



# **PARTICULAS MAGNETICAS**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# Partículas Magnéticas

## Contenido

1. CAPITULO I: ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
  - Elementos de Electricidad y Magnetismo
  - Magnetismo
  - Inducción Electromagnética
2. CAPITULO II: CAMPOS MAGNETICOS
  - Fuerza Imanadora
  - Orígenes de los Campos Magnéticos
  - Densidad de Flujo
  - Campo de Fuga
3. CAPITULO III: METODOS DE IMANACION Y CONSIDERACIONES SOBRE INTENSIDAD DEL CAMPO
  - Métodos de Imanación
  - Intensidad de Campo Magnético
4. CAPITULO IV: EJECUCION DE LA INSPECCION
  - Procedimiento de Inspección
  - Preparación de la Pieza
  - Selección del Método o Técnica

# Partículas Magnéticas

## Contenido

5. CAPITULO V: INTERPRETACION DE INDICACIONES, DESIMANACION Y LIMPIEZA FINAL
  - Interpretación de Indicaciones
  - Desimanación
6. CAPITULO VI: INFORMES, REGISTROS Y TECNICAS TIPICAS
  - Informes
  - Registros
  - Técnicas Típicas
7. EQUIPO Y MATERIALES PARA LA INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETICAS
  - Introducción
  - Equipo Imanante
  - Luz Negra
  - Partículas Magnéticas
  - Seguridad Operativa



# **LA ELECTRICIDAD Y LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

## **Capitulo I**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# Elementos de Electricidad y Magnetismo

La electricidad y el magnetismo no pueden verse. Se dejan sentir solamente por los efectos que producen tales como producción de luz y calor o por la atracción o movimiento de materiales. Se miden por medio de estos efectos, efectos que constituyen los fenómenos en los que se basa la inspección por partículas magnéticas.

**Electricidad:** Una corriente eléctrica es el movimiento de electrones y la fuerza electromotriz (fem) es cualquier presión que pone estas partículas en movimiento o que detiene su movimiento. Las fuerzas electromotrices pueden generarse por cinco métodos diferentes: fricción entre sustancias disimilares, acción química (como en baterías), acción termoeléctrica, contacto entre sustancias diferentes e inducción electromagnética. En cada uno de estos métodos, el resultado reside en la colección de cargas de un signo (electrones negativos), que dejan un número igual de cargas del signo opuesto (protones positivos). Para que una corriente eléctrica pueda fluir de un punto a otro a lo largo de un conductor, es preciso que exista una fuerza electromotriz. o diferencia de potencial entre los dos puntos a lo largo del conductor. La unidad práctica de fuerza electromotriz o potencial es el “voltio”

# Elementos de Electricidad y Magnetismo

El paso de una corriente eléctrica a través de una sustancia es impedido por la fricción y por las fuerzas de atracción que muestran algunos átomos y moléculas hacia los electrones. Estos factores inhibidores no son iguales en todas las sustancias. Si son pequeños, se dice que la sustancia es un buen conductor de electricidad. Cuando son grandes, se dice que la sustancia es un mal conductor de electricidad - o un aislante. En cualquier caso, la oposición al flujo de corriente se denomina “resistencia”. Cuando en un Circuito se requiere una resistencia determinada, se puede utilizar un “resistor” (también denominado resistencia). La unidad práctica de resistencia es el “ohmio”.

En el flujo de corriente eléctrica la unidad es el “amperio”. El amperio es igual a un “coulomb” por segundo, mientras que el coulomb es la carga obtenida cuando  $6,3 \times 10^{18}$  electrones libres se hallan en un cuerpo único eléctricamente cargado.

