual da resultados satisfactorios. Esto es porque en muchos casos es preferible usar métodos que, aunque menos sensibles, revelan todas las condiciones que pueden perjudicar la vida de servicio de las piezas. Los métodos de alta sensibilidad, bajo tales circunstancias, no servirían a ningún propósito útil, debido a que, por sus condiciones reveladoras de insignificancias para tales partes, dificultaría la interpretación de los resultados.

## METODO CONTINUO

Se quiere significar por método continuo, el procedimiento mediante el cual la operación de magnetización se conduce simultáneamente con la aplicación del medio de inspección. Esto es, el medio de inspección está en contacto con el espécimen mientras se está aplicando la corriente. Aquí, de nuevo, no hay ninguna distinción entre los métodos húmedo o seco. El punto importante es si la corriente está o no, de hecho, fluyendo a la pieza por un conductor central, o por un solenoide externo o electroimán durante la aplicación de las partículas ferromagnéticas. Tampoco se hace distinción alguna en cuanto al espacio de tiempo durante el cual la corriente fluye. La duración del flujo de corriente puede ser de fracciones de segundo llamados disparos; o puede ser por una duración de tiempo suficiente para la inspección en una gran área. En el caso de grandes objetos esto puede necesitar minutos y aún horas y, de otra parte, están los extremadamente breves impulsos de corriente empleados en la magnetización por destellos mediante descargas de condensador, que pueden durar períodos de 1/100,000 de segundo.

La práctica, muy usada en algunas partes, de dar más de un disparo cuando se usa el método continuo y algunas veces tanto como tres o más, se practica probablemente con el propósito de conceder un tiempo más largo para que las partículas de polvo se concentren en el campo de dispersión producidos por un defecto ya que se tienen que desplazar desde varias distancias para hacerlo. Disparos sucesivos no se dan nunca prácticamente cuando se usa el método seco, ya que una ligera cantidad de vibraciones se producirán, corrientemente, en las partículas por las proximidades del campo de dispersión, al desplazarse hacia los defectos. Con el método húmedo continuo, durante el período en que se está aplicando la corriente, ya por riego, ya por inmersión, nuevas sumas de partículas se atraen continuamente hacia la formación del efectivo campo de dispersión y esta atracción incrementa el tamaño y la visibilidad de la indicación, hasta el punto en que el modelo ha obtenido tales dimensiones físicas que las fuerzas que tienden a empujar las

partículas fuera del defecto son suficientes para compensar la fuerza de -- atracción del campo de dispersión.

A menos que se especifique otra cosa en la requisición, contrato u orden de compra o en la especificación particular del producto debe usarse el método continuo.

Si se permite un flujo de baño de alta velocidad sobre superficies críticas, después de que la corriente magnetizante ha sido removida, las iradicaciones finas o débiles pueden deslavarse o pasar desapercibidas.

Esto es particularmente cierto sobre superficies altamente acabadas o pulidas, pero menos crítico sobre superficies rugosas tales como las resultantes de forjas y fundiciones.

CAMPO CIRCULAR (METODO CIRCULAR).- Hay dos métodos para producir la magnetización circular en un objeto a magnetizar. El primero consiste en pasar la corriente a través de la pieza y el segundo pasar la corriente a través de un conductor central, tal como una barra de cobre o un cable. En ambos casos el campo inducido está confinado casi por completo a la pieza -- misma, y hay poco campo externo apreciable, excepto el que pueda ser gene--rado por un defecto en ángulo con el campo.

Las ventajas más importantes de un campo circular es que localizará prácticamente cualquier defecto descubrible por el método de partículas magnéticas, en forma más exacta que ningún otro medio conocido de magnetización.

Esto no debe interpretarse en el sentido de que el método circular es siempre mejor o el método más conveniente de magnetización, pero hay casos en que es el único método que puede ser usado con esperanzas de éxito.

**CAMPOS LONGITUDINALES.**- La magnetización longitudinal es de gran importancia en trabajos de evaluación, ya que la mayoría de las grietas de fatiga en las piezas longitudinales son transversalmente marcadas y, por esta razón, mejor localizadas por este método.

Un modo apropiado de producir un campo longitudinal por el uso de un solenoide en condiciones de emergencia es enrollar un número de vueltas de alambre flexible o cable alrededor del objeto que ha de ser magnetizado. Cuantas menos vueltas, tanto más conveniente para obtenerlo, pero se requiere un amperaje proporcionalmente más alto. El cable se usa también ampliamente para la magnetización de grandes objetos, tales como depósitos, calderas, grandes piezas de fundición, grandes cigueñales y partes similares.

**CAMPOS MAGNETICOS CON YUGO.**- Esta clase incluye campos magnéticos inducidos en una pieza por campos externos generados por un imán bipolar en forma de "U", usualmente llamados yugos. Cuando una pieza de material magnetizable se coloca a través de los polos de un electroimán que tenga un núcleo en forma de "U", la pieza completa el circuito magnético, permitiendo al flujo desplazarse a través de un paso de hierro en vez de por el aire. En este caso hay una polaridad externa considerable y un campo de dispersión - muy grande como se ilustra en la figura 15.

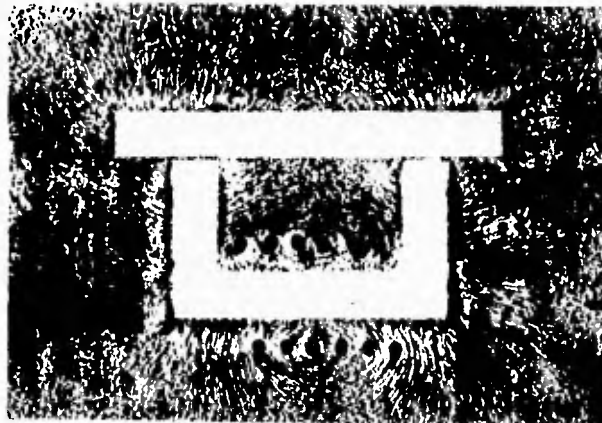


Fig. 15.

FALLA DE ORIGEN

El devanado de energía puede colocarse en una, dos o tres columnas del yugo. El núcleo del yugo debe ser laminado si se emplea la corriente alterna para excitarlo. Algunas veces el yugo está construido de manera que una de las columnas sea móvil, lo que produce el efecto de una abertura ajustable y permite la magnetización de una mayor gama en el tamaño de las piezas.

Los yugos magnéticos o electroimanes, ofrecen pocas ventajas para los propósitos del ensayo de partículas magnéticas, sobre otros métodos de magnetización, y se usan sólo bajo circunstancias especiales, cuando por alguna razón pueden llenar los requerimientos particulares satisfactoriamente o como sustitutos para métodos más convenientes, cuando estos no pueden ser utilizados, la desventaja principal de los yugos o imanes está en los campos externos extensos que los rodean, que producen adherencias del polvo, y la dificultad de control de los campos producidos.

CAMPOS PARALELOS.- Aquí, la parte que se magnetiza se coloca a lo largo de un lado de un conductor que lleva una corriente intensa de bajo voltaje, ya sea alterna o continua. Este tipo de campo tiene algunas de las características, tanto del campo circular como del radial; sin embargo, es generado por un sólo conductor, para regresar por el paso del campo mayor que es a través del aire. Este artificio no responde siempre en forma voluntariamente provocada y no debe ser nunca usado, excepto en circunstancias cuidadosamente comprobadas. No es de ninguna eficiencia magnética, debido a la presencia de una vuelta única y a la falta de un circuito de hierro completo; en consecuencia, por lo general no son necesarias corrientes fuertes. Se obtienen más éxitos si se utiliza en conexión con el método continuo. Su ventaja, si hubiese alguna, está en su practicabilidad, porque la corriente no tiene que pasar o a través de la pieza o a través de un conductor central, como en la magnetización circular, y algunas veces mostraría defectos longi-

tudinales, tales como hendiduras. Con defectos longitudinales, la condición para el éxito es que el espécimen usualmente tiene que estar paralelo al flujo de la corriente, y es de este hecho de que el método adquiere su nombre.

CAMPOS DE DISTORSION.- Es común denominar los campos magnéticos utilizados para la inspección de partículas magnéticas como circulares y longitudinales por razones de conveniencia o por la sencillez de aplicación de las fuerzas magnéticas para la utilización de equipo normal, es conveniente recordar que, en muchos casos, el campo efectivo no es, hablando estrictamente, ni circular ni longitudinal sino una combinación de los dos. Tales campos, - en contraposición con los campos vectoriales, son controlables y comparativamente uniformes y pueden producirse intencionadamente o involuntariamente. Cuando se producen con toda intención son ocasionalmente de gran valor, al producir los resultados deseados, que son crear un campo magnético dirigido a un defecto posible.

Cuando las partes pequeñas, esto es, las partes cuyo diámetro es -- comparable con su longitud, está magnetizada circularmente, la diferencia en presiones de contacto o resistencia de superficie o resistencia interna, -- frecuentemente causan campos de distorsión. En tales casos los campos son más útiles que nunca y algunas veces es imprescindible su existencia para el éxito del método.

## CORRIENTES DE MAGNETIZACION

CORRIENTE CONTINUA.- En los primeros inicios, la corriente continua se venía utilizando casi exclusivamente al hacer inspecciones por partículas magnéticas. Posteriormente la corriente alterna se usó por lo general para ciertos propósitos, y todavía, posteriormente, la corriente alterna rectificada de onda media ha encontrado importantes aplicaciones.

La corriente continua se sigue usando extensamente, sobre todo en la industria aeronáutica, para inspeccionar las piezas que se fabrican, algunas veces por la razón de que deben ser tomadas precauciones para asegurar la inspección más sensible posible. Al buscar defectos que están profundos en una sección gruesa se usa, la mayoría de las veces, la corriente continua o la onda media, puesto que su penetración es muy superior a la corriente alterna.

Donde hay disponible corriente alterna pero se utiliza corriente continua en trabajos de inspección magnética, la razón es por la penetración.

Se han usado la corriente continua y la onda media por las enormes ventajas de una penetración más grande, pero también se han citado como una desventaja cuando se necesitaba una desmagnetización completa y cuidadosa. El uso de la corriente alterna, ya sea en la frecuencia de la red, o ya sea con preferencia en las frecuencias más altas, han sido útiles en algunos casos en los que se tenía que magnetizar una capa superficial para defectos superficiales únicamente y se necesitaba una desmagnetización efectiva.



La corriente continua puede ser solamente toma de energía para transformar o puede ser usada directamente. Si la línea de entrada suministra -- corriente continua en 110, 220 o 440 voltios, los yunques o electroimanes para magnetización longitudinal, pueden ser fácilmente arrollados para cualquiera de estos voltajes, y esta corriente se convierte en una fuente apropiada de energía para magnetización longitudinal. Si se necesitasen voltajes más bajos que el disponible en la línea de entrada de corriente continua, no es fácil obtenerlo (al precisar una gran cantidad de energía) sin comprar un motogenerador caro.

CORRIENTE CONTINUA POR RECTIFICACION DE LA CORRIENTE ALTERNA.- Los rectificadores de bajo voltaje, de corriente fuerte, para el suministro de corriente alterna rectificada, no eran en principio utilizables, pero, desarrollados hace años, han venido sustituyendo los equipos de batería.

El equipo para suministrar corriente alterna rectificada, tiene --- ciertas ventajas muy decisivas, entre las que se encuentran:

- a).- No necesita alimentarse de baterías, se eliminan los perjui--- cios de renovaciones y emanaciones sin necesidad de tener y -- mantener cargadores de baterías.
- b).- La penetración es por completo comparable con la de la corriente continua.
- c).- Puede usarse una línea de corriente alterna en frecuencia co--- mercial y la carga puede ser distribuida en tres fases.

ONDA MEDIA.- La onda media es otro de los diferentes usos en que la corriente alterna rectificadada ha adquirido gran importancia para propósitos de magnetización en aplicaciones diversas, Aquí la onda media rectificadada de corriente alterna monofásica combina la penetración de la corriente continua con la movilidad del polvo de la corriente alterna y se considera hoy como el mejor medio de magnetización para la localización de defectos profundos cuando es usada con el método seco continuo.

La corriente de onda media consiste en vibraciones separadas de corriente continua con intervalos durante los cuales no fluye ninguna corriente. Cada vibración dura medio ciclo y la cresta de curva de la corriente es la misma que la de la corriente alterna monofásica que se está rectificando.

Además, a causa de la fluctuación de la corriente, los polvos secos sobre la superficie en inspección toman un movimiento vibratorio positivo, que facilita la formación de un modelo en la que los campos de dispersión son débiles, como los que se encuentran en las discontinuidades que están profundas en una sección gruesa.

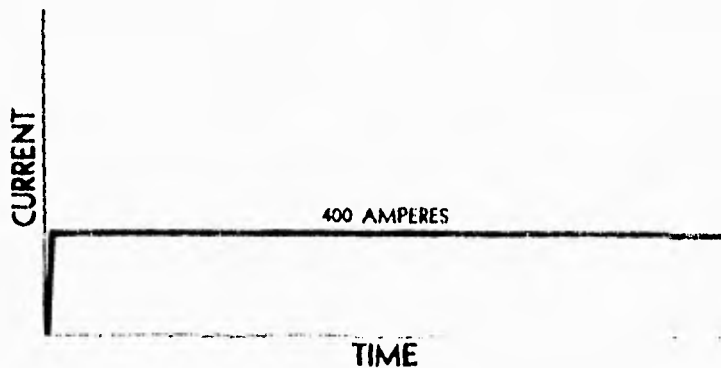


Fig. 16. Corriente continua procedente de baterías.

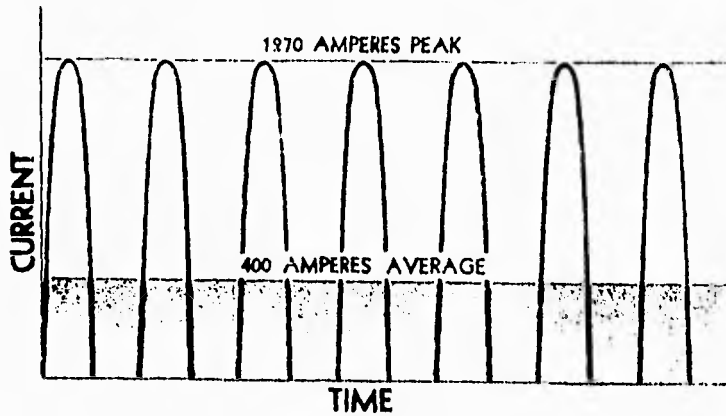


Fig. 17. Corriente alterna, media onda rectificada, monofásica.

CORRIENTE ALTERNA.- Como anteriormente se dijo, la inspección por partículas magnéticas en su estado primero, estaba circunscrito, en su mayor parte, al empleo de la corriente continua. Más tarde, cuando las muchas ventajas que concurrían en el uso de la corriente alterna se empezaron a apreciar, particularmente al descubrir que se podía usar por el método residual. La corriente alterna es conveniente por la razón de que, la mayoría de la fuerza eléctrica servida es alterna y, por esto, disponible en casi todas las ciudades industriales.

Entre las ventajas que concurren en el uso de corriente alterna, -- están: La exclusión del mantenimiento de baterías y el hecho de que sea controlable, en una forma amplia, por un número de artificios, alguno de los -- cuales permite una total regulación. Otra de las razones para su uso amplio, es el hecho de que se necesita para la práctica de todas las operaciones de desmagnetización y si es disponible en el punto, para este propósito, la -- deseabilidad de su uso es lógica.

SENSIBILIDAD DE LAS CORRIENTES ALTERNA Y CONTINUA COMPARADAS.- Numerosas comparaciones de los modelos obtenidos con las partículas, con idénticos espécimenes, usando los mismos procedimientos, muestran que en general, para los defectos de las superficies, las indicaciones son más comunes y -- más claramente visibles con la corriente alterna que con la corriente continua, o por la plena onda de la corriente alterna rectificada.

Esto es claramente expuesto en la figura 18, donde un casquillo de -- pistón ha sido magnetizado circularmente con los valores de corriente indicados, usando un conductor central.

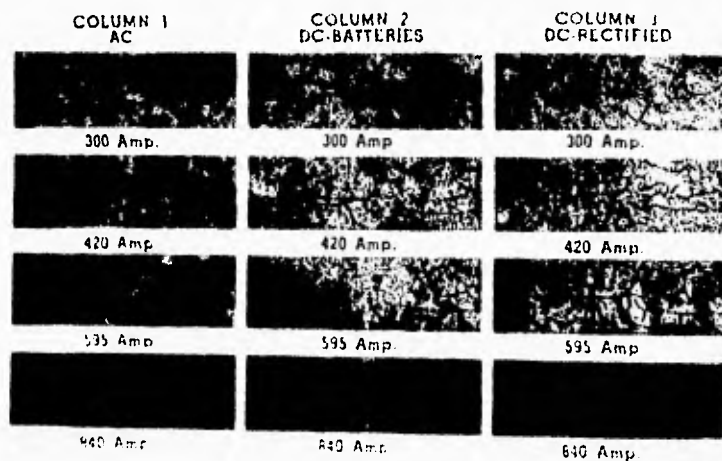


Fig. 18

Los modelos de la columna 1 fueron obtenidos con corriente alterna de 60; los de la columna 2, con corriente continua de batería, y los que figuran en la columna 3, de corriente alterna rectificada a plena onda. Puede verse que las indicaciones de corriente alterna son muy superiores a las correspondientes de corriente continua. Estas a su vez, son semejantes a las obtenidas en corriente continua rectificada a plena onda de la corriente alterna, que es también inferior a la corriente alterna.

CORRIENTE ALTERNA EN VOLTAJE DE LA LINEA.- La corriente alterna en voltaje de red no puede usarse de ordinario para magnetizaciones circulares, porque:

A).- Es peligrosa para el operario.

B).- Excesiva fuerza de descarga para la obtención de las fuertes corrientes precisas.

Para magnetizaciones longitudinales, sin embargo, el solenoide de corriente alterna usando un número comparativamente grande de vueltas conectado a la línea de la red es perfectamente practicable y frecuentemente usado. Los electroimanes que emplean corrientes alterna al voltaje de línea, ya sea con el núcleo en forma de "U" llamados yunques o núcleos rectos, se emplean algunas veces. Los núcleos en tales casos deben ser laminados.

REDUCCION DE LA CORRIENTE ALTERNA.- La corriente alterna al voltaje de línea, se la convierte en seguida en la corriente de bajo voltaje, utilizada en la inspección con partículas magnéticas, por el uso de simples ---- transformadores reductores. Estos son comparablemente menos caros y eficientes a su vez y, no requieren mantenimiento. Suministran la fuente más barata para obtener un voltaje bajo de corriente alterna con fuerte amperaje. Los transformadores usados en este trabajo se limitan al tipo monofásico.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE CONTINUA.- Un método de obtener corriente para la magnetización por destello es por el uso de transformadores que tengan usualmente una o dos vueltas secundarias y que tengan un primario diseñado para excitación de la corriente continua. El circuito primario está cerrado y tan pronto como la corriente primaria ha vigorizado su valor, el circuito primario se interrumpe; un interruptor automático es usado para -- este propósito. La descarga resultante del secundario, puede ser muy fuerte. En una instalación donde hay 110 voltios, de corriente continua, un interruptor ordinario es usado para la excitación y 50 000 amperios son suministrados por el secundario en medida del oscilador. Este montaje se utiliza para la magnetización de los imanes permanentes.

MAGNETIZACION POR DESTELLO.- Otro grupo de los métodos de magnetización ha sido conocido y empleado desde hace algunos años. La magnetización por destello es el nombre genérico dado a estos métodos y puede definirse -- como un proceso de magnetización en el que la corriente fluye sólo un intervalo breve de tiempo, por lo general, durante unas pocas milésimas de segundo o menos. Su ventaja está en el hecho de que se pueden obtener corrientes fuertes de relativamente pequeños conductores y ligeros equipos, sin perjuicio.

## IV.- MEDIOS DE INSPECCION

SELECCION DE MATERIAL FERROMAGNETICO.- Basado en la experiencia y -- conocimientos, hay tres decisiones o selecciones que se tienen que hacer antes de aplicar el método a una operación de inspección efectiva. La primera decisión es con vistas al método de magnetización que se ha de usar, que incluye una determinación en cuanto a la cantidad y dirección del flujo magnético que se ha de emplear; la segunda es el carácter de la corriente que se usará para generar el flujo magnético, y la tercera selección concierne al medio de inspección que se ha de usar. Por medio de inspección se entiende un elemento por el que, el campo de dispersión producido por la indicación que buscamos, actúa y se revela.

El medio de inspección empleado en el método de partículas magnéticas, consta de partículas finísimas de material ferromagnético aplicado, ya sea en seco, como polvo o cenizas, o en suspensión en un líquido, llamado de varias formas, tales como suspensión, sopa, tinta o baño.

Una cantidad considerable de trabajos de inspección se han hecho con el fin de deducir cuales son las propiedades deseables del medio de inspección en el proceso de partículas magnéticas. Estos estudios se han basado en factores, tales como la composición química del material del que están hechas las partículas, ya que afectan a sus propiedades magnéticas, el efecto del proceso, tal como machacamiento, laminado o trabajo frío, y los efectos de tamaño y forma de las partículas; todo se considera desde el punto de vista de su aspecto sobre las propiedades magnéticas de las partículas. Una importante distinción se delinea entre el comportamiento de una partícula magnética aislada y una cadena o masa dura de partículas, ya que cada partícula de un grupo es afectada por el campo magnético externo principal y por

los efectos magnéticos de las partículas adyacentes y el grupo de partículas es afectado por el campo de dispersión y el campo de generación principal. - Se ha hallado también que un conjunto un tanto diferente de características de partículas magnéticas son deseables para diferentes clases de defectos. Las características magnéticas óptimas para la localización de grietas pequeñas en la superficie difieren de las que se necesitan para defectos que yacen profundos.

PERMEABILIDAD.- En general, es de desear que cada partícula magnetizable del medio de inspección tenga la más alta permeabilidad posible. La razón de esto, es que tenemos frecuentemente que tratar con campos de dispersión que son extremadamente débiles y necesitan polvos que sean magnetizados por una pequeña fuerza magnetomotriz. Entre los factores importantes que contribuyen a la permeabilidad son: la composición, tamaño de las partículas y su forma. La permeabilidad efectiva del polvo depende de la forma del grano, así como de la forma de la partícula y ambas son importantes. En la figura 19, la máxima permeabilidad está representada en función del tamaño de partículas, y la curva resultante indica que la permeabilidad está tremendamente afectada por el tamaño del grano en los órdenes de tamaños pequeños. Más allá de un tamaño dado, la permeabilidad no varía apreciablemente, pero sí varía con tipos diferentes de aceros. Cuantiosas partículas finas, tenues, son las mejores para la localización de los defectos asentados profundamente.

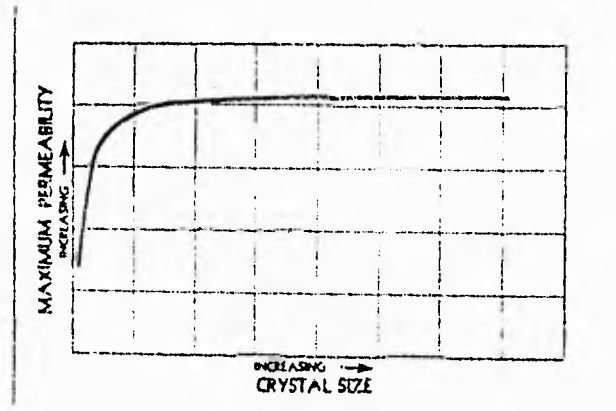


Fig. 19.



FUERZA COERCITIVA.- Para buscar defectos en o cerca de la superficie, es de desear generalmente que las partículas tengan una fuerza coercitiva - baja y retentividad baja, de manera que pierdan inmediatamente su magnetismo cuando la influencia del campo magnético no ha impresionado durante mucho - tiempo sobre ellas. Para buscar defectos asentados profundamente, las partículas con una fuerza coercitiva un tanto alta son más efectivas por lo general.

En la figura 20, se muestra la curva de histéresis de un grupo de partículas, que indica qué partículas poseen propiedades magnéticas satisfactorias para la localización de defectos en la superficie. La pérdida de histéresis del ejemplo usado en la preparación de esta curva, indica una retentividad extremadamente baja así como una fuerza coercitiva también baja.

MOVILIDAD DE LOS POLVOS SECOS.- Un grado de movilidad del medio de inspección es una faceta deseable de manera que las partículas ferromagnéticas puedan fácilmente asumir posiciones nuevas y modelos perceptibles, aún cuando los campos de dispersión inducidos sean extremadamente débiles. Un método para obtener movilidad con polvo seco es distribuir el polvo en forma de una nube dispersa tan uniforme como sea posible. En este caso, como las partículas caen a través del aire, debido a la fuerza de gravedad, el aire - actúa como un suspensivo en el instante anterior a su asentamiento y se puede decir que tiene un suspensivo gaseoso, en comparación con el método húmedo, donde el suspensivo es líquido.

Un segundo método de incrementar la movilidad es por empleo de vibraciones que se hacen por lo común golpeando ligeramente el espécimen que se ha de inspeccionar, mientras una nube de polvo cae sobre él o justamente - después que ha caído. El vibrado se puede hacer mientras se está aplicando la corriente o después, como sucede en el caso del método residual seco.

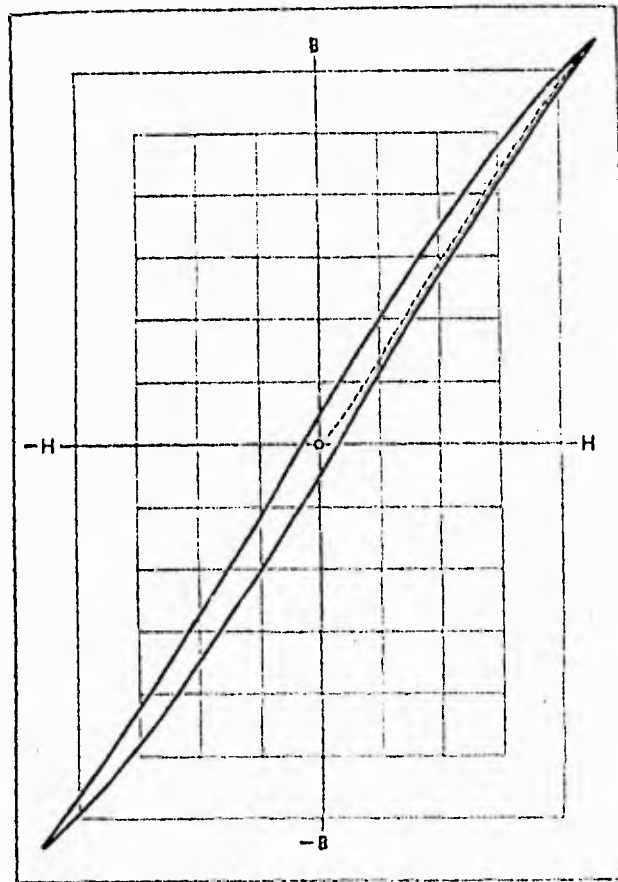


Fig. 20. Curva de Histéresis de una colección de partículas.

MOVILIDAD POR LIQUIDOS SUSPENSIVOS.- El invento primitivo para dar movilidad a las partículas ferromagnéticas muy divididas, es el empleo de un suspensor consistente en una destilación ligera de petróleo. Este es el método conocido con el nombre de húmedo o de inmersión y ampliamente usado en muchísimas industrias. Una destilación ligera de petróleo nos dá un vehículo ideal o suspensor para el mantenimiento en suspensión de partículas finas y el orden más pequeño de partículas se adapta particularmente para la localización de los defectos diminutos en partes brillantes, tales como cigueñales, bielas, árboles de leva, ejes sin fin, casquillos de pistón, cojinetes, herramientas pequeñas o en cualquier clase de piezas pulidas.

CONTRASTE DE VISIBILIDAD.- Es necesario que el medio de inspección tenga una alta visibilidad y esto se puede completar con la adición de una capa colorante a las partículas, o por el uso de partículas de colores naturales que tengan tan gran contraste de color, en relación con el de la superficie a ser inspeccionada, como sea posible. Es a veces, de utilidad pintar las superficies grandes que se han de inspeccionar, tales como tanques, calderas, motores de gas, bielas de locomotoras, y otras piezas, con pintura de aluminio o capas delgadas de blanco de España y, con tal fondo, los polvos de colores negro y rojo, y pastas, dan una visibilidad excelente. El cuidado adicional de preparar un fondo especial se justifica sólo cuando el color de la superficie que se ha de inspeccionar es tal, que es difícil de obtener un contraste satisfactorio con los polvos o pastas de que se dispone. Cuando se desea mayor sensibilidad en un método, es necesario emplear las partículas fluorescentes.

VARIACION EN EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.- Las partículas grandes harán puente (continuidad) en grandes aberturas mejor que las partículas pequeñas, y las partículas pequeñas tienen más fácil movimiento para campos débiles a través de los defectos diminutos y también tienden a perfilarlos con más exactitud. Es, por esto, que se usa un polvo basto para buscar defectos grandes y un polvo fino para defectos diminutos que es una de las razones por las que el método húmedo con sus suspensiones de partículas en extremo finas, se utilizan principalmente para detección de los defectos excesivamente pequeños que se hallan en las superficies brillantes.

## MATERIALES DISPONIBLES

La necesidad de conocer una variedad de condiciones para llevar a cabo la prueba de partículas magnéticas nos lleva como resultado al desarrollo de un gran número de materiales.

A continuación se encuentra una lista de muchos de estos materiales y sus características. Comercialmente los polvos disponibles para el método seco son:

**POLVO GRIS.-** Polvo de propósito general, de alto contraste, es el más utilizado de los polvos secos. Es efectivo sobre superficies oscuras, ya sea negra, gris o colores rústicos.

**POLVO AMARILLO.-** Se caracteriza por su bajo costo, es un color amarillo pálido y tiene sensibilidad justa, va en contraste sobre superficies oscuras.

**POLVO NEGRO.-** Se utiliza sobre superficies claras; este es el polvo más limpio en su uso ya que está libre de suciedad. También es el más sensible de los polvos secos, debido a que contiene la más alta proporción de materiales magnéticos sobre los demás polvos.

**POLVO ROJO.-** Este polvo se utiliza sobre superficies de colores claros. Sin embargo, algunas veces es difícil encontrarlo, el color rojo, ofrece mejor contraste sobre luz incandescente donde el color rojo queda afuera.

TECNICA DEL METODO SECO.- Para la aplicación del método seco, el primer paso a dar es la magnetización apropiada en las piezas que han de ser inspeccionadas, se recomienda primero: que la dirección del campo magnético esté inducida en un ángulo apropiado a la dirección de posibles defectos y, segundo: que el campo sea de la fuerza apropiada. Esto se puede juzgar por el modelo de los polvos. Las partículas no deben erizarse sobre el extremo y ocultar defectos que deben presentarse, pero el campo debe ser bastante fuerte para que las partículas de la superficie señalen una reacción. Si se usa el método continuo seco, se mantiene el paso de corriente mientras se están aplicando los polvos en la superficie de inspección, y después mientras se golpea ligeramente o se hace vibrar, si esto es factible. Si la pieza que se está inspeccionando tiene un grado satisfactorio de retentividad, el uso del método residual se considera adecuado para el tipo de defecto que se busca, como la corriente se aplica en una fracción de segundo solamente, siendo este un tiempo suficiente para magnetizarlo y el polvo se aplica entonces, subsiguientemente a la operación de magnetización.

El operario debe esforzarse en asegurar una nube fina y uniforme de polvos bien esparcida que formarán una capa de polvo delgada, bien distribuida sobre la pieza bajo inspección. Tal nube producirá resultados mucho más satisfactorios que otra capa gruesa. Cualquier defecto que se presente se pondrá al descubierto instantáneamente debido a la nube de polvo que es atraída al campo de dispersión. Una de las equivocaciones más comunes en la aplicación de los polvos secos, es el uso de polvos en exceso. Esto no es solamente un despilfarro inútil, sino que puede ocultar completamente una indicación clara.

Para un dibujo claro del defecto, es costumbre soplar el polvo excesivo, dejando sólo el modelo formado en la falla. Otro método de quitar los polvos en exceso es tomando la pieza y volviéndola de arriba a abajo o a un lado mientras se golpea ligeramente. En el caso de defectos superficiales tal acción no afectará el modelado del defecto.

Los polvos secos que se utilizan hoy son el resultado de un cuidadoso estudio e investigación, teniéndose un cuidado considerable en evitar, en cuanto sea posible, el uso de materias que sean mortíferas a la piel o a las membranas de la nariz y garganta cuando se inhalen.

Cuando se utilizan en un espacio cerrado, sin embargo, deben tomarse precauciones como las que se toman con cualquier clase de polvos y se debe utilizar una mascarilla. Que hasta ahora se sepa los polvos y las pastas han probado que no hacen daño a la piel del operario.

VENTAJAS DEL METODO SECO.- El método seco es cómodo en extremo de usar y probablemente sus ventajas sobresalientes están en que no es tan sucio para el trabajo, como el método húmedo. Una cantidad pequeña de polvos puede ser removida en derredor, transportada en un sacudidor pequeño.

En el grande e importante campo de la inspección de locomotoras de ferrocarril, ejes de automóviles y piezas, el método seco ha sido usado casi exclusivamente. Es también usado en igual proporción para la inspección de calderas, recipientes a presión, álabes de turbinas, tanques grandes, y otras estructuras soldadas, piezas de fundición y grandes piezas de forja.

Lo que admite ahora generalmente, es la superioridad del método seco sobre el método húmedo para la localización de defectos bajo la superficie, porque puede mostrarlo con sencillez en cualquier espécimen que los contenga.

En la figura 21 se muestra un juego de resultados obtenidos. Las columnas 1 y 2 muestran los modelos que se formaron de indicaciones bajo la superficie en diferentes profundidades. Fué usado un espécimen idéntico y los valores de corriente son los mismos, usando corriente continua directamente, puede verse con esta comparación que los resultados del método seco son muy superiores a los obtenidos por el método húmedo para la localización de estos defectos profundamente situados, y de ellos se deduce que si se desea la máxima efectividad en la localización de los defectos que yacen debajo de la superficie, debe utilizarse el método seco.