# Ley de OHM

Ohm estableció la relación entre estas unidades en 1826 denominándola “Ley de Ohm”. Puede expresarse diciendo que un voltio de presión eléctrica (E) forzará un flujo de corriente de un amperio (I) a través de una resistencia eléctrica de un ohmio (R); expresado más sencillamente:

$$E=IR, \quad I=E/R \quad R=E/I$$

Tal y como aplicada a un circuito eléctrico completo, la Ley de Ohm manifiesta que la suma de las diferencias potenciales de las diversas partes del circuito es igual a la fem del circuito. Así, en el circuito indicado en la Figura 1-1a para impulsar la corrientes a través de la batería se requiere una porción de la fem de dicha batería, el reóstato, la válvula, el conmutador y el cable. La válvula, conmutador, etc. ofrecen resistencia al flujo de la corriente. No se produce ninguna “acumulación” de corriente en ninguna parte del circuito, y en cualquier parte de éste o en cualquier momento la corriente es igual a la corriente del resto de las partes del circuito. Por otra parte, cuando el conmutador se halla “abierto”, aún cuando exista una fem en los terminales de la batería, por el circuito no fluye ninguna 2 corriente. La electricidad sólo fluye en circuitos completos.

# Circuitos Paralelos y en Serie

En la Figura 1-1a las resistencias que representan la válvula ( $R_1$ ), el reóstato ( $R_2$ ), el aparato de medida ( $R_3$ ), etc. van conectadas en serie. La resistencia ( $R$ ) total del circuito es igual a la suma de las resistencias parciales. Así,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

La resistencia total  $R'$  de las resistencias en paralelo, tales como el reóstato y la válvula ( $R_2$  y  $R_5$ ) en la Figura 1-1b nos es dada por:

$$1/R' = 1/R_2 + 1/R_5 = (R_2 + R_5)/(R_2 \times R_5)$$

Por tanto,  $R' = (R_2 \times R_5)/(R_2 + R_5)$  y la resistencia del circuito completo en la Figura 1-1b será

$$R = (R_2 \times R_5)/(R_2 + R_5) + R_1 + R_3 + R_4$$

No se ha hecho referencia a la resistencia de los conductores en estos circuitos. Por lo general, la resistencia de los hilos es pequeña si se compara con la resistencia total del circuito, de lo que puede inferirse que la resistencia del conductor es igual a cero.

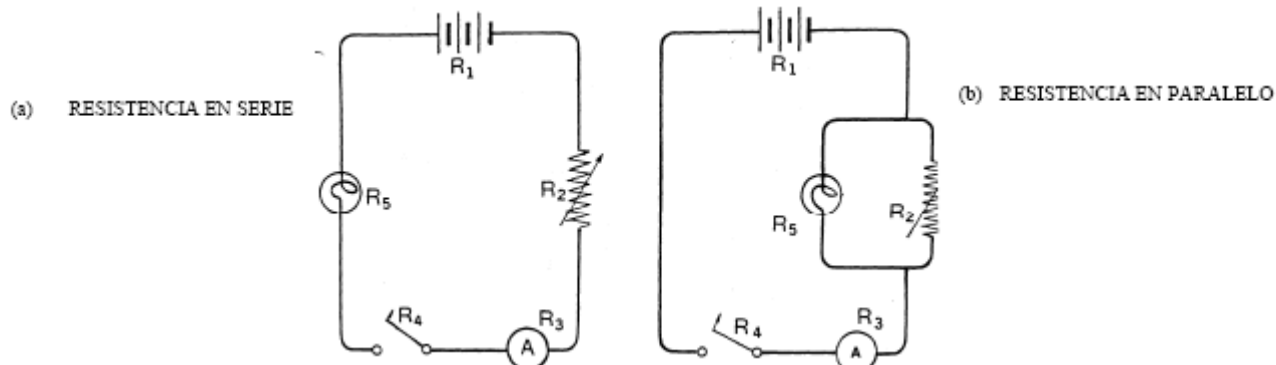


FIGURA 1-1 TIPOS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

# Corriente Alterna y Continua

Existen dos tipos básicos de corriente eléctrica y ambos se emplean en la inspección por partículas magnéticas. La corriente continua es una corriente que conserva siempre la misma dirección, pero cuya intensidad puede variar de forma regular. La corriente pulsante es una corriente continua, cuya intensidad varía de forma apreciable. La corriente alterna es una corriente que invierte su dirección, siendo primero positiva y después negativa, si bien alterna entre valores constantes máximos positivo y negativo respectivamente. En la Figura 1-2a se muestra una gráfica que indica un flujo de corriente continua en función del tiempo. Muestra que el valor inicial es cero, como si se accionara un generador desde su posición estática, y fuera alcanzando progresivamente su valor constante. La Figura 1-2b muestra una curva sinusoidal, que indica el movimiento ondulatorio de la onda; aquí se ha adaptado para mostrar el comportamiento de la corriente alterna en función del tiempo. El flujo de corriente cambia de positivo a negativo con cada medio ciclo. La fase positiva indica el flujo en una dirección (la misma que en la corriente continúa de la Figura 1-2a) y la fase negativa indica el flujo en la dirección inversa. En la corriente alterna de 60 ciclos, el ciclo completo de ambas fases se produce 60 veces por segundo. El rectificador es un dispositivo empleado para convertir la corriente alterna en continua; permite que la corriente fluya en una dirección solamente.

# Corriente Alterna y Continua

Cuando se aplica un rectificador único al flujo de corriente alterna representado en la Figura 1-2b, se produce una corriente rectificada de media onda representada en la Figura 1-2c. Con rectificadores más perfeccionados, se puede pasar toda la corriente alterna resultando el flujo que indica la Figura 1-2d.

La corriente alterna industrial es de tres fases, en las que el generador comienza el ciclo de corriente alterna tres veces en  $1/60$  de segundo. Cuando esta corriente trifásica se rectifica la forma de la onda resultante es la que se indica en la Figura 1-2e.

Las tres formas de corriente continua que se indican en las Figuras 1-2c, 1-2d y 1-2e son formas pulsantes en las que los impulsos son menos pronunciados según avanzamos en las ilustraciones. (Obsérvese que los cálculos eléctricos se limitan a aplicaciones simples de la CC. En las formas más complejas de corrientes alternas, a la resistencia simple se añade la inductancia, que es más difícil de calcular.)

La corriente continua, la corriente alterna, y la corriente rectificada de alternancia simple se emplean como corrientes imanadoras en la inspección por partículas magnéticas. Cada una de éstas tiene sus propias ventajas y limitaciones según sea su aplicación específica.