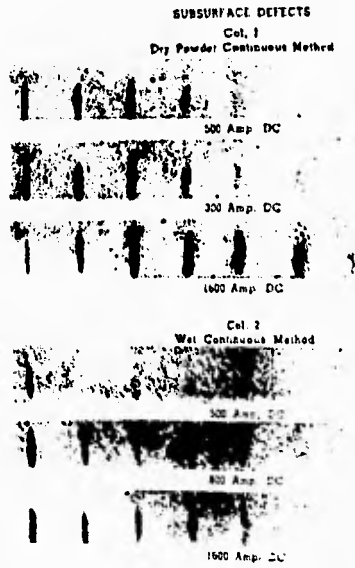


Fig. 21. Comparación de los métodos -  
Húmedo y seco para defectos bajo la superficie.

TECNICA DEL METODO HUMEDO.- El medio de obtener movilidad de las partículas por el uso de una suspensión en aceite se ha denominado "el método húmedo". No es necesario que el suspensor usado para el método húmedo sea un aceite; se han usado también una solución acuosa de densidad y viscosidad - apropiadas, habiéndole incorporado un inhibidor para evitar la corrosión. La mayoría de la piezas en que se usa el método húmedo tienen una superficie - brillante y, por esto, están sujetas a corrosión. Para evitar esto, vienen frecuentemente a la operación de inspección con una película de aceite o grasa. No se precisa quitar esta anteriormente si el suspensor ha de tener las características de un aceite, pero si fuese un suspensor acuoso al que se utilizase se podrían experimentar molestias con la emulsión en la superficie. Es también una costumbre frecuente cubrir las piezas con aceite y grasa después de la inspección, y esto no es necesario si no ha sido humedecido con - una solución acuosa. El uso de ciertos óxidos magnéticos mantenidos en una suspensión de aceite ha dado varias ventajas, tal como la finura del tamaño de las partículas, las propiedades magnéticas dentro de un orden utilizable y, comparativamente volúmenes grandes que ayudan a mantenerlos en suspensión. Una de las dificultades principales para el empleo de estos materiales es - una tendencia a la formación de filamentos que se evita por el uso en ellos de las llamadas pastas.



## LUZ NEGRA

La luz negra es una parte crítica del equipo usado en las pruebas de partículas magnéticas fluorescentes. La intensidad de la luz negra desde el punto de vista de la inspección es de gran importancia. Las luces negras más comunes son de 100 y 400 watts, de un arco de luz de mercurio y cuarzo, están cubiertas con filtros especiales de vidrio. Los filtros transmiten la luz negra, pero excluyen la visibilidad de la luz, esto es la opacan a una longitud de onda de luz ultravioleta.

INTENSIDAD REQUERIDA.- La intensidad de radiación de luz negra utilizada para energizar un material fluorescente determina la cantidad de luz visible que emite el material. Dentro de los límites, el doblar la intensidad de luz negra sobre una indicación va a duplicar la brillantes de la indicación.

CARACTERISTICAS DE LA LUZ NEGRA.- Las luces negras de arco de mercurio deben ser prendidas de 5 a 10 minutos antes de ser usadas para la inspección. Esto se requiere porque la luz ultravioleta no es plenamente desarrollada hasta que el arco de mercurio se calienta lo que requiere al menos de un tiempo de 5 minutos.

FILTROS DE LUZ NEGRA.- Deben mantenerse limpios, la basura y polvo acumulado en el filtro reduce la salida de luz negra en forma significativa, el vidrio se calienta mucho debido al arco de mercurio por lo que es tratado para evitar el efecto de impacto térmico, ya que esto puede romper el filtro. Un filtro cuarteado no se puede utilizar ya que la luz que pasaría no

sería suficiente, y la luz blanca que no sea filtrada a través de la grieta va a afectar la adaptación de los ojos del inspector.

DEFINICION DE LUZ NEGRA.- Para el propósito de pruebas con partículas magnéticas fluorescentes, es energía radiante que tiene una longitud de onda en la banda de 3200 a 4000 Angstroms. Esta es más corta que la longitud de onda de luz violeta visible más corta, y mayor que la verdadera ultravioleta (dura) por lo que se llama " luz ultravioleta cercana ".

La luz negra tiene la propiedad de causar que varias sustancias como minerales y tintes sean fluorescentes aunque la radiación no es visible al ojo y se le considera como un principio de luz negra. En el proceso de pruebas de partículas magnéticas fluorescentes, los tintes son utilizados para absorber la onda corta de luz negra invisible, y emiten esta energía en una longitud de onda más larga dentro del rango visible dando una brillantez amarillo verdoso.

LUZ ULTRAVIOLETA.- Esto es un término aplicado a la radiación de longitud de onda más corta que la más corta de las longitudes de onda visibles violeta, a partir de 4000 A bajando hasta 2000 A , en general a longitud de onda más corta, más penetrante y activa es la radiación. Sin embargo la banda entre 4000 y 3200 A es relativamente inactivo cuando se compara con la banda de 3200 a 2000 A . La luz ultravioleta alrededor de los 2500 A es muy dañina a varias formas de vivir, esta mata bacterias, causa quemaduras de sol, genera ozono, y puede perjudicar al ojo humano.

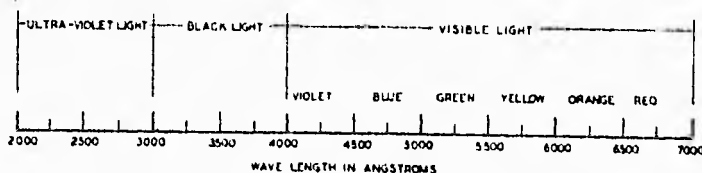


Fig. 22. Espectro de la luz visible directa, luz negra y luz ultravioleta.

GRADO DE CONCENTRACION DEL BAÑO.- La cantidad apropiada de pasta a emplear para elaborar el baño, depende del tipo de inspección que vaya a hacerse. Para la mayoría de las aplicaciones y especialmente cuando se inspeccionan piezas con superficies altamente afinadas o pulimentadas, es preferible una suspensión más bien ligera. De 1 a 1/4 onzas de pasta por galón de baño poco más o menos, es lo corriente, donde, como sucede en el campo de la aviación, se usa el método continuo.

IMPORTANCIA DE LA UNIFORMIDAD DEL BAÑO.- Dado que las mismas piezas son frecuentemente inspeccionadas por distintos operadores, el uso de los baños de grado uniforme de concentración es de considerable importancia. Las suspensiones pesadas, por dar un mayor refuerzo a un defecto dado, pueden hacerlo aparecer más serio que cuando la indicación es producida por una suspensión más ligera, haciendo así una interpretación análoga de la indicación, más difícil. Esto puede conducir a controversias entre, por ejemplo, un fabricante y el comprador de una pieza, aún cuando ambos estén aplicando concientemente esta inspección.

La amplia adopción de la norma de 1 a 1/4 onzas, por tanto ha sido un paso importante en el avance hacia la obtención de resultados uniformes por diferentes operadores, bien en la misma o en diferentes fábricas.

**VENTAJAS DEL METODO HUMEDO.**

La superioridad del método húmedo para localizar defectos menudos - está basada en el hecho de que las partículas comprendidas en la pasta comercial en uso en la actualidad son, por término medio, considerablemente más pequeñas que las usadas en el polvo seco. Cuando se puede disponer de polvo seco más fino, hay razón para creer que será igualmente bueno para localizar grietas de superficie muy pequeñas.

En cuanto a cualquier ventaja del líquido sobre el aire como suspensor, este es dudoso en el caso de polvos muy finos, y no sería sorprendente ver el aire reconocido como suspensivo tan plenamente satisfactorio como el líquido para estos polvos.

A veces, el poder alcanzar rápidamente todas las superficies de la pieza que se inspecciona por riego con manguera o por inmersión es una ventaja considerable por parte del método húmedo. Pero el progreso de los sopladores de polvo de baja velocidad compensa esta ventaja.

La principal desventaja del método húmedo es que es necesario un -- suspensor especial. Otros inconvenientes son el efecto disolvente de un ba-- ño de petróleo sobre las grasas naturales de la piel (aunque esto no pueda evitarse), la necesidad de medios de agitación para mantener la pasta en suspensión en el baño, el costo relativo de un sistema de circulación cuando se emplea el riego con manguera y el mantenimiento y limpieza de tal sistema -- circulatorio.

**PREPARACION DE SUPERFICIES.-** Cuanto más pulimentada sea la pieza a examinar y más uniforme sea su color, más favorables serán las condiciones - para formación y examen del modelo de polvo. Esto no significa, sin embargo, que deba emplearse una indebida cantidad de trabajo para preparar apropiadamente la superficie para la inspección, particularmente si los defectos buscados son de tamaño apreciable.

Donde vaya a usarse el método seco debe ser eliminada toda la grasa; de otro modo se sacrificará la movilidad de las partículas, adhiriéndose tenazmente una capa de polvo a la superficie entera, ocultando completamente la indicación algunas veces, y haciendo siempre más difícil la interpretación. Sobre las piezas pulimentadas quedará usualmente una película de aceite o grasa después de frotadas. Esta puede ser eliminada fácilmente sacudiéndolas o espolvoreándolas con talco,

Las capas de óxido o cascarilla que sean bastante gruesas para ser blandas deben ser quitadas con cepillo de alambre, chorro de arena, tambor de lijado u otro medio. Una capa delgada y uniforme de óxido, usualmente no interfiere con la localización sino de muy pequeños defectos. El operador debe estar familiarizado con el tamaño comparativo de los defectos que está buscando y el efecto del óxido, a fin de estar en situación de juzgar si el óxido debe ser eliminado.

La pintura hace el efecto de convertir las fallas de superficie en subsuperficiales. Para decidir si la pintura debe ser o no quitada, debe considerarse el grueso relativo de la capa de pintura y el tamaño de la fallas más pequeñas que se buscan en la inspección. La manifestación puede aplicarse al cadmiado, niquelado y cromado, excepto que la capa galvánica es usualmente más delgada que la pintura y la superficie galvánicamente tratada hace un fondo excelente para contraste de color cuando se usa una pasta o un polvo de un matiz determinado, tales como negro o rojo.

**SUPERFICIES ASPERAS.-** Ciertos tipos de irregularidades en las superficies a ser inspeccionadas pueden confundirse con el modelo de polvo, particularmente cuando se usan los polvos secos. Un ejemplo de este caso es una soldadura áspera y cuando el campo de dispersión es débil, como en el caso de fallas subsuperficiales en la soldadura, es usualmente aconsejable esmerilarla, dejando una superficie razonablemente afinada para lograr los mejores resultados.

Una superficie normalmente áspera, tal como la de una pieza de fundición, no es usualmente ningún impedimento en la detección de fallas que sean notables, porque, aunque la superficie irregular puede ocultar defectos muy pequeños, estos no son usualmente del tipo de defectos estimables cuando son inspeccionadas piezas de fundición. Las superficies ásperas pueden ser hechas más finas, sin trabajo de máquina, cubriéndolas con ceras, pinturas, barnices y otros materiales, y estos pueden ser seleccionados al mismo tiempo para contraste de color.

**VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA APLICACION  
DE LAS PARTICULAS MAGNETICAS POR VIA SECA  
Y POR VIA HUMEDA**

---

**POR VIA SECA**

---

VENTAJAS	LIMITACIONES
Permite localizar con facilidad discontinuidades subsuperficiales.	Menos sensible que el método húmedo para discontinuidades muy pequeñas.
Fácil de utilizar en piezas grandes y con equipo portátil a pie de obra.	Difícil de aplicar en piezas de geometría irregular
Buena movilidad de las partículas	Más lento que el método húmedo.
Más cómodo y más limpio que el método húmedo.	Difícil de automatizar.

---

**POR VIA HUMEDA**

---

VENTAJAS	LIMITACIONES
Es el método más sensible para grietas superficiales finas.	No detecta normalmente discontinuidades subsuperficiales (prof. mayor de 1mm.).
Cubre con facilidad piezas grandes o irregulares.	Quando se usa keroseno como vehículo, existe el riesgo de inflamación al producirse chispas en contactos defectuosos.
Es el método más rápido para el control de grandes series de piezas pequeñas.	Es necesario un circuito de circulación y agitación de la suspensión.
Las partículas tienen una buena movilidad en la suspensión líquida.	A veces presenta el problema de limpieza de la superficie de piezas para eliminar las partículas adheridas que pueden actuar como abrasivos.
Es fácil controlar la concentración de las partículas en la suspensión.	Es preciso controlar periódicamente la concentración de la suspensión y mantenerla dentro de los límites de utilización.
Fácil de recoger el líquido sobrante.	
Fácil de automatizar.	

---

## V.- TIPOS DE DEFECTOS DETECTABLES

DEFECTOS DEFINIDOS.- Es pertinente preguntarnos: ¿en qué campos y para la localización de qué defectos se ha encontrado útil el método?

Como preliminar a una exposición de lo que se puede hallar, es preciso una definición de la palabra " defecto ". Hablando exactamente, el método por partículas magnéticas no encuentra defectos; encuentra discontinuidades que pueden ser o no defectos. Estas discontinuidades pueden ser separaciones metálicas reales (grietas), bolsas de gas o de escorias o aberturas semejantes en el, de otro modo, material homogéneo; o como veremos pueden ser solamente discontinuidades magnéticas, como la unión sana, soldada con latón, entre dos piezas de material magnético o quizás sólo un imprevisto cambio de dureza en una pieza de acero causando una variación aguda en su permeabilidad.

Pero si limitásemos nuestra consideración en este punto a las discontinuidades físicas efectivas en el metal, éstas no son todavía necesariamente defectos. Una definición de defectos puede ser: " aquellas imperfecciones en el acero que puedan ir en perjuicio de su calidad, aspecto o rendimiento ".

Puede suceder, que de dos discontinuidades idénticas en dos partes proyectadas para uso, una pueda ser un defecto y otra no. Si una discontinuidad de un tipo dado es defecto, puede ser cuestión de grado, de frecuencia o posición. Pero, en todo caso, es defecto sólo cuando su presencia interfiere o es probable su interferencia en el uso para el cual la pieza se diseñó.



CLASIFICACION DE DEFECTOS.- Los tipos de discontinuidades o defectos que pueden ser localizados, se clasifican de varios modos, dependiendo del punto de vista de que sean considerados. Los dos más importantes métodos de clasificación en el uso común, son :

- a).- Desde el punto de vista de origen o momento, del caso, en la historia de vida del metal implicado.
- b).- Desde el punto de vista de su localización en el metal; por ejemplo, si es en la superficie o bajo ella.

CLASIFICACION POR ORIGEN.- Existen períodos progresivos en la vida de cualquier pieza, que pueden ser tres o quizá cuatro estados los cuales, naturalmente, sirvan para agrupar discontinuidades desde el punto de vista de su origen. Estos grupos pueden designarse de la siguiente forma:

- I.- INHERENTES.- En este grupo están incluídas todas aquellas condiciones del metal derivadas de su composición o de su fusión y solidificación desde el estado líquido.
- II.- ELABORACION.- Este incluye todas las discontinuidades introducidas en el curso de su conformado y fabricación hasta la forma final, y esto cae dentro de dos subgrupos importantes.
  - 1°.- Proceso Primario, tal como fundición, laminación, forja, embutido y estirado, etc., y
  - 2°.- Proceso de Acabado, tal como mecanización, tratamiento térmico, pulimiento, electrólisis, etc.
- III.- SERVICIO.- Este grupo incluye todas las grietas debidas a las condiciones de servicio, la principal de las cuales es la bien conocida grieta por fatiga.

DEFECTOS INHERENTES.- Las numerosas discontinuidades en este grupo son las inclusiones no metálicas, como su nombre indica, son materias extrañas, tales como escorias, sulfuros de manganeso, óxidos de hierro, sílice u otras materias refractarias y sustancias no metálicas. Estas sustancias son atrapadas durante la formación de cristales de acero, según el metal derretido se va solidificando en el molde para la formación del lingote.

Los otros defectos inherentes principales son las bolsas de gas formadas y las contracciones internas. Estas últimas consisten en cavidades situadas, en general, en el centro, como resultado de contracciones térmicas, según el lingote se solidifica y enfría, que conducen a perforaciones y estratificaciones en la forja final o en la laminación de barras.

Las grietas o fisuras superficiales debidas al enfriamiento y los fuertes descostramientos también pueden conducir a grietas de superficie si sobre las superficies de los lingotes no son cuidadosamente llevadas a cabo las operaciones de rebabeado, esmerilado, o achaflanado antes de la elaboración final del metal.

DEFECTOS DE ELABORACION PRIMARIA.- En este grupo, en el caso de productos laminados, tenemos fisuras superficiales que pueden resultar de grietas en tochos, no eliminados antes del laminado o pueden ser debidas a solapaduras, superposiciones o repliegues interiores en la operación del laminado.

El proceso de forja puede introducir un número de defectos, los principales de los cuales son: pliegues, solapaduras o desgarraduras superficiales y también roturas internas y superficiales.

La soldadura es otra operación de elaboración que tiene su lista peculiar de defectos. Entre ellos están las rajaduras por enfriamiento, bolsas de escorias y gas, y zonas de fallas por falta de fusión.

DEFECTOS DEL PROCESO DE ACABADO.- En esta categoría están las grietas de temple u otras debidas al tratamiento térmico o cementación, incluyendo las grietas de endurecimiento por inducción y las llamadas grietas por envejecimiento, las cuales se presentan en piezas templadas algún tiempo -- después del tratamiento térmico.