# Corriente Alterna y Continua

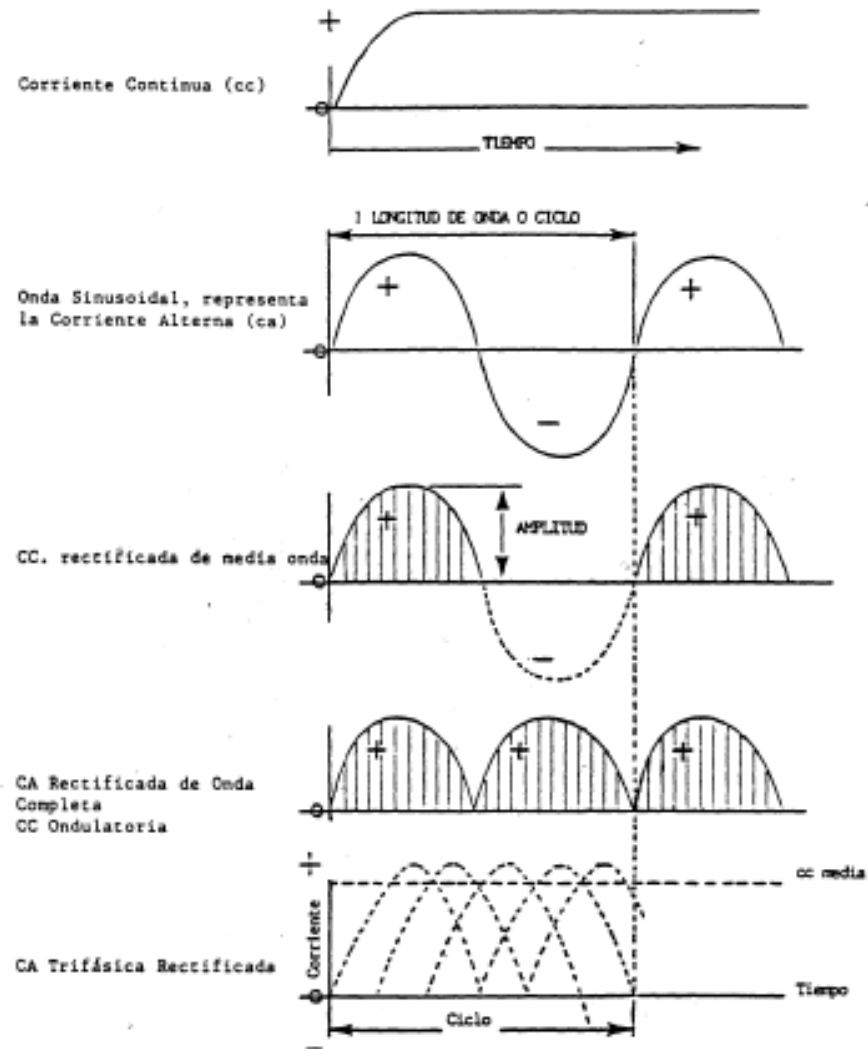


FIGURA 1-2  
CORRIENTES CONTINUAS Y ALTERNAS

# Comparación entre Corriente Continua y Alterna para Imanaciones

## Corriente Alterna (CA)

Los campos magnéticos creados por la corriente alterna se limitan al metal situado en la superficie y próximo a la superficie de la pieza. El fenómeno responsable de que la corriente alterna tienda a fluir solamente a lo largo de las capas superficiales del metal se conoce como “efecto pelicular”. El método de corriente alterna es, en consecuencia, el más eficaz para la localización de discontinuidades superficiales y no es apropiado para la detección de discontinuidades más profundas. El campo alterno añade también movilidad a las partículas y facilita una mejor indicación.

## Corriente Continua (CC)

La corriente continua produce un campo que penetra en la pieza y es, por ello, más sensible que la corriente alterna para la detección de discontinuidades internas. La corriente trifásica rectificadora de doble alternancia produce resultados fundamentalmente comparables a los de la corriente continua obtenida de un generador. Una corriente monofásica rectificadora de media onda permite máxima sensibilidad. Esto se debe a que el campo pulsante aumenta la movilidad de las partículas permitiendo que éstas se alineen más fácilmente en los campos de fuga. Además, las crestas de los impulsos producen una mayor fuerza imanadora.

# Aparatos para Medición de la Electricidad

## Aparatos Para Medición de la Electricidad

Los Instrumentos que se emplean para la medición de la corriente eléctrica se llaman amperímetros, y los que sirven para medir el voltaje o la fuerza electromagnética se denominan voltímetros. Cada uno de éstos se ha diseñado para operar bien con corriente continua o alterna. Así pues, existen aparatos para medir la corriente continua y otros para medir la corriente alterna. La mayoría de los instrumentos para medir la corriente alterna no miden los valores máximos; miden más bien los valores efectivos o los valores promedio. El valor efectivo de la corriente alterna es igual al valor de la corriente continua que produce un efecto calorífico igual en un conductor. El verdadero valor promedio de la corriente alterna es cero (onda sinusoidal verdadera). Si la onda de una corriente es una onda sinusoidal verdadera, el valor efectivo de la corriente es igual a 0,707 veces el valor máximo, y el valor medio de un semiperiodo es igual a 0,64 veces el valor máximo. Los valores máximo, efectivo y medio de una corriente continua son iguales, por lo que los aparatos de medición de la corriente continua miden valores promedio. A menos que se indique lo contrario, todos los aparatos de medida de la corriente alterna miden valores efectivos.

# Magnetismo

**Imanes:** La idea popular de un imán consiste en una pieza de hierro, en forma de barra o de herradura, que tiene la propiedad de atraer y retener pequeñas piezas de hierro. Como su nombre indica, magnetismo significa tener afinidad con el hierro. Este poder de atracción parece hallarse concentrado cerca de los extremos de la barra. Estos se denominan “polos” (Figura 1-3b). Se dice que la barra de hierro está imantada, o que posee magnetismo y se denomina imán. La aguja de una brújula actúa como una barra magnética. El extremo de la aguja que “apunta” al norte se dice que está orientado al norte; el extremo opuesto se dice que está orientado con el polo sur. Los experimentos demuestran que los polos norte de dos brújulas se repelen mutuamente, y lo mismo sucede con los polos sur (Figura 1-3c). El polo norte de un imán atrae al polo sur del otro (Figura 1-3d). El hecho de que la aguja de una brújula se halle siempre orientada en dirección norte-sur significa que la tierra es un imán inmenso, cuyos polos magnéticos están cerca de sus polos geográficos correspondientes. (Figura1-3a).

**Permeabilidad:** Todo material que resulta fuertemente atraído por un imán se dice que es ferromagnético y la medida en que tal material es ferromagnético se denomina su permeabilidad ( $\mu$ ). Esta es la facilidad con la que un campo magnético puede introducirse en un material; no es constante, sino que cambia considerablemente a medida que aumenta la densidad de flujo.

# Magnetismo

La densidad de flujo en cualquier punto de cualquier material depende de la fuerza magnética presente y de la permeabilidad de tal material.

$$B = \mu H$$

donde:

*B = densidad de flujo en teslas*

*H = fuerza imanadora en amperios por metro*

*$\mu$  = permeabilidad en henrios por metro*

Para cualquier valor de B ó H el valor de  $\mu$  es la pendiente de la curva (Figura 1-4) que muestra la variación que se produce en  $\mu$  a medida que aumenta la fuerza magnética. La permeabilidad inicial es la pendiente de la curva B/H al comenzar a aplicar fuerza imanadora a un material no imanado. Esta es la parte de la curva en el punto "a" o cerca de éste en la Figura 1-5. En este punto la relación B/H ó  $\mu$  es menor que en el punto intermedio entre "a" y "b". En el punto "b", donde el material se halla saturado,  $\mu$  disminuye hasta el valor que tendría en el vacío.

Aisladamente empleada la expresión "permeabilidad" se refiere a la permeabilidad máxima del material, que se representa por la porción más inclinada de la curva histerésica. La permeabilidad efectiva es el factor más importante en la inspección por partículas magnéticas. Es la relación simple entre el campo B en una pieza y la fuerza imanadora H, medida en el mismo punto en ausencia de la pieza. La permeabilidad efectiva queda determinada no solamente por las características del material, sino por la forma de la pieza.

# Magnetismo

**Histéresis:** Cuando se imantan ciertos materiales ferromagnéticos, al retirarles la fuerza imanadora no vuelven completamente a su condición inicial. Para desimantar completamente el material se debe aplicar una cierta fuerza imanadora inversa, a menos que el material se caliente por encima del punto Curie correspondiente a dicho material o que se someta a un tratamiento mecánico.

Si a un espécimen virgen (completamente desimantado) se aplica un campo externo variable y se miden tanto el campo externo como el grado de imantación o densidad de flujo, se puede trazar, como se indica en la Figura 1-5, una curva representativa del material. Esta se conoce como curva de histéresis magnética. Histéresis es el retraso del efecto magnético cuando se cambian las fuerzas imanadoras que actúan sobre un cuerpo ferromagnético.

En la Figura 1-5,  $H$  representa la fuerza imanadora aplicada al espécimen y  $B$  la densidad de flujo dentro de éste.

El punto en el que la imantación y la fuerza aplicada es cero se representa por (o). Al aumentar la fuerza imanadora en pequeñas dosis el flujo aumenta rápidamente al principio reduciéndose progresivamente hasta que se alcanza el flujo máximo o el punto de saturación (a).

# Magnetismo

Otro aumento en la fuerza imanadora  $H$  no aumentara la densidad de flujo  $B$ . El aumento en la densidad de flujo se indica por la línea de puntos o-a.