GRIETAS POR EL USO.- Las principales grietas por el uso son las causadas por fatiga.

Las grietas por fatiga se producen durante el uso bajo repetidas reversiones o variaciones de tensión. La grieta, generalmente, comienza en una superficie altamente tensa y se propaga a través de la sección hasta que resulta el fallo.

Las aristas agudas, acabados de superficie pobres, vetas y amolados de pruebas, todos actúan como concentradores de tensión y ayudan al comienzo del agrietamiento por fatiga.

Toda inspección con partículas magnéticas para eliminar defectos, - tiene por objeto evitar fallos por fatiga o servicio después que la pieza - entra en uso, y en muchos campos, particularmente en operaciones de ferrocarril y aviación ha sido demostrado claramente que la aplicación inteligente de este método, es la única garantía de una enorme reducción de los fallos por fatiga. Además de las grietas del tipo de fatiga, pueden ocurrir fallos en servicio debidos a otras causas. El esfuerzo excesivo de las piezas, más allá del límite de seguridad previsto, es con frecuencia causa de rotura.

CLASIFICACION DE DEFECTOS POR SU SITUACION.- Otro método de clasificación de discontinuidades o defectos y que está más proximately relacionado con los métodos y medios requeridos para localizarlos por medio de partículas magnéticas, es el que los agrupa en dos clases, basado sobre el lugar donde se hallan de la pieza que se examina.

Este método divide todas las grietas y discontinuidades en dos extensas clases: superficiales y subsuperficiales.

DETECCION DE GRIETAS DE SUPERFICIE.- Definir las condiciones que determinan si una grieta de superficie será detectada o no con partículas magnéticas, no es particularmente difícil, puesto que, como queda establecido, hay amplia latitud en la selección de procedimientos y técnicas cuando las grietas de superficie se están viendo.

Las grietas superficiales son completa y prontamente detectadas en materiales, tales como aleaciones de níquel y cobalto como el metal monel.

Las características de la discontinuidad misma más favorables para la detección son las que están más próximas a ángulos rectos de la superficie, relativamente cerradas de labios en la superficie y, comparativamente, profundas en proporción a su abertura superficial.

DEFECTOS DE GRIETAS BAJO LA SUPERFICIE.- Son las que no rompen la superficie del material sobre el que se está haciendo la inspección. Como grupo no son, probablemente, tan numerosas como los defectos de superficie y son más bien, probablemente, menos peligrosas desde el punto de vista de un fallo potencial. La mayoría de las discontinuidades internas son de forma más o menos redondeada y, hallándose bajo la superficie, están en un área de esfuerzo de fibra por debajo del máximo y son, por lo tanto, menos severos -- concentradores de esfuerzo que una muy pequeña grieta de superficie.

## INDICACIONES NO IMPORTANTES

Las indicaciones no importantes pertenecen a un grupo extremadamente importante, desde el punto de vista de la comprensión y la apropiada interpretación de las indicaciones por medio del método de partículas magnéticas, ya que no son del todo infrecuentes y un inspector tiene que ser capaz de reconocerlas como lo que son.

El término "falsa indicación" es frecuentemente aplicado a tales casos, pero no está bien elegido. Las indicaciones son verdaderamente magnéticas y los modelos de partículas son tomados por campos de dispersión; solamente que estos campos son causados por condiciones que no tienen relación con la adaptabilidad del material o pieza para el servicio a que se destina y son por ello "inapropiadas" para la evaluación de la pieza. Indicaciones "no importantes" es, por lo tanto, el mejor término.

INDICACIONES FALSAS.- Hay quizá una indicación exactamente "falsa" y ese es el caso de partículas retenidas mecánicamente o por gravedad en las irregularidades de la superficie sin ninguna relación con los campos de dispersión. De modo semejante, cuando se usa el método húmedo, se formará una línea de "desagüe" de partículas. En tales casos solamente es necesario soplar o limpiar la superficie para probar que las partículas no están retenidas magnéticamente.

BORDES DE ESCAMAS.-Una indicación más bien inapropiada es la obtenida en el borde de una costra de escamas o cascarillas fuertemente adherente. Aún es sorprendente con cuanta frecuencia se necesita un examen cuidadoso para distinguir entre tal indicación y una verdadera discontinuidad. El examen visual es suficiente en la mayoría de los casos, pero se hace necesaria una más cuidadosa limpieza de la superficie.

**POLOS EXTERIORES.**- Las partículas se adherirán en los polos locales en las esquinas agudas, lomos agudos o irregularidades de la superficie, pero tales defectos no son de ordinario muy confusos. Tales modelos son más probablemente encontrados cuando se usa la magnetización longitudinal y su presencia es frecuentemente una indicación de un campo demasiado fuerte.

**OBSTRUCCION DEL PASO DEL METAL.**- Una de las indicaciones comunes no importantes es la causada por una obstrucción en la trayectoria o camino de las líneas de fuerza del metal a través de la cual tiene que pasar el flujo, siendo causada tal obstrucción por la forma y construcción de la pieza. Tal amontonamiento de flujo para producir un campo de dispersión, es exactamente el mismo que el que produce indicaciones sobre un defecto superficial, solamente que en el caso de estas indicaciones inapropiadas, no implican ninguna duda de defectos.

**ZONAS FRONTERIZAS EN SOLDADURAS.**- En la inspección de soldaduras es frecuentemente obtenida una indicación en el límite del metal fundido y el metal de base. Pueden aparecer otras indicaciones en forma de línea en las zonas descarburadas. Estos casos indican un nuevo cambio de permeabilidad en el curso del flujo magnético, pero en muchos casos no indican una condición censurable. Muchas buenas soldaduras producirán una línea de polvo en la unión del metal de base y el fundido.

**SOLDADURAS CON LATON.**- Cuando dos piezas de material magnético son soldadas con metal, la película de latón constituye una discontinuidad "magnética", y aunque la unión estructuralmente puede ser perfectamente sana, se producirá un modelo de partículas magnéticas en esta unión.

UNIONES ENTRE MATERIALES MAGNETICOS DISTINTOS.- Algunas veces una -  
pieza de acero templado es soldada a otra pieza más blanda, resultando una -  
línea más aguda de cambio en permeabilidad. Si un campo magnético es estable-  
cido de manera que fluya a través de esta unión, habrá un campo de filtración  
concentrado y consecuentemente una indicación de partículas magnéticas que -  
no da información alguna acerca del vigor de la unión.

Otra y algo similar situación vale la pena mencionar. Cuando dos -  
miembros de un conjunto están muy estrechamente ajustados como un ajuste -  
forzado entre eje y piñón, se formará una indicación de esta unión. Esto no  
es jamás engañoso a menos que la unión esté tapada por óxido o pintura y el  
operario no esté enterado de que existe. Usualmente, puliendo con tela de es-  
meril muy fina, se revela la línea entre los dos miembros del conjunto.

## VI.- TECNICAS DE DESMAGNETIZACION

IMPORTANCIA DE LA DESMAGNETIZACION.- Todas las piezas de hierro y acero después de haber sido sometidas a una fuerza magnetizadora, cuando esta haya cesado, retendrán una cierta cantidad de campo residual. Este campo residual o remanente puede ser grande o pequeño, dependiendo de la naturaleza del material y de la energía de la fuerza magnetizadora aplicada.

Los campos magnéticos residuales pueden ser eliminados cuando sea necesario por uno de varios procedimientos, y como el inspector de partículas magnéticas puede ser encargado con la responsabilidad de desmagnetizar piezas después de la inspección, es importante que esté familiarizado con los principios implicados, el equipo de que disponga y la técnica apropiada, de modo que pueda llevar a cabo la desmagnetización en forma satisfactoria cuando sea necesario.

Decisiones como la de qué piezas deben ser desmagnetizadas y qué piezas no, y más particularmente, el grado al que debe ser realizada la desmagnetización son demasiado empíricas, y es seguro inferir que aún en muchos casos, la desmagnetización es llevada a cabo cuando es innecesaria o es conducida con demasiado cuidado, y por otra parte, no ejecutada en otros casos, donde está realmente indicada.

Las razones para y la necesidad de desmagnetización deben, por lo tanto, ser comprendidas de modo que el método apropiado pueda ser aplicado para completar el grado de eliminación del campo residual en cualquier caso dado.



NECESIDAD DE LA DESMAGNETIZACION.- La desmagnetización es necesaria cuando el campo residual en un objeto:

- a).- Puede afectar la operación o precisión de instrumentos cuando son puestos en servicio.
- b).- Puede interferir las operaciones posteriores de mecanización a causa de virutas o limaduras que se adhieren a la herramienta.
- c).- Puede interferir el apropiado funcionamiento de la pieza misma como, por ejemplo, en el caso de herramientas tales como fresas, cepillos, tornos, etc.
- d).- Pueden causar atracción y retención de partículas en la superficie de piezas móviles, particularmente de piezas que trabajan en baño de aceite, y de ese modo causar un desgaste indebido.
- e).- Sea probable interferir la magnetización de la pieza en un más bajo nivel de intensidad de campo, bien la misma dirección u otra diferente.
- f).- Interfiere seriamente la eliminación de polvo o partículas de pasta en la limpieza de la pieza después de la inspección.
- g).- O la desmagnetización pueda ser necesaria como un paso preliminar para la magnetización, si el material es muy duro y contiene fuertes campos remanentes de alguna operación anterior.

La desmagnetización no es necesaria y no es usualmente practicada:

- a).- En piezas de acero blando, las cuales, por lo tanto, tienen baja retentividad, en cuyo caso el campo magnético desaparecerá en una gran parte cuando la fuerza magnetizadora se suprima o poco después.
- b).- Si la pieza va a ser posteriormente tratada térmicamente y en el proceso se calentará a más de 800 °C .
- c).- Sobre piezas estructurales, tales como soldadura, piezas grandes de fundición, calderas, etc., en las cuales la presencia de un campo residual no tendrá significación material.

- d).- En la pieza que probablemente será magnetizada durante manejo posterior como, por ejemplo, un electroimán elevador o un plato magnético, o por estar en la proximidad de otros objetos magnetizados o fuertes campos magnéticos.
- e).- Si la pieza va a ser posteriormente remagnetizada en otra dirección, al mismo nivel al que fué originalmente magnetizada o a un nivel más alto.

Un error común es la suposición de que si una pieza va a ser magnetizada en una segunda dirección (como circular, siguiendo a una magnetización longitudinal por partículas magnéticas), es necesario desmagnetizar entre las dos operaciones. Anteriormente fué explicado que no pueden existir dos campos magnéticos distintos en la misma área y al mismo tiempo, sino que se forma un campo resultante. Si los campos no son aplicados simultáneamente, sino sucesivamente, el último campo aplicado rechazará al campo remanente de la magnetización precedente proporcionando la fuerza de magnetización últimamente aplicada si es del mismo o más alto orden de magnitud que la anterior.

**MÉTODOS DE DESMAGNETIZACION CLASIFICADOS.-** En esta clasificación se incluirán solamente métodos que hoy en día están en uso práctico, o los que prometen ser de valor práctico. Los métodos prácticos de desmagnetización -- pueden ser divididos en dos clases principales:

- a).- La primera de estas está basada en la consideración del carácter de la corriente que se usa para inducir el campo de desmagnetización. Esta corriente puede ser alterna en la frecuencia de la línea de entrada o en otras frecuencias especiales. Puede ser corriente continua decreciendo o invirtiéndose satisfactoriamente o llevando a cabo la desmagnetización en un decrecimiento o inversión. Puede ser de carácter oscilatorio o puede usarse una combinación de corriente alterna y continua. Finalmente, una corriente cíclica de tensión avanzada puede ser interrumpida en -

un punto predeterminado para asegurar la desmagnetización, llamado el método de "ciclo interrumpido".

- b).- La segunda clasificación está basada sobre el tipo de campo magnético que es usado para la desmagnetización, con referencia particular a la manera en que es producida y el aparato usado para producirla. Sus subdivisiones son: uso del método circular pasando corriente directamente a través de la pieza o método circular usando conductor central, uso de enrollamiento exterior o solenoide conteniendo a la pieza a desmagnetizar como su núcleo, el yugo o electroimán bipolar, el núcleo del cual puede ser en forma de " C ", y finalmente el electroimán monopolar o campo radial.

A continuación se da una tabla de los métodos expresados.

#### METODOS PRACTICOS DE DESMAGNETIZACION BASADOS SOBRE CARACTERISTICAS DE CORRIENTE

- a).- Corriente alterna en frecuencia de línea.  
b).- Corriente alterna en frecuencias especiales.  
c).- Corriente continua invirtiendo y decreciendo.  
d).- Corriente continua en reversión simple.  
e).- Oscilatoria.  
f).- Corriente alterna y continua combinadas.  
g).- Desmagnetización de ciclo interrumpido.

METODOS PRACTICOS DE DESMAGNETIZACION BASADOS SOBRE CARACTERISTICAS  
DE CAMPO

- a).- Circular-corriente a través de la pieza.
- b).- Circular conductor central.
- c).- Arrollamiento externo o solenoide.
- d).- Yugo o bipolar.
- e).- Monopolar o radial

DESMAGNETIZACION POR CORRIENTE ALTERNA.- La corriente alterna se emplea para la desmagnetización en mayor grado que cualquier otra corriente, usualmente en conexión con un solenoide abierto, en el cual se coloca la pieza a desmagnetizar, y entonces se retira lentamente mientras la corriente - está fluyendo. Las variaciones en este método incluyen retirar el solenoide sobre la pieza mientras está estacionaria o haciendo decrecer la corriente - sustancialmente hasta cero mientras la pieza es mantenida en el solenoide.

Este sería un método ideal, siendo sencillo, no necesitando elaborar campo establecido y siendo bastante rápido para manejar muy fácilmente las necesidades de cualquier línea de producción, excepto por una cosa: falta de penetración.

DESMAGNETIZACION POR CORRIENTE CONTINUA.- El método más común del uso de corriente continua para desmagnetización, es determinar la dirección o polaridad del campo que requiere eliminación, y entonces imponer un campo magnético de polaridad opuesta sobre la muestra, de tal fuerza que neutralice exactamente el campo existente. Si el operario ha puesto el campo original, sabe cuanta corriente fué usada y puede hacer una buena conjetura en cuanto a la cantidad de corriente a usar para el disparo de inversión, particularmente si ha tenido alguna experiencia previa en piezas semejantes del mismo material.

CORRIENTES ALTERNA Y CONTINUA COMBINADAS.- Por impresión del campo vector resultante del empleo simultáneo de un campo de corriente alterna y corriente continua, son retenidas algunas de las ventajas de ambos, y el método, aunque algo crítico y requiriendo el uso de un permeámetro como instrumento de control, encuentra algunas aplicaciones útiles.

CIRCUITOS OSCILANTES.- El solenoide de desmagnetización o el primario del transformador de reducción usado para la magnetización pueden formar parte de un circuito oscilatorio y una corriente "decadente" así obtenida. En el segundo caso el circuito secundario del transformador se cierra a través de la pieza, a través de un conductor central o a través de un solenoide u otro sistema de desmagnetización. El circuito oscilante se obtiene teniendo una capacitancia en paralelo con una inductancia de forma que el circuito sea resonante, y descargará a su natural período de frecuencia cuando la corriente excitadora sea interrumpida.

DESMAGNETIZACION POR CICLO INTERRUMPIDO.- Se supuso antiguamente que sólo podría usarse la corriente continua para la magnetización permanente de las piezas y que cuando se usaba la corriente alterna, tendría que ser mantenida durante la inspección.

Los principios fundamentales generales de este método pueden también ser empleados en la desmagnetización.

DESMAGNETIZACION POR YUGO.- En esta clase de accesorios de desmagnetización entra el tipo abierto o en " U ", el tipo parcialmente cerrado o en " C " y el tipo que tiene una pequeña abertura o boquete llamado zumbador.

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

Para la desmagnetización de objetos de forma irregular, los tipos en " U " y de pequeña abertura tienen desventajas evidentes, mientras que el tipo " C " no es bastante flexible para manejar una variedad de tamaños. Esta clase, por tanto, no ha sido tan favorecida como lo son los solenoides en el trabajo de inspección magnética.

SOLENOIDE EN EL VOLTAJE DE RED.- De vez en cuando se usa con corriente trifásica y disposiciones especiales de bobinas pero, debido al hecho de que este tipo de campo gira y no pasa realmente a través de cero, es considerada más deseable la monofásica.

La cantidad de corriente usada en la desmagnetización es apreciable si el aparato es dejado encendido continuamente. Si es usado para servicio intermitente, es aún más importante no dejarlo encendido continuamente.

MAGNETIZACION Y DESMAGNETIZACION.- Considerando la elección de un método de magnetización o desmagnetización, debe prestarse atención a la otra operación porque si ambos procedimientos pueden ser efectuados con un aparato, ello es una ventaja, y si la desmagnetización puede ser efectuada, inmediatamente después de la magnetización o inspección, la ventaja es aún más evidente. Si el dispositivo integrante no funciona entera y corrientemente, la operación de desmagnetización será mejor hacerla separadamente.