Si, la fuerza imanadora se reduce ahora gradualmente hasta cero la curva (a-b) mostrará la disminución correspondiente en la densidad de flujo. No obstante, en el espécimen aún queda algún magnetismo representado por el punto (b). El valor de este magnetismo se indica por la distancia (o-b) y se denomina magnetismo residual.

Si ahora se invierte la corriente imanadora y se aumenta lentamente, la densidad de flujo (magnetismo residual) dentro del espécimen disminuye y vuelve a cero en el punto (c). La distancia representada por (o-c) es la medida de la fuerza necesaria para reducir el campo magnético a cero y se conoce como fuerza coercitiva.

Aumentando aun más la fuerza imanadora el espécimen se imana en la dirección opuesta hasta que, nuevamente, se llegue al punto (d) de saturación.

Si ahora la fuerza imanadora se reduce gradualmente a cero la densidad de flujo se reduce o disminuye hasta un cierto valor (e); no obstante, el espécimen retendrá aún cierto magnetismo residual representado por o-e. Si ahora aumentamos constantemente la fuerza magnética en su dirección original la densidad del flujo residual se reduce a cero en el punto (f) y aumenta después hasta el punto de saturación inicial (a).

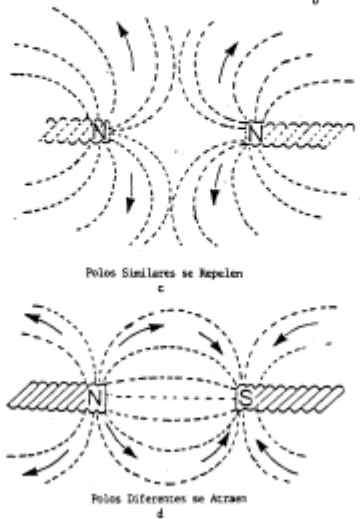
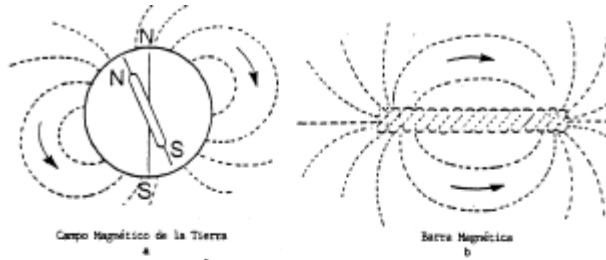


FIGURA 1-3  
CAMPOS MAGNÉTICOS

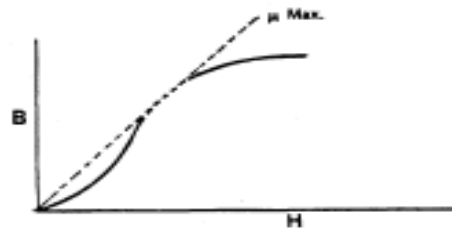


FIGURA 1-4 CURVA IMANADORA

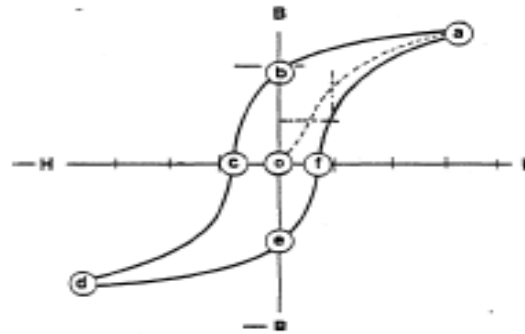


FIGURA 1-5  
BUCLE DE HISTÉRESIS

Cuando este bucle de histéresis es delgado o estrecho generalmente significa que el espécimen es de fácil imanación, pero que posee un bajo magnetismo residual. Un bucle ancho indica que el material es más difícil de imanar pero retendrá un campo residual más potente

La curva representada por las líneas a, b, c, d, e, f se denomina curva histéresis o lazo de histéresis.

# Magnetismo

## **Retentividad**

La retentividad es la expresión empleada para indicar la tendencia de un material a retener el magnetismo residual. En la curva de histéresis de la Figura 1-5, la retentividad se representa por la distancia o-b. Esta distancia indica la intensidad del campo presente debido al magnetismo residual si se retira la fuerza imanadora H.

## **Fuerza Coercitiva**

La fuerza coercitiva es la expresión empleada para indicar la facilidad con la que el magnetismo residual de un material puede contrarrestarse por la aplicación de una fuerza imanadora. En la Fig. 1-5 la fuerza coercitiva se representa por la distancia o-c. Esta es la intensidad de la fuerza imanadora  $H_0$  que se requiere para reducir a cero el campo magnético  $\mathcal{H}$  en el material una vez imanado.

# Magnetismo

## Electromagnetismo

Corriente Eléctrica y Campo Magnético - En 1820 Oersted descubrió que la corriente eléctrica presenta efectos magnéticos. La aguja de una brújula colocada cerca de un hilo eléctrico recto portador de corriente continua, adoptará una posición perpendicular al hilo y a la corriente, lo que indica la presencia de un campo magnético en el conductor. Otros experimentos mostraron que el campo magnético circunda al conductor. Véase la Figura 1-6 que muestra el giro de la aguja de la brújula de S1-N1 a S2-N2 cuando la corriente pasa por el hilo. La intensidad del campo magnético aumenta a medida que aumenta la corriente. En efecto, en algunos instrumentos la intensidad de la corriente se mide determinando la intensidad del campo magnético.

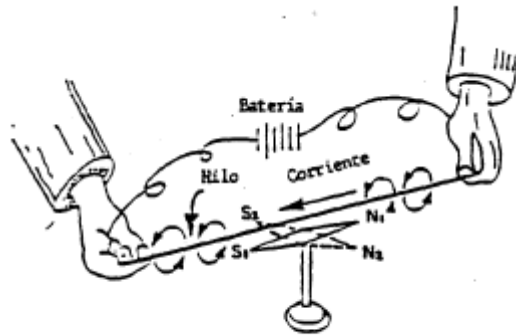


Figura 1-6

# Inducción Electromagnética

**Corrientes Inducidas** - En 1831 Michael Faraday descubrió que las variaciones de corriente en un circuito producían una fuerza electromagnética (fem) en un circuito vecino. Este fenómeno se produjo aún cuando entre los dos circuitos no existía conexión eléctrica. Se conoce como inducción electromagnética. Los experimentos mostraron que la fuerza electromagnética inducida resulta de variaciones en el campo magnético. La fuerza electromagnética puede inducirse en conductores mientras que el conductor se mueve en un campo de intensidad constante, o cuando el conductor permanece estable y se varía la intensidad del campo magnético, o cuando ambas situaciones se producen al mismo tiempo. Una barra magnética experimenta una fuerza repulsiva cuando se introduce en un selenoide cuyos terminales están conectados formando un circuito cerrado, y una fuerza de atracción cuando se retiran del selenoide. De igual modo, el bucle de un hilo cuyos extremos están conectados es repelido cuando penetra un campo magnético, y resulta atraído al alejarse de éste.

# Inducción Electromagnética

**Bobina de Choque:** El campo magnético que se crea alrededor de un conductor portador de una corriente alterna tiende a limitar el movimiento de los electrones. Esta fuerza se denomina “fuerza contra-electromotriz” (f.c.e.m.), y produce los mismos efectos que una resistencia. La magnitud de la fuerza contraelectromotriz depende del volumen de corriente que fluye así como de la forma del conductor y del volumen de sustancia imanable próximo a él. Por ejemplo, un bobinado cuyas espirales se hallan en estrecha proximidad, como es el caso en un solenoide, permite una gran concentración del campo de fuerza. La introducción de una sustancia como el hierro dulce en este campo ya concentrado la hace aún más intensa. Si la sustancia imanable (el núcleo de hierro dulce) puede introducirse o retirarse total o parcialmente del campo magnético del solenoide, el instrumento se denomina “bobina de choque”.