MARTILLEO.- En muchas operaciones de magnetización y desmagnetización hay con frecuencia un efecto de estabilización o "absorción" resultante de la administración de ayudas y repetidos golpes de martilleo durante o después de la aplicación del campo magnético. Un aspecto práctico del fenómeno se encuentra en la desmagnetización de objetos de forma compleja irregular, tales como monturas de motores y fuselajes de aviación. El martilleo durante el proceso de desmagnetización, parece nivelar alguna de las agudas desigualdades en el potencial magnético y deja más estables los campos remanentes.

## VII.- APLICACION DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS A PIEZAS DIVERSAS

## INTERPRETACION DE INDICACIONES

INTERPRETACION DEFINIDA.- Saber como producir apropiadamente indicaciones, es sin duda la primera exigencia en el uso de partículas magnéticas, de modo que aquellos responsables de la inspección pueden asegurarse de que las indicaciones han sido obtenidas de todos los defectos u otras condiciones que puedan afectar a la utilidad de la pieza.

Dada la indicación de alguna discontinuidad u otra condición en la pieza bajo inspección, alguien debe aclarar lo que hay presente en la pieza, que causa que la indicación aparezca; en otras palabras, él debe interpretar la indicación en los términos de su causa. Esto es conocido como "interpretación" y es el objeto de este apartado.

EL PROBLEMA DE LA INTERPRETACION.- Se acaba de mencionar que la interpretación consiste en decidir que es lo que causa un modelo de polvo. Evidentemente, si nuestra evaluación de la condición ha de ser inteligente, no es suficiente decir que hay una grieta o discontinuidad bajo la superficie. La exacta naturaleza de la condición, si es conocida, determinará si el rechazo es justificado, o si es posible el aprovechamiento.

El modelo de partículas magnéticas no nos dice de por sí que condición lo causa. Todo modelo es causado por una perturbación magnética produciendo un campo de dispersión, pero se necesita un conocimiento e información posterior que nos permita decidir si el modelo y, por tanto, la perturbación, es realmente significativa o no. En capítulos anteriores, hemos señalado algunas de las características típicas de modelos producidos por discontinuidades superficiales y subsuperficiales, y puede obtenerse una cierta cantidad de -

información de una observación del carácter de la indicación. Pero producir tal observación en una identificación suficientemente precisa del defecto, no siempre es fácil y este es el problema de interpretación.

CONOCIMIENTO EXTERIOR REQUERIDO.- Decidir la identidad de un defecto, requiere considerable conocimiento y experiencia, no es sencillo producir indicaciones adecuadas, lo que califica a un operador para interpretar sus resultados con seguridad.

Con el fin de hacer esto deben proporcionarse los siguientes puntos y fuentes de información, útiles al inspector:

- a).- Un conocimiento del material de que está hecha la pieza (si es de alto o bajo grado de acero al carbono, o que aleantes tiene, si hay alguno presente, y en que cantidad). Para hacer uso de este conocimiento, debe ya saber algo sobre aceros y fabricación de los mismos y el carácter de los defectos que sea probable hallar en varios tipos de acero.
- b).- Un conocimiento de la historia del proceso de la pieza, si está hecha de material laminado, de forja o fundición; así como las operaciones de mecanización (amolado, pulimento, etc.) que le han sido aplicados; y el tratamiento térmico que ha recibido (si es templada, carburizada, nitrurada, etc.); y debe saber bastante de tales procesos para estar familiarizado con los defectos que cada uno puede introducir en la pieza.
- c).- Experiencia anterior con piezas similares que indica frecuentemente lo que se ha de buscar y ayuda a identificar una indicación cuando se encuentra.
- d).- Facilidades para hacer pruebas destructivas sobre muestras conteniendo indicaciones, cuya causa no es clara. Cortando la pieza y examinando el defecto en sección, se hace posible con frecuencia la identificación de indicaciones similares cuando se encuentran.
- e).- Un conocimiento general de metalurgia es extremadamente útil, si no esencial.



Un inspector experimentado, bien equipado con conocimientos como los anteriormente expresados, conocerá desde el principio que ciertos defectos pueden presentarse en una pieza y que otros pueden no estarlo. El problema de interpretación es, de una vez, reducido a muy pocas posibilidades, puesto que la historia de la pieza automáticamente, desecha el resto.

**EVALUACION DE DEFECTOS.-** Evaluación de un defecto, significa la determinación, implicando una decisión sobre la pieza, por la persona o personas cargadas con esa responsabilidad, si la condición encontrada en una pieza dada es causa para el rechazo o si la pieza puede ser usada como está o salvada por otra operación posterior.

Esta decisión es enteramente aparte de la implicada en la interpretación, ya que existe solamente en el caso de que hayan sido establecidas reglas fijas por las que las piezas son automáticamente rechazadas o aceptadas sobre la base de la mera presencia de una discontinuidad. Además una gran cantidad de factores entran en tal decisión que no están de ningún modo conectados con el asunto de localizar y entonces, determinar la naturaleza de una discontinuidad dada.

**PROBLEMA DE EVALUACION.-** El problema es el de si una discontinuidad dada es de tal magnitud o de tal modo localizada en la pieza que pueda poner en peligro el resultado satisfactorio del material o pieza en el servicio para el cual ha sido fabricada o diseñada.

En la respuesta a esta pregunta entran algunas consideraciones que son las siguientes:

- a).- ¿ Qué tipo de tensiones está llamada a resistir la pieza, y -  
cual es su magnitud, dirección y duración, por ejemplo, si la tensión es fija, pulsativa o reversible ?

- b).- ¿ Donde se halla el defecto con respecto a estos esfuerzos, si es en un área de alta o baja tensión y si está paralelo o en un ángulo a la dirección del esfuerzo ?
- c).- ¿ Cual es la naturaleza del defecto y cuán efectivo concentrador de esfuerzos es, así como también, que relación -- guarda con otros concentradores de tensión que pueden presentarse debido al diseño o construcción de la pieza ?
- d).- ¿ Cual es la importancia de la pieza en la estructura o - conjunto entero y cuán serio podría ser el resultado si la pieza fallase ?

El propósito aquí es más bien solamente señalar algunas de las consideraciones más claras que puedan ejercer influencia en el resultado final de la inspección por partículas magnéticas.

**DISEÑO.**- Se ha manifestado frecuentemente que muchos más fallos de miembros de estructura y máquinas son debidos a la falta de cuidado con el diseño que a defectos en los materiales de que están hechos.

Lo que se quiere decir es el fallo al evaluar con suficiente exactitud la distribución probable de tensiones en la pieza o grupo propuesto; o más bien el fallo al reconocer los efectos de concentradores de esfuerzos de ciertos rasgos del diseño y ceder o evitar las concentraciones de tensión - que son así producidas.

**CONCENTRADORES DE ESFUERZOS.** Aún suponiendo que haya sido hecho todo el uso posible de tales elementos de análisis de tensiones, el diseñador puede todavía solamente diseñar para tensiones calculadas o hacer concesiones razonables para sobrecargas previsibles. Pero las tensiones en servicio algunas veces son elevadas muy por encima de aquellas para las cuales está diseñada la pieza, por condiciones más allá del cálculo del diseñador y de su habilidad para prever.

Algunas de estas condiciones se relacionan a continuación:

- a).- La presencia de muescas, tales como grietas, arañazos, etc.
- b).- Tensiones residuales, procedentes de los procesos de fabricación o tratamiento térmico.
- c).- Distribución desconocida de tensiones debida a la forma y tamaño, por el preanálisis, del cual los métodos disponibles pueden haber sido inadecuados y no prácticos.
- d).- Una carga aplicada, por cualquier razón en servicio, diferente de aquella para la que la pieza fué diseñada.
- e).- Vibración.
- f).- Sobretensión debido a accidentes.

RESISTENCIA DE MATERIALES.- El uso de un factor de seguridad en diseños, es un recurso a admitir por desconocer las condiciones de tensión. Cuando el peso no es una consideración primaria, el factor de seguridad puede ser alto. La pieza o estructura es hecha cinco o diez veces más fuerte que los mejores cálculos que el diseñador haya sido capaz de hacer o indicar que necesita serlo. Un gran factor de seguridad, sin embargo no siempre hace adecuada concesión para concentradores de esfuerzos, y se presentan grietas por fatiga en piezas pesadas de fundición y forja debidas a altas tensiones locales resultantes de la presencia de tales concentradores de esfuerzo.

SUPERINSPECCION.- Una condición que es considerada censurable en una pieza, destinada a un servicio particular, puede no ser del todo censurable en otra pieza destinada para un servicio diferente. Numerosos ejemplos podrían ser citados en los que, piezas conteniendo defectos de un cierto tamaño y forma han sido puestas en servicio sin ningún daño sea el que fuere, mientras que defectos identicos en forma y tamaño en otras piezas más altamente sujetas a tensión o a peso quizás, o en secciones más críticas en la

misma pieza habrían sido consideradas bastante dañinas para justificar la exclusión instantánea. La evaluación, si es inteligente debe, pues, caer -- sobre una consideración de cada caso individual, a la luz de todo posible conocimiento en cuanto al diseño de la pieza y el servicio para el que es destinado.

A continuación se presentan una serie de ejemplos a través de los cuales se pretende mostrar la conveniencia y utilidad de la aplicación de -- los ensayos de partículas magnéticas a diversas piezas, con diferente historia metalúrgica ( procesos, tratamientos térmicos, etc. ), como técnica para la detección de irregularidades en los materiales.

## INDICACIONES POR PARTICULAS MAGNETICAS EN LA SUPERFICIE Y BAJO ELLA

APARIENCIAS TIPICAS DE INDICACIONES DE SUPERFICIE Y BAJO LA SUPERFICIE.-  
Los defectos de superficie producen bordes unidos, distintos, limpiamente -  
recortados, con una buena retención de polvos. Las figuras 23 y 24 muestran  
ejemplos típicos de indicaciones de grietas superficiales. Nótese que el pol-  
vo ha reconstruido líneas agudas, bien formadas y compactas.



Fig. 23. Grietas de temple en un cortador de acero  
para herramientas. Polvo seco.



Fig. 24. Grieta de un casquillo. Indicación producida  
con método húmedo.

FALLA DE ORIGEN

Los defectos bajo la superficie, por otra parte, tienden a producir modelos que son distintos, difusos, modelos que son generalmente menos estrechamente retenidos, ya que los campos de dispersión están menos concentrados.

La figura 25, muestra el carácter típico de las indicaciones bajo la superficie, nótese que las indicaciones sobre los orificios son anchas y difusas, y no apretadamente limitadas. Nótese también cómo las indicaciones se hacen más estrechas y más agudas en los orificios que se hallan más próximos a la superficie, y, a la inversa, más anchos y más abiertos en los orificios más lejanos de la superficie.

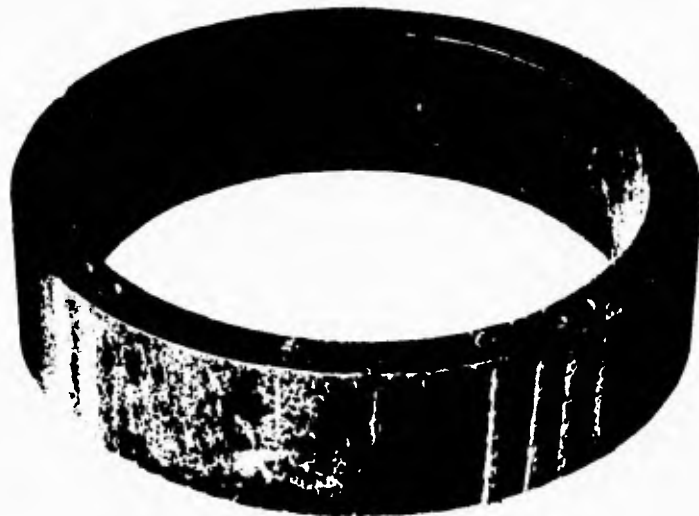


Fig. 25. Indicaciones de polvo seco de orificios taladrados en un anillo de acero.

FALLA DE ORIGEN

GRIETAS.- Las grietas en barras laminadas y perfiles pueden ser heredadas del lingote o tocho donde originalmente existían como grietas de superficie no eliminadas antes de la operación final del laminado, o grietas que pueden haberse formado durante la operación de laminado, debido a solapaduras causadas por exceso o defecto de carga o presión de los rodillos, desgarraduras de superficie, rebabas o escamas de laminación.

Las hendiduras, siendo defectos alargados en una dirección solamente en barras y perfiles, son siempre casi paralelas al eje de la barra. Una hendidura puede ser tan larga como la barra o perfil en la que ocurre, o bien la hendidura puede ser extremadamente corta de una pequeña fracción de pulgada. Las hendiduras pueden presentarse aisladamente o en grupos.

Algunas hendiduras o grietas son capaces de causar un fuerte cambio en la permeabilidad, cuando son de esta naturaleza son fácilmente localizadas por partículas magnéticas.



Fig. 26. Hendidura en una barra.

FALLA DE ORIGEN

GRIETAS DE ENFRIAMIENTO.- Estas ocurren en barras de acero aleado y para herramientas como resultado de un enfriamiento irregular desde la operación de laminado en caliente. Son generalmente profundas, aunque varían en profundidad a lo largo de su longitud.

La figura 27, muestra indicaciones de grietas típicas de esta naturaleza en una barra de acero aleado, nótese que la formación de polvo varía a lo largo de la longitud de la grieta y proporciona la información relativa de la profundidad de la grieta.



Fig. 27

La figura 28, muestra, la correlación entre profundidad y formación de polvo. La barra es de  $2\frac{1}{2}$  " de diámetro y la grieta en A, B, y C es de  $\frac{1}{8}$  ",  $\frac{1}{4}$  " y  $\frac{3}{8}$  " de profundidad respectivamente.



Fig. 28. Secciones a través de una grieta por enfriamiento mostrando profundidad.

FALLA DE ORIGEN





Fig. 21. Indicaciones de partículas magnéticas (vía húmeda): Grietas por enfriamiento brusco local después de estirado.

FALLA DE ORIGEN

CASCARILLAS O ESCAMAS EN PIEZAS FORJADAS.- En la figura 30, se ilustra un cigueñal conteniendo cascarilla de forja. este tipo de defecto tiene su origen en el tratamiento del metal después de la forja, durante el período de enfriamiento. En apariencia, las escaras o cascarillas son semejantes a las llamadas grietas en pedazos o fisuras transversales en barras. Se pretende que, en la mayoría de los casos, el control apropiado de la operación de enfriamiento evitará la formación de este tipo de defecto.

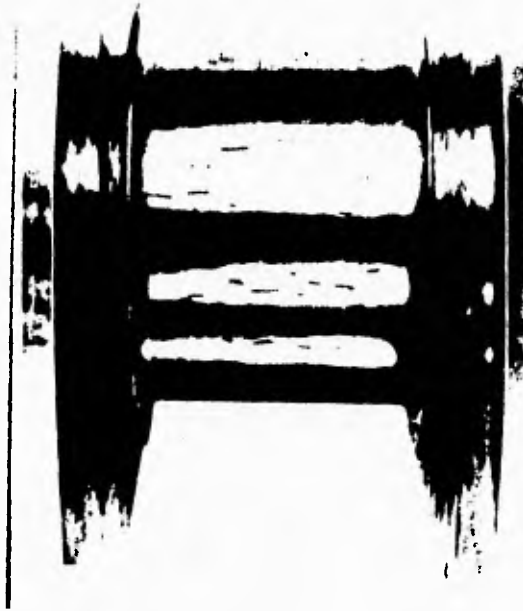


Fig. 30. Escaras (cascarillas u hojuelas) en un eje cigueñal.

FALLA DE ORIGEN

REVENTONES Y GRIETAS DE FORJA.- Las grietas o reventones de forja pueden ser causadas por el forjado a temperaturas bajas o muy altas, rápido o lento, y son simplemente el resultado de sobrecargar el metal cuando se halla en una condición en que no puede recibir el tratamiento. Estas grietas pueden estar sobre la superficie o en el interior de la pieza forjada y pueden presentarse en cualquier dirección, aunque usualmente están en ángulos recto respecto a la dirección de la formación del metal en el punto donde se presentan.



Fig. 31. Reventones sobre la superficie de una pequeña pieza de forja.

FALLA DE ORIGEN

GRIETAS DE TEMPLE.- A pesar de los métodos y aparatos mejorados, las grietas de temple no son raras, y pueden causar bastantes molestias dondequiera que se lleve a cabo tratamientos térmicos.

Las grietas de temple se presentan usualmente sólo en superficies duras, y los aceros en que se presentan suelen tener buenas características magnéticas. Esto, añadido al hecho de que estas grietas son agudas y comparativamente profundas, hacen su localización muy fácil. Pueden usarse máquinas horizontales, verticales, de C.C o C.A., así como los métodos húmedo y seco.

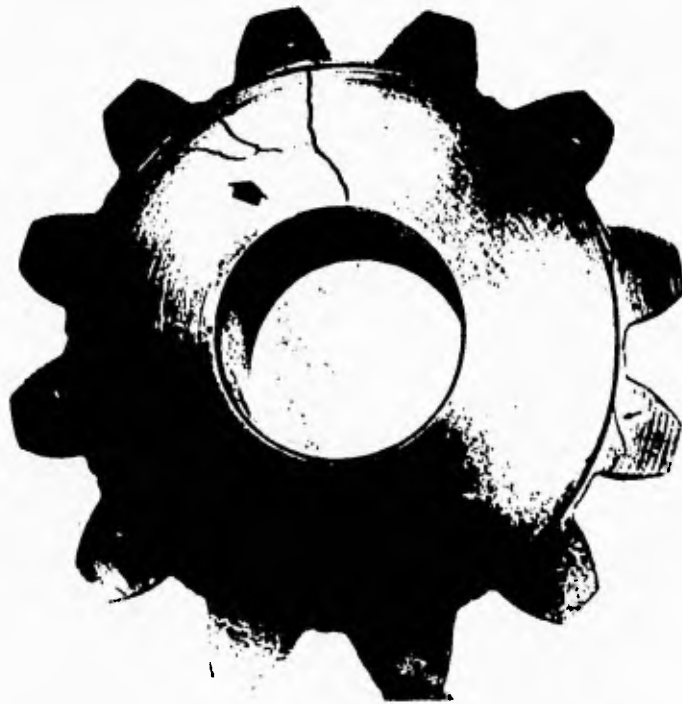


Fig. 32. Indicaciones (vía húmeda). Grietas de temple en un piñón.

FALLA DE ORIGEN



Fig.33. Agrietamiento de la capa endurecida por temple superficial en apoyo de cigüeñal.

FALLA DE ORIGEN

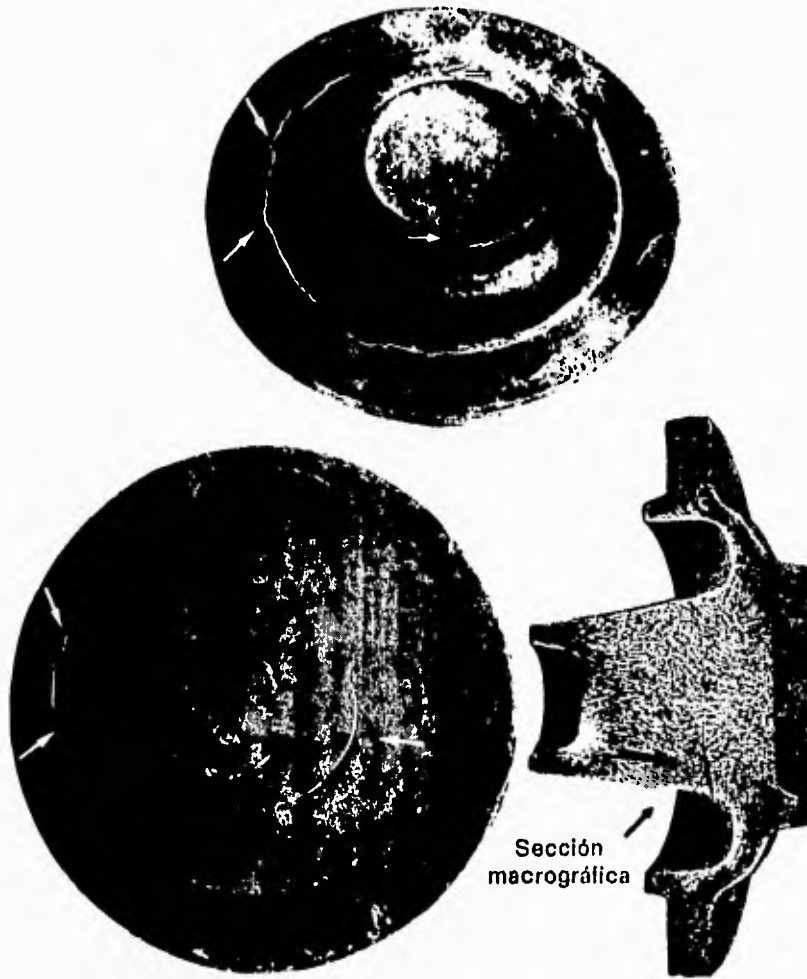


Fig. 34. Grietas de temple en discos de acero estampados.

FALLA DE ORIGEN

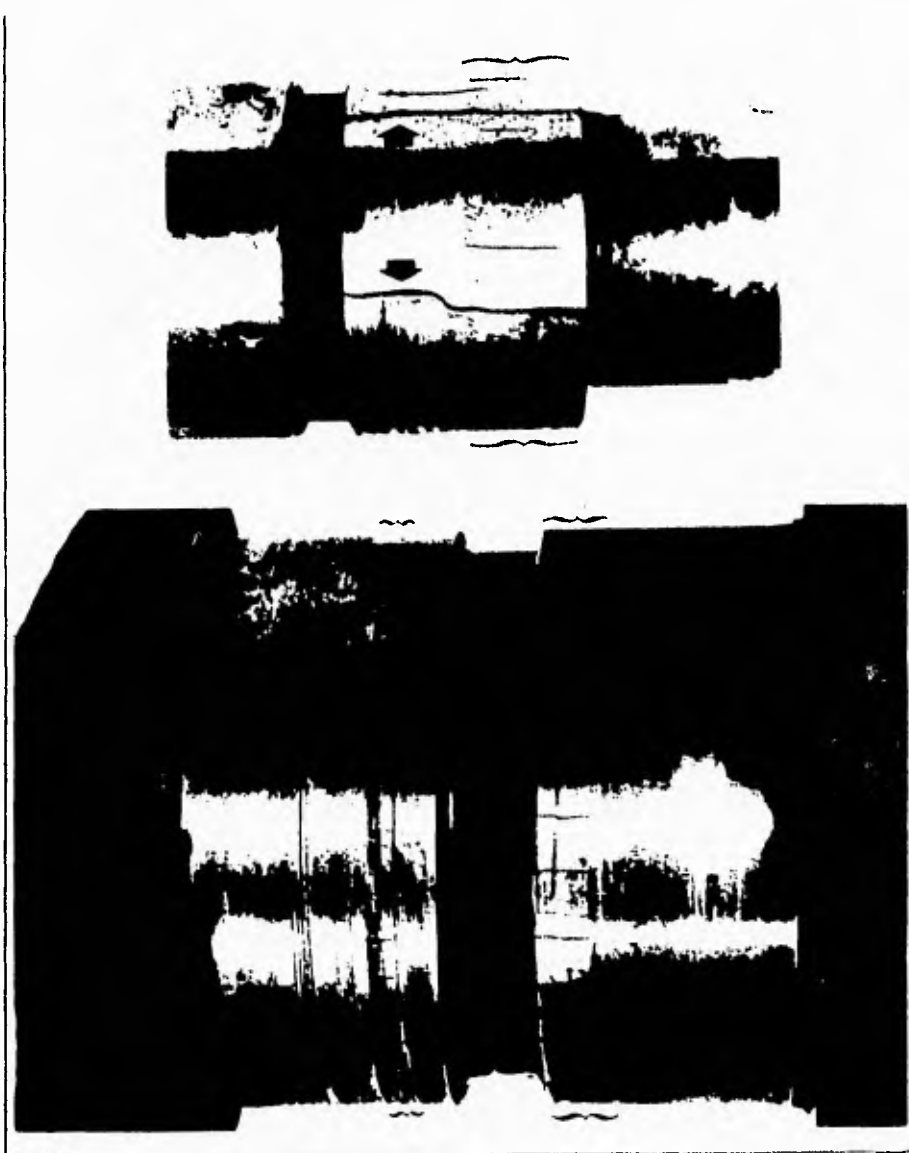
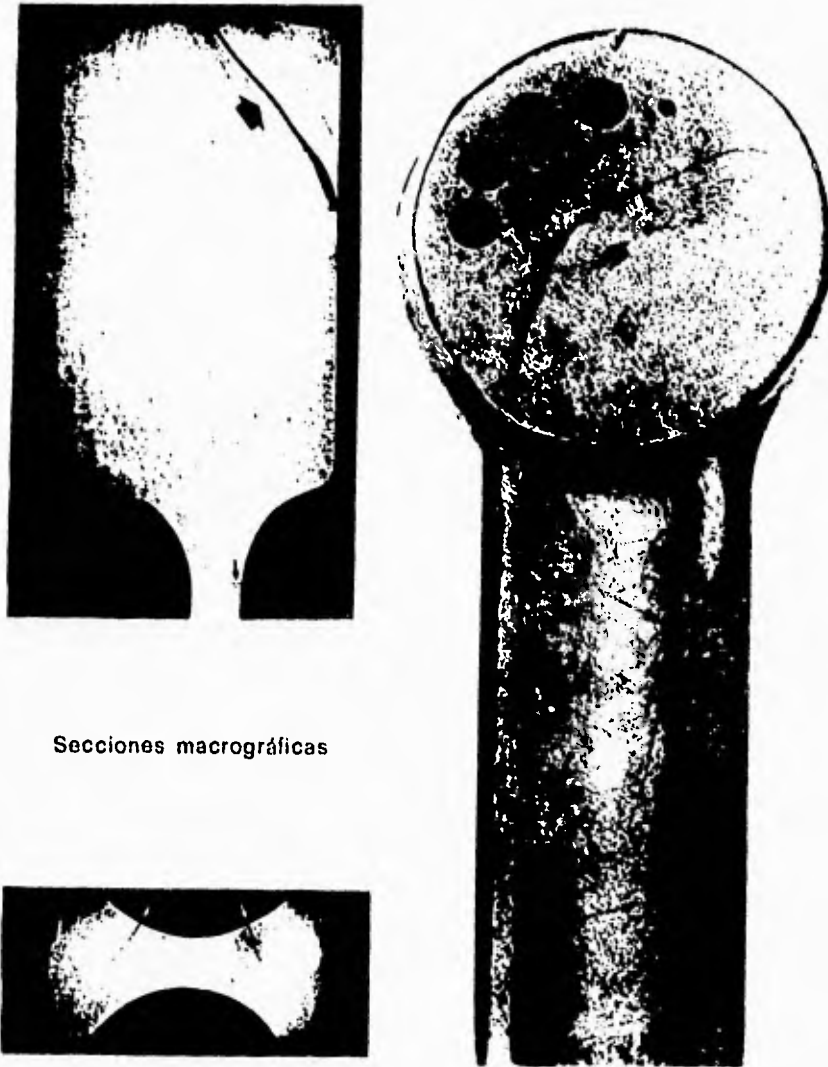


Fig.35. Agrictamiento de la capa endurecida por temple superficial en eje de cigüeñal.

FALLA DE ORIGEN



Secciones macrográficas

Fig. 36. Grietas de temple desarrolladas a partir de pliegues de forja, en una biela de motor alternativo.

FALLA DE ORIGEN



BOLSAS DE GAS EN PIEZAS DE FUNDICION.- Los defectos bajo la superficie en las piezas de fundición consisten en contracciones y porosidades o -- inclusiones de escorias. En este caso, el modelo es típico de los producidos más bien por discontinuidades extensas situadas no muy lejos debajo de la - superficie.



Fig. 47. Grietas de contracción en camisa de fundición gris.

FALLA DE ORIGEN

INCLUSIONES NO METALICAS.- Este tipo muy común de discontinuidades bajo la superficie es más comunmente encontrado en superficies muy pulimentadas inspeccionadas por el método húmedo de corriente continua.

Las indicaciones se parecen a las producidas por grietas de superficie ( agudas, fuertes, apretadamente adheridas ). Usualmente son perfectamente rectas y paralelas al eje en los productos cilindricos, y siguiendo el flujo del grano en las piezas de forja.

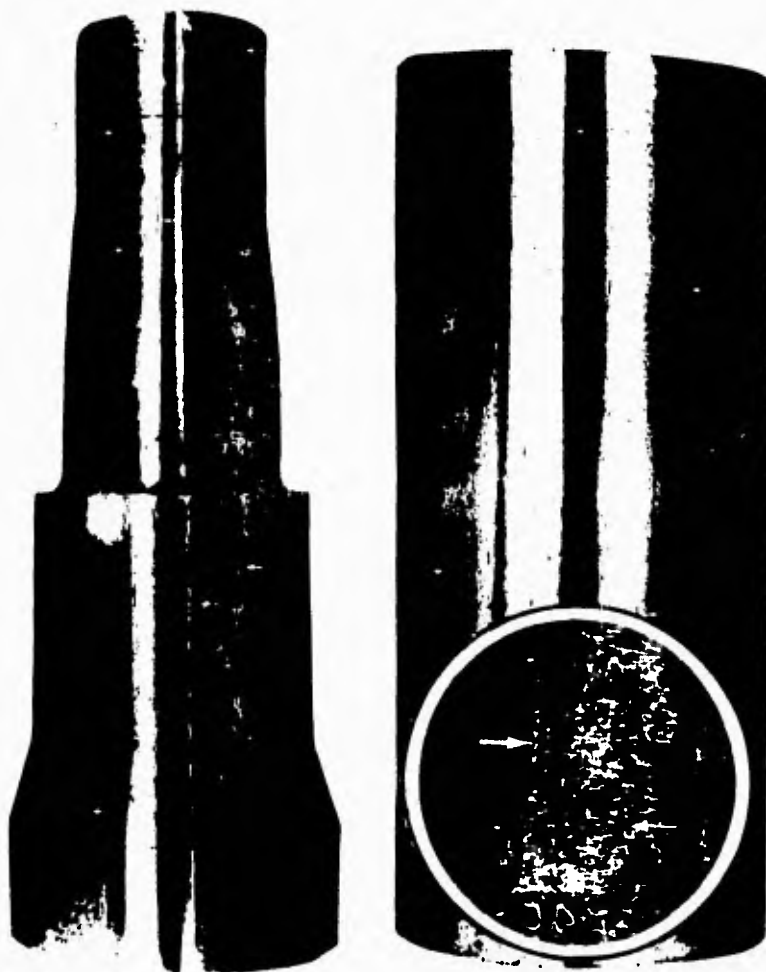


Fig. 46. Macroinclusiones no metálicas.

FALLA DE ORIGEN

**GRIETAS POR FATIGA.**- El principio de una grieta por fatiga, usualmente se encuentra en ranuras, y de su deformación puede ser responsable un gran número de causas. Una clase de muescas tiene su origen en golpes accidentalmente recibidos en su manejo, o en rasguños, raspaduras, etc. Otra clase de muescas tiene su origen en el diseño de la pieza, el cual puede ocasionar grietas por cambios agudos de sección o contorno, tales como filetes, raíces de rosca, orificios de engrase, chaveteros etc.

Los defectos metalúrgicos, tales como inclusiones de superficie, superficies descarbonadas o cambios de dureza, como en la zona entre periferia y núcleo de una pieza cementada, ocasionalmente responsables son de la fatiga subsiguiente. Aún existe otra clase de hendiduras asociadas al procesamiento, y en ella se incluyen las señales de amolado, surcos de las operaciones de mecanización, señales de lima, calados, rebabas, grietas de temple, grietas de rectificado, solapaduras y reventones de forja. Desde el punto de vista de investigación a los fallos por fatiga, una condición localizada, se llama " concentradora de esfuerzo ". Las piezas que presentan concentraciones de esfuerzo no fallan bajo una carga simple o pocas cargas en un servicio normal, se presentan después que estas cargas se han repetido cientos o miles de veces, y el núcleo de la grieta de fatiga está casi siempre en la superficie.



Fig.41. Grietas por fatiga en un engranaje de motor de aeroplano.



Aspecto de ambas superficies de la fractura

Fig. 45. Grieta de fatiga incubada en el acuerdo del fondo del del estriado del árbol portahélice de un cigüeñal.

FALLA DE ORIGEN

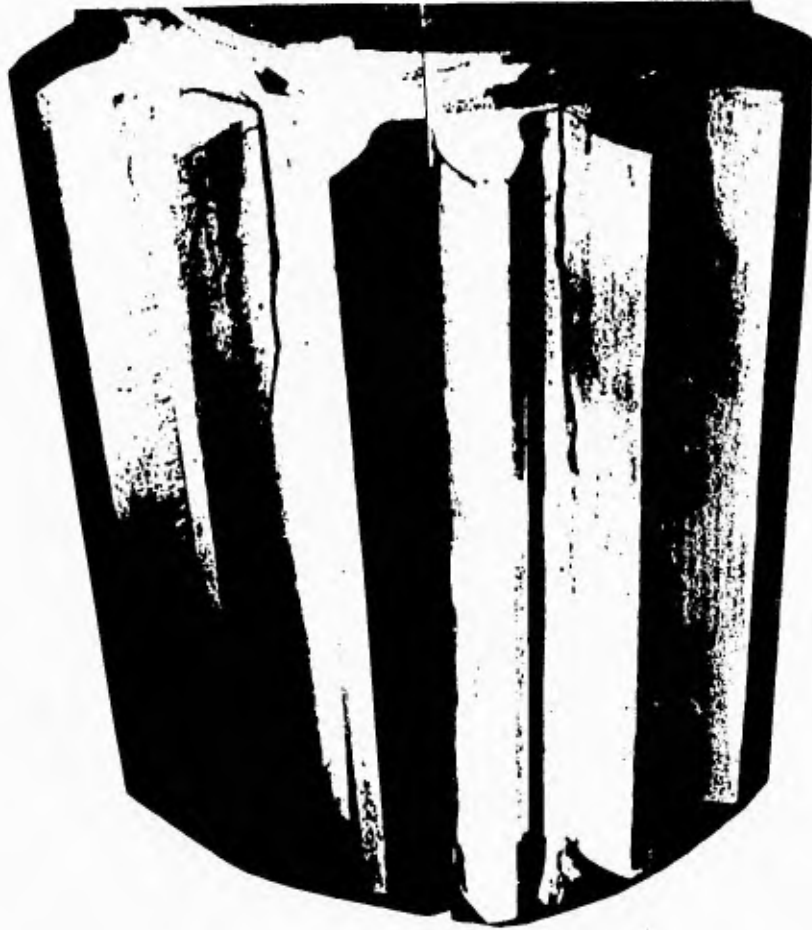


Fig. 44. Grietas de fatiga en acuerdos de dientes de engranaje.

FALLA DE ORIGEN

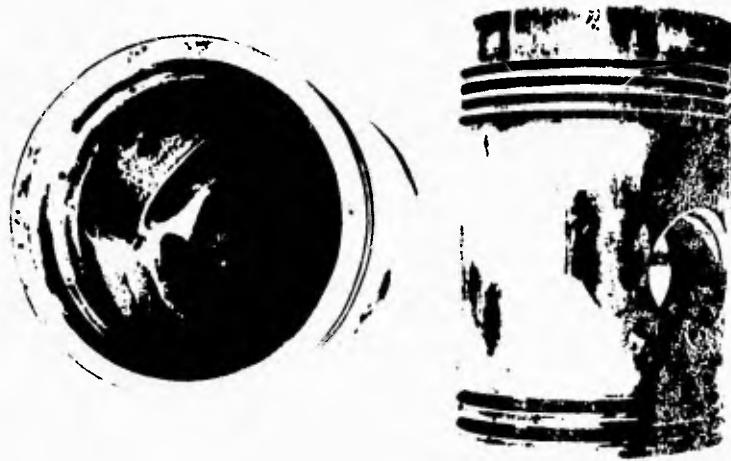


Fig. 42. Vista interior y exterior de un pistón agrietado de un motor de autobus.



Fig. 43. Grieta por fatiga en un eje de locomotora.

FALLA DE ORIGEN

GRIETAS POR ESMERILADO.- Las grietas por esmerilado son esencialmente grietas térmicas, y están relacionadas con las del tratamiento térmico o temple en varios modos. Son causadas por tensiones producidas localmente en materiales templados, debidas al recalentamiento por la fricción del esmeril.

Pero, puesto que el factor humano está incluido suceden las grietas por esmerilado. Son muy agudas en el fondo, y aunque pueden ser poco profundas, son extremadamente peligrosas en superficies sometidas a esfuerzo.

Las superficies templadas pueden conservar tensiones internas desde la operación del temple que no sean bastante grandes para causar el agrietamiento al momento de templar. Tales superficies son altamente sensibles al agrietamiento durante la operación de esmerilado, ya que los aumentos de tensión, relativamente pequeños, añadidos localmente bajo la fricción del esmeril, pueden causar la ruptura añadidos a las tensiones internas ya existentes.

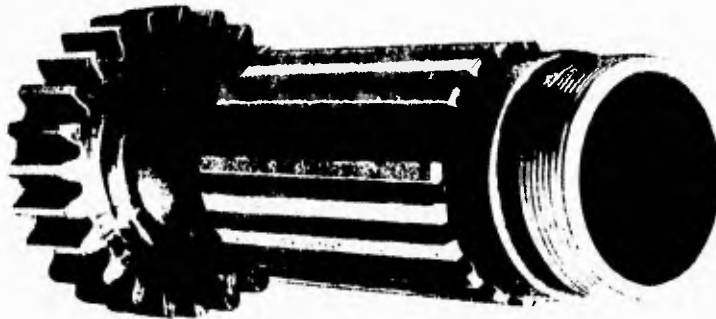


Fig. 39. Grietas por esmerilado, en un engranaje.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 40. Modelo de grieta de esmerilado sobre una placa de retención.

FALLA DE ORIGEN



GRIETAS DE SUPERFICIE EN SOLDADURAS.- La operación de soldar también da ejemplos de agrietamientos debidos a los cambios de temperatura. El agrietamiento de superficie en las soldaduras no es el más común de los tipos de defectos en soldaduras, pero en soldaduras de importancia sí es el tipo más peligroso, cuando ocurre. Tales grietas se producen durante el enfriamiento de la soldadura, y, dependiendo de circunstancias, pueden ocurrir en cualquier dirección sobre el cordón de la soldadura, aunque más frecuentemente son paralelas al mismo.

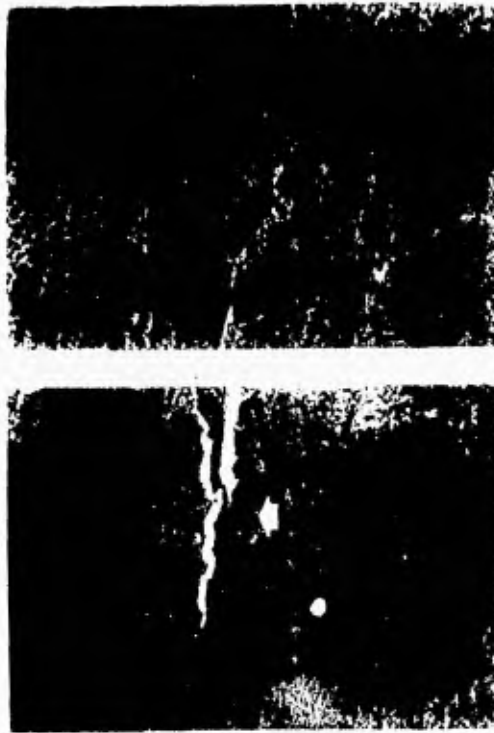


Fig. 38. Comparación de la sensibilidad obtenida mediante partículas magnéticas por vía húmeda (foto superior) y por vía seca (foto inferior) en las indicaciones de grietas de contracción en una unión soldada reparada.

FALLA DE ORIGEN

## DESGARRADURAS POR CALOR Y GRIETAS TERMICAS EN PIEZAS DE FUNDICION.-

Otra forma de grietas térmicas son aquellas desgarraduras por calor y otras grietas de superficie que se presentan en piezas de fundición a causa del enfriamiento no uniforme, resultante de esfuerzos que rompen la superficie del metal mientras que por su temperatura están aún en estado quebradizo. - Otras grietas semejantes son simplemente el resultado de esfuerzos elevados por el más rápido enfriamiento de secciones delgadas unidas a masas de metal más pesadas, que son más lentas en su enfriamiento.



Fig. 37. Grietas de dilatación en cilindro de refrigeración de fundición gris unido a un molde de colada de vidrio.

FAJIA DE ORIGEN

APLICACION DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS A  
PIEZAS Y EQUIPOS DEL SECTOR INDUSTRIAL

PRESENTACION DE CASOS REALES.

- a).- Aplicación en el control de calidad de materiales.
- b).- Su uso en la soldadura.
- c).- Su utilización en el análisis de fallas.

EJEMPLO 1.- INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS DE BIELAS DE ACERO  
1541 POR UN SISTEMA MULTIDIRECCIONAL.

La aplicación en el control de calidad de bielas para pistones de motor fueron manufacturadas de acero 1541 por forja cerrada. Debido a que las bielas usadas en los pistones de motor están sujetas a esfuerzos considerables, es necesario asegurar la integridad de estas partes, especialmente en aplicaciones en automóviles de alto rendimiento. Por ello, la inspección de partículas magnéticas fluorescentes de estas piezas se realizó inmediatamente después de que alguna capa indeseable o polvos se removieran mediante granallado con arena. Campos magnéticos (longitudinales y transversales) bidireccionales fueron generados rápida y secuencialmente mediante una máquina de magnetización multidireccional (fig. 48). El uso de esta máquina permitió que en una sola inspección se detectaran todas las discontinuidades, no importando su orientación.

El proceso de elaboración de estas bielas usualmente resulta con defectos orientados longitudinalmente, aunque ocasionalmente pueden provocarse fallas transversales. De interés primordial para la inspección son los "puntos calientes" a lo largo de la línea de ajuste y pliegues de metal o dobleces en el área lateral. La herramienta usada en sobrecalentamientos o

zonas de baja temperatura de piezas forjadas así como ajustes impropios son las causas primarias de estos defectos.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCION.- La inspección de estas bielas se realizó mediante un sistema multidireccional, y el procedimiento fué el siguiente. Inicialmente las bielas fueron ajustadas neumáticamente en las cabezas de contacto (fig. 48) y entonces se inundaron con una suspensión de partículas magnéticas fluorescentes. Los campos magnéticos se indujeron mientras la suspensión fué drenada de las partes.

Las corrientes empleadas para la magnetización circular fueron de 1000 A, mientras que la de magnetización longitudinal fué equivalente a 4500 A/vuelta. La corriente de magnetización se ajusta automáticamente revelando cualquier imperfección, independientemente de su orientación.

La inspección de las piezas forjadas fué realizada bajo luz ultravioleta de no menos de 2700 Angstroms en la superficie de la pieza. Para completar la inspección, la pieza fué desmagnetizada de modo que las virutas del metal no se adhieran a la superficie durante subsecuentes operaciones de maquinado. La principal desventaja de este proceso de inspección fué que la velocidad de producción fué limitada debido a que se trató de un proceso manual.

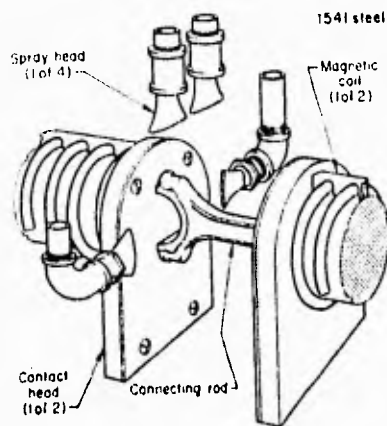


Fig. 48

EJEMPLO 2.- USO DEL METODO DE PARTICULAS MAGNETICAS DURANTE LA  
INSPECCION DE ARTICULACIONES DE DIRECCION DE ACERO 1046

La articulación de dirección para automóvil de acero 1046 (fig. 49) son elaboradas como partes que requieren una condición de integridad extremadamente elevada. En una planta a fin de conseguir un grado adecuado de control de calidad, el 100% de las articulaciones de dirección fueron evaluadas no destructivamente empleando tres diferentes técnicas: a).- comparación electromagnética, b).- Ultrasonido, c).- inspección por partículas magnéticas fluorescentes.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCION.- Todas las articulaciones de dirección fueron inspeccionadas por partículas magnéticas luego de la valoración electromagnética y el ultrasonido. Las articulaciones de dirección fueron magnetizadas colocandolas entre las placas de contacto inundadas con la suspensión de partículas magnéticas y observando con luz ultravioleta de intensidad de 2700 Å mínimo. Las articulaciones de dirección son entonces transportadas por medio de bandas a una bobina magnetizante para magnetizar en la otra dirección, de manera que discontinuidades circunferencialmente orientadas puedan detectarse bajo una segunda revisión empleando luz ultravioleta. El empleo de esta técnica colaboró de modo significativo a la detección de fallas internas y externas.

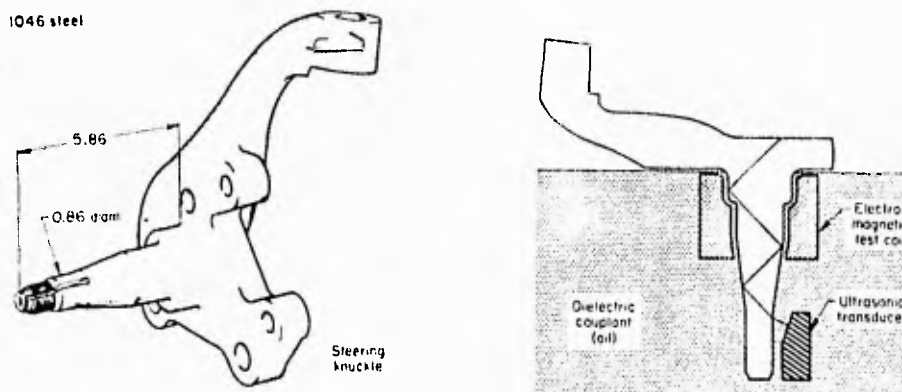


Fig. 49

EJEMPLO 3.- INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS DE UNA VIGA  
SOLDADA PARA UNA GRUA AEREA.

La viga soldada para una grua aerea (fig. 50a) fué inspeccionada mediante partículas magnéticas en presencia del comprador.

La fabricación de la soldadura fué completa y fué limpiada mediante chorro de arena como preparación para ser pintada. El método de magnetización continuo con polvo seco se empleó con corriente de media onda. La corriente usada fue de 3.9 a 5.9 A/mm. La inspección de los cordones de soldadura en las puntos donde se unen las placas superior e inferior con las laterales (sección A-A fig. 50) así como todas las soldaduras de la parte superior, inferior y lateral, así como las orillas de las placas superior e inferior también se revisaron buscando discontinuidades. Así mismo todos los puntos de contacto sobre la viga fueron realizados para asegurar un buen contacto (fig. 50 b).

Durante la inspección por partículas magnéticas de la soldadura, los puntos fueron alterados a uno y a otro lado de la soldadura. Una "magnetografía" de flujo magnético durante la inspección en el sitio donde se unen la placa superior y una lateral se puede ver en la figura 50 b. La inspección de las orillas de las placas superior e inferior se realizó mediante la colocación de los puntos paralelos a la soldadura con contactos en los bordes de la placa ( fig. 50 c). Se encontraron discontinuidades longitudinales tanto en la placa como en la soldadura.

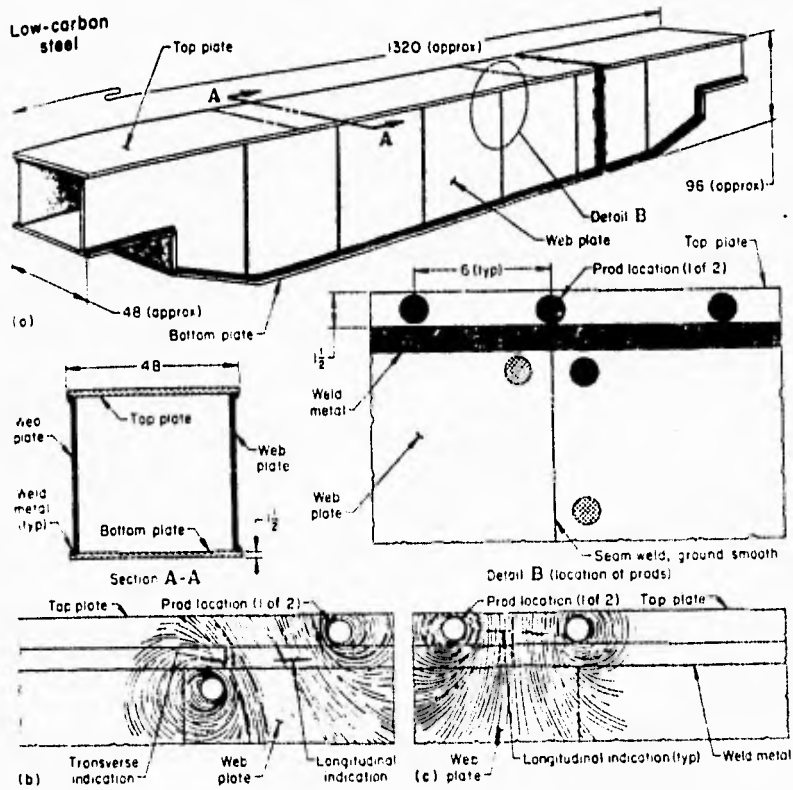


Figura 50

FALLA DE ORIGEN

EJEMPLO 4.- FRACTURA FRAGIL DE CARCASA DE UN MOTOR A REACCION  
ORIGINADO POR GRIETAS DE TEMPLE.

La carcasa del motor a reacción mostrado en la fig. 51 falló durante la prueba de presión hidrostática. Las especificaciones requieren que la carcasa soporte 5780 KPa, pero esta vez soportó 3500 KPa.

FABRICACION.- La carcasa del motor fué elaborada mediante refusión en vacío con electrodo consumible de un acero D6ac de la siguiente composición:

ELEMENTO	COMPOSICION, %
Carbono	0.47
Manganeso	0.75
Silicio	0.22
Cromo	1.05
Níquel	0.55
Molibdeno	1.00
Vanadio	0.11
Hierro	rem

El casco delantero y el adaptador en popa se elaboraron mediante partes forjadas y maquinadas. Los cinco cilindros fueron hechos por un torno con cuchilla en frío de preformas forjadas, maquinadas y esferoidizadas. Los cilindros fueron recocidos después del torneado y antes de la soldadura. Todos los componentes fueron unidos mediante un cinturón de soldadura usando el proceso Tig. No hubo rebabas longitudinales. La carcasa del motor a reacción tenía 7.6 m. de longitud y 1.5 m. de diámetro y un espesor regular de 4.6 mm. en los cinturones de soldadura y 3.8 mm. en otros sitios.



Después de que ensamblaron las carcasas del motor, fueron tratadas termicamente mediante el siguiente proceso: precalentamiento a 480 °C, estabilización a 705 °C por 4 horas, austenitización a 900 °C durante 30 min., enfriamiento en el horno a 845 °C y mantenimiento a esta temperatura durante 30 min., enfriamiento rápido en baño de sales a 205 °C durante 20 min., --- enfriamiento en aire a 50 °C, lavado en agua caliente y secado en aire, re--- venido a 315 °C durante 4 hrs., enfriamiento al aire, revenido final a 550 °C, y enfriamiento al aire. Transcurrió un intervalo de 6 hrs. entre el inicio del enfriamiento rápido y el inicio del revenido a 315 °C. Por alrededor de 4 ½ hrs. de las 6 indicadas, la carcasa se dejó parada sobre su parte trasera, y esperando para ser metida al horno.

El revenido a 315 °C tiene la intención de impartir la suficiente - ductilidad a la carcasa del motor de modo que pueda ser fijado mediante una serie de arañas ajustables (mecanismos) y apoyos que ajusten la carcasa a - las dimensiones finales. El revenido a 550 °C tuvo un doble propósito, desar- rollar las propiedades requeridas del material y actuar como una operación de optimización del revenido. Los intentos para eliminar el revenido a 315 °C a fin de efectuar uno a 220 °C en el mismo baño de sales usado para el enfria- miento no fueron exitosos con otras partes. Aunque el revenido a 220 °C - otorga alguna ductilidad, pero esta no es suficiente para preveer el agrie-- tamiento durante la instalación de los accesorios enderezados por temple.

La dureza final de la carcasa del motor a reacción fué 45 a 50 RC. La "costra" de revenido fué removida por un granulado abrasivo ligero.

Cuando se realizó el examen visual de la pieza fallada, se encontró una fractura frágil originada en la porción elíptica del casco delantero y propagada circunferencialmente, entonces propagada radialmente hacia el ci- lindro adyacente (fig. 51 a). Las etapas finales de la propagación de grietas muestra síntomas de fractura dúctil.

La inspección por partículas magnéticas de toda la carcasa reveló un patrón de pequeñas grietas circunferenciales sobre la superficie exterior circundando la orilla del casco delantero y el primer cilindro. Las grietas se extendieron en un patrón hasta alrededor de la mitad de la circunferencia del adaptador de popa no habiendo grietas en los 4 cilindros restantes.

Para completar este análisis se efectuaron ensayos de microdureza que mostraron algunos síntomas de descarbonación, lo cual se interpreto como una muestra de que el agrietamiento ocurre con posterioridad a la austenitización; lo cual se corroboró mediante estudios metalográficos. Adicionalmente se encontraron otros datos mediante difracción de R-X, acerca del nivel de austenita retenida. Por su parte, el análisis químico mostró un contenido de carbono de 0.47 a 0.5 %, ligeramente superior al 0.44-0.46% de C esperado, lo cual mostró (en pruebas de doblado) mayor susceptibilidad a la fractura de los aceros con mayor porcentaje de carbono.

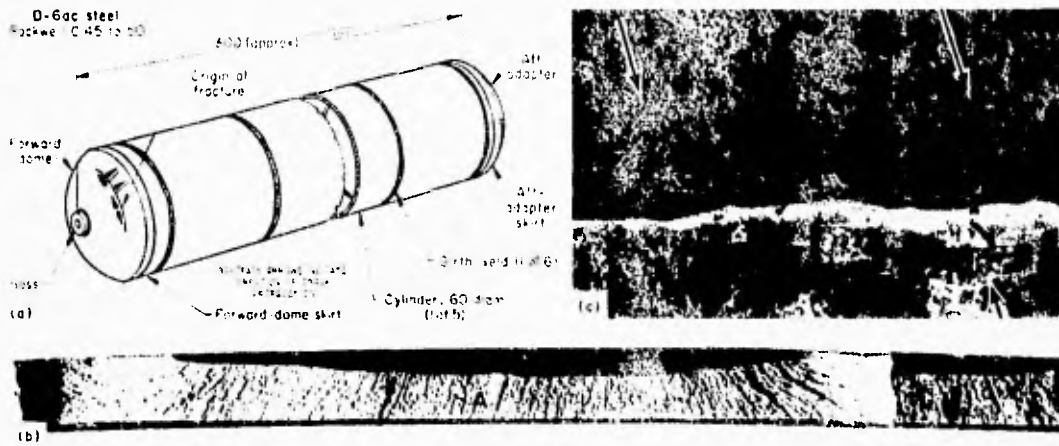


fig. 51

FALLA DE ORIGEN

A partir de estos resultados se plantea que la fractura frágil de este componente durante la prueba de presión hidrostática, se originó a partir de grietas pre-existentes en la porción elíptica del casco delantero. Los patrones de las grietas pre-existentes a lo largo de la ruta de encordamiento en el casco y en bandas circunferenciales en el primer cilindro y el adaptador de popa fueron el resultado de agrietamientos durante el temple.

El mecanismo más viable es la transformación isotérmica de austenita retenida a martensita bajo la influencia de esfuerzos residuales provenientes de esfuerzos que son producto del enfriamiento rápido. Así pues la recomendación es modificar el tratamiento térmico.

ANEXO A.- CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE  
ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO		FINALIDAD DEL ENSAYO		
BÁSICAS	VARIANTES			
Sistemas de magnetización	Magnetización por imanes	Imán permanente Yugo magnético (Electroimán)	Aplicable, en gral., para ensayos por zonas en piezas grandes y soldaduras	
	Magnetización por corriente eléctrica	Magnetización circular	Paso de <u>A través de la muestra</u> cte. <u>A través de un conductor coaxial a la muestra</u> Por inducción	Detección de discontinuidades en dirección de la corriente (Longitudinales)
		Magnetización longitudinal	Solenoides <u>Fijo</u> <u>Móvil</u> Electroimán	Detección de discontinuidades transversales a las líneas de fuerza (Transversales)
		Magnetización multidireccional		Magn. de piezas grandes de geometría compleja
	Tipos de corriente	Alterna		Detección de discontinuidades superficiales
		Continua		Detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales
		Alterna monofásica semirectificada		Detección de discontinuidades subperf. (gran sensibilidad)
		Alterna monofásica totalmente rectificada		Detección de discontinuidades subperf.
		Alterna trifásica totalmente rectificada		Detección de discontinuidades subperf.
	Tiempo de magnetización	Sin prefijar		Examen de muestras de distinta geometría
		Con temporizador		Examen de grandes series
	Instalaciones	Universales	Portátiles <u>Imanes</u>	Examen por zonas en piezas
			Fijos <u>Electrodos de contacto</u>	
			<u>Corriente eléctrica</u> <u>Electroimán</u>	Examen de muestras pequeñas y medianas
		Especiales	Automáticas	Aplicables a grandes series

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO				
BASICAS	VARIANTES		FINALIDAD DEL ENSAYO	
Modo de aplicación	Por vía seca	Manual (espolvoreando) Equipos especiales (de aire de baja vel.)	Detección de discontinuidades subsuperficiales (gran sensibilidad)	
	Por vía húmeda	Riego Inmersión	Detección de discontinuidades superficiales finas (gran sensibilidad)	
Características de las películas magnéticas	Tamaño	Gruesas	Vía seca Detección de discontinuidades grandes subsuperficiales	
		Finas	Vía seca y húmeda Detección de discontinuidades finas y grandes superficiales	
	Forma	Mezcla de gruesas y finas		Formación lenta y difusa de indicaciones
		Redondeadas		Formación rápida y definida de indicaciones
		Alargadas	Vía seca y húmeda	Formación aceptable de indicaciones (±\$)
	Permeabilidad magnética	Mezcla de redondeadas y alargadas		Formación rápida de indicaciones (gran def.)
	Fuerza coercitiva	Elevada		(gran contraste) Form. de indicaciones
	Retentividad	Baja	Vía seca	Evita aglomeración de partículas
		Media	Vía húmeda	Evita formación de grumos (coagulación)
	Movilidad	Grande		Form. rápida de indicaciones (gran nitidez)
Visibilidad y Contraste	Coloreadas	Crises	Vía seca y húmeda Aplicables a todo tipo de muestras	
		Fojas		
	Negras			
	Fluorescentes	Amarillo verdoso	Vía húmeda Optima visibilidad y contraste	
Secuencia de aplicación	Continuo		Aplicables a muestras de baja retentividad	
	Residual		Aplicables a muestras de elevada retentividad	
Sistemas de desmagnetización	Unidades	Fijas	Corriente alterna de 50 Hz Corriente alterna de 10 Hz o menor Eliminación del magnetismo residual	
		Portátiles	Corriente alterna Eliminación de polos magnéticos muy localizados	

ANEXO B .- EJEMPLOS ADICIONALES SOBRE DISCONTINUIDADES  
QUE SE PUEDEN DETECTAR MEDIANTE LA APLICACION  
DEL ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.



Fig. 1. Grieta en eje cigüeñal

Aumentado 100 veces.

En la ilustración superior de la figura 1 se muestra una indicación por partículas magnéticas sobre un eje cigüeñal de motor de aviación. En la fotografía inferior está una sección del defecto mostrado aumentado 100 --- veces. Esta indicación, la cual está aproximadamente a  $90^\circ$  con el flujo es--perado del grano, muestra una condición más seria que una inclusión de esco--ria. El examen reveló una grieta de 0'0195" de profundidad. Este eje fué re--chazado por no ser considerado útil para el servicio.

FALLA DE ORIGEN





Fig. 2. Barra articulada.



Aumentado 100 veces.

La figura 2 muestra una barra articulada. La sección a 100 aumentos, revela contener la barra una hendidura que tiene un ancho máximo de unas -- 0'019". Esta pieza no fué considerada utilizable.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 3. Casquillo de pistón.

Aumentado 100 veces.

La ilustración superior en la figura 3 muestra un casquillo de pistón, aproximadamente a 11/16 de su tamaño. El examen cercano mostró ser la hendidura de carácter sub-superficial y, hecha la sección, se encontró situada a 0'015" debajo de la superficie. El mayor diámetro de la grieta era de 0'0025" y este casquillo había sido considerado útil.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 4. Ferno de arrastre de leva.

Aumentado 100 veces.

La figura 4 ilustra un perno de arrastre de leva a, aproximadamente, 5/8 de su tamaño. La sección aumentada 100 veces, muestra una grieta definida de 0'12" de profundidad, la cual será considerada un defecto muy dañino y - que podría inutilizar la pieza.

FALLA DE ORIGEN



Fig.5. Flatillo de volante de C.



Aumentado 100 veces.

La figura 5 muestra un platillo de volante de cigüeñal aproximada---  
mente 11/16 de su tamaño, conteniendo una grieta de 0'16" de profundidad en  
el sitio señalado. Esta pieza será considerada inservible.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 6. Acoplamiento de S. de eje.



Aumentado 100 veces.

La figura 6 muestra un acoplamiento de sincronización de eje de magneto, aproximadamente a 11/16 de su tamaño. Una grieta radical fué tomada a través de una de las numerosas grietas en la pestaña. La grieta es de 0'018" de profundidad. Esta pieza no fué considerada útil.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 7. Piñón de mando de engrane.

Aumentada 100 veces.

La figura 7 muestra una indicación encontrada en un piñón de mando de un engranaje de reducción. La sección vista, revela una pequeña grieta de 0'018" de longitud. Esta grieta era interior y se encontró a 0'020" debajo de la superficie. Este defecto no fué considerado suficiente para rechazar la pieza.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 8. Contratuercas de empuje.



Aumentado 100 veces.

La figura 8 muestra una gran contratuercas de empuje de eje propulsor aumentado aproximadamente  $1 \frac{1}{5}$  veces. La sección muestra ser una solapa la cual, en este caso, no justificaría bastante daño para ser rechazada.

FALLA DE ORIGEN

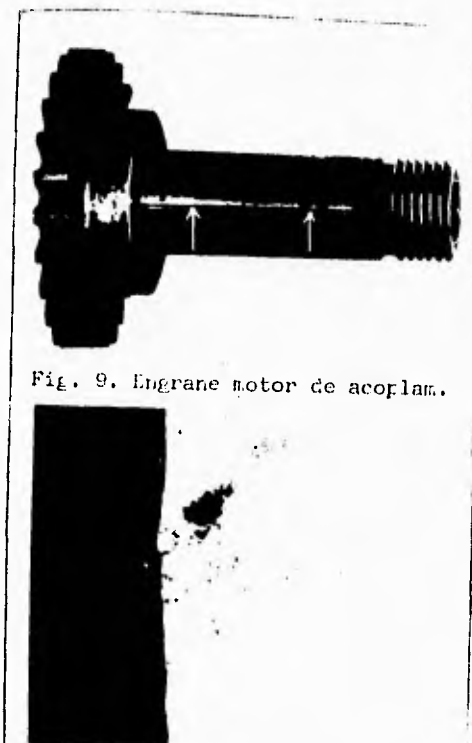


Fig. 9. Engrane motor de acoplamiento.

Aumentado 100 veces.

La figura 9 muestra una indicación longitudinal aparecida en un engranaje motor de acoplamiento. En este engranaje fueron encontradas vetas de escoria y la ilustrada tenía un máximo diámetro de 0'0043". Esta pieza sería considerada útil.

FALLA DE ORIGEN





Fig. 10. Articulación de cigüeñal.



Aumentado 100 veces.

La figura 10 muestra una articulación de cigüeñal a 1/2 tamaño aproximadamente. Se encontró una inclusión de escoria, que resultó ser de carácter sub-superficial. Su mayor diámetro era de 0'007" y la profundidad era de 0'007". Esto no sería considerado dañino, y este eje podría ser puesto en servicio con una esperanza de vida normal.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 11. Engrane de cigüeñal.

Aumentado 100 veces.

La figura 11 ilustra un engranaje de cigüeñal a su tamaño aproximado con una grieta de unas 0'0175" de profundidad. Esto no podría ser considerado aceptable.

FALLA DE ORIGEN



Fig. 12. Acoplamiento de cigüeñal.



Aumentado 100 veces.

La figura 12 ilustra un acoplamiento de cigüeñal aumentado  $1 \frac{1}{4}$  veces aproximadamente. La sección mostrada tenía una profundidad aproximada de 0'021". La presencia de estos contratiempos en casi cualquier área templada podría ser considerada suficiente causa para rechazar la pieza.

FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

Es de vital importancia tener presente cual es el uso más valioso del método de partículas magnéticas en la inspección de los materiales para tener un mejor control de calidad. Así como para aquellas piezas que han -- salido de fabricación como las que han estado en servicio, el objetivo de -- aplicar el ensayo es con el fin de no rechazar el material inservible, sino en la ayuda a localizar la causa de las fallas que detecta, a fin de que los procedimientos puedan ser corregidos o los diseños mejorados para que en el futuro pueda ser evitada la ocurrencia de defectos similares.

Es extremadamente importante que los operarios asignados a tal tra-- bajo sean cuidadosamente escogidos, adecuadamente entrenados y estrictamente supervisados y deben tener la oportunidad de ver la operación de arreglo de las áreas que ellos hayan inspeccionado, de modo que ellos puedan saber, -- exactamente lo que causó la indicación que localizaron sobre o por debajo de la superficie de la pieza. De este modo adquieren una experiencia que los -- hace más capaces de reconocer modelos significativos con futuras evaluaciones de materiales.

El ensayo de partículas magnéticas es uno de los métodos de pruebas no destructivas que se pueden manejar con cierta sencillez, siendo también uno de los más accesibles por su bajo costo de operación, de instalación así como de sus accesorios.

Sabemos que al aplicar el ensayo de partículas magnéticas obtendre-- mos un resultado satisfactorio que nos revelará todas las discontinuidades que pueda perjudicar la vida útil de las piezas.

Así mismo siempre deseamos la máxima sensibilidad en un ensayo de partículas magnéticas, pero entonces tenemos que conocer información de la pieza a examinar esto es, que tratamiento ha tenido así como sus propiedades y características, cual es el destino final de la pieza. Que será más factible y bajo que condiciones debo utilizar mi equipo para determinada pieza. Y estar ya familiarizado con el manejo del equipo de partículas magnéticas, - entonces saber como y cuando es preciso manejar y aplicar los diversos factores que han de ayudar a obtener un resultado confiable con la máxima sensibilidad. Entre los cuales podemos mencionar que tipo de corriente C.A o C.D, polvos secos o húmedos dependiendo de mi tipo de pieza así como la permeabilidad que puedan presentar, etc. Recordando siempre y como se ha mencionado en un principio el ensayo de partículas magnéticas sólo es aplicable a materiales ferromagnéticos, con una gran cantidad de aceros de uso frecuente y amplio en la industria.

Este es un trabajo en el cual se pretende dar un apoyo del concepto de lo que es el ensayo de partículas magnéticas. Su importancia y práctico manejo hacen de este método que hoy en día sea uno de los más utilizados y por esta razón es el que se haya adoptado el introducirlo a la facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. como un apoyo para su uso didáctico, para el conocimiento y desarrollo de los futuros ingenieros de nuestro país, en un contexto donde la competitividad sustentada en el logro de una calidad óptima cada vez se vuelve más importante.

## BIBLIOGRAFIA

- Metals Handbook  
Nondestructive Evaluation and Quality Control. Vol. 17  
Editorial. ASM International.  
Ninth Edition.
  
- Metals Handbook  
Failure Analysis and Prevention. Vol. 11  
Editorial. ASM International.  
Ninth Edition.
  
- Pruebas no destructivas para soldadura industrial.  
Migue Angel Espinoza Hernández  
I.P.N. 1993.
  
- Introducción a los ensayos no destructivos.  
ICAEND, S.C 1994.
  
- Información técnica de la empresa LLOG  
Alta Tecnología en Ensayos no Destructivos.