# Inducción Electromagnética

**Transformadores:** En el diseño de transformadores (Figura 1-7), se utilizan los efectos físicos descritos en relación con las bobinas de choque y los electroimanes. El núcleo de un transformador sirve para intensificar los campos magnéticos de los circuitos eléctricos. Los transformadores constan de cuatro partes esenciales: bobina primaria, bobina secundaria, núcleo y aislante. El núcleo es de una aleación de hierro y puede ser de forma redonda, rectangular ó cilíndrica. La bobina primaria (alambre de cobre) se enrolla alrededor de uno de los brazos del núcleo; la secundaria, también de alambre de cobre, puede bobinarse alrededor del mismo brazo o de otro diferente. En cualquier caso, las bobinas primaria y secundaria van magnéticamente conectadas por el núcleo de hierro. Sin embargo, no están conectadas eléctricamente en ningún punto. El alambre de las bobinas va recubierto de goma, esmalte cocido, tela y otros tipos de aislantes. Las bobinas propiamente dichas están recíprocamente aisladas y del núcleo por madera, porcelana, vidrio, mica y otros tipos de aislantes. Las bobinas y el núcleo frecuentemente se sumergen en aceite de transformador, aumentando así su aislamiento.

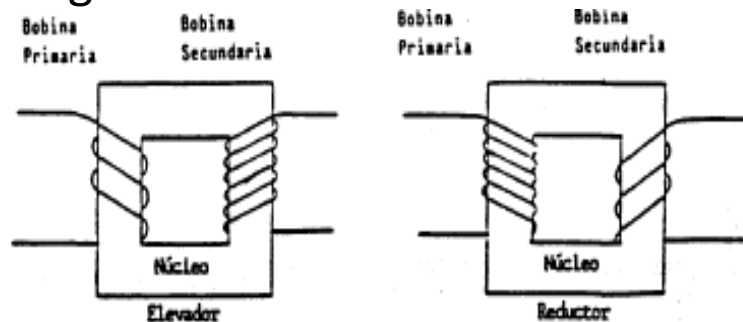


FIGURA 1-7  
CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES

# Inducción Electromagnética

**Transformador Elevador:** Cuando el número de vueltas en el bobinado secundario es mayor que en el bobinado primario, el transformador se conoce como “transformador elevador”. Esta expresión se refiere a un aumento en el voltaje de la bobina secundaria y, por ende, del circuito secundario, comparado con el voltaje que pasa por la bobina primaria. La relación entre los voltajes secundario y primario es aproximadamente igual a la relación del número de vueltas de alambre en los dos bobinados. En razón a que no se puede producir un aumento en la potencia total de un transformador, el voltaje del circuito secundario no es mayor que el del primario. El más alto voltaje produce una corriente más baja correspondiente y  $E \times I$  permanece aproximadamente igual que en el circuito primario. Debido a que el bobinado primario es portador de una corriente más intensa (a menor voltaje), el alambre debe ser de mayor diámetro que el del bobinado secundario; de aquí que ambos puedan distinguirse con facilidad.

**Transformador Reductor:** Cuando el número de espirales en el bobinado secundario es menor que el del primario, tenemos un transformador reductor. El término reductor se refiere también al voltaje, y la relación entre voltajes es la misma que la de las espiras en el transformador elevador. Y en este caso también la potencia permanece aproximadamente igual. Como sucede con el transformador elevador, el bobinado portador de la corriente más intensa (en este caso, el secundario) debe ser más grueso que el otro, por lo que se distingue con facilidad.

# Inducción Electromagnética

**Auto transformadores:** Un autotransformador es un transformador construido de un bobinado único de un alambre de cobre relativamente grueso enrollado alrededor de un núcleo de hierro. Difiere del transformador ordinario en 11 que este bobinado permite una conexión electromagnética entre dos o más circuitos independientes. En uno de sus laterales, en forma análoga al circuito secundario de un transformador regular, lleva una serie de tomas o contactos que salen de una vuelta u otra de la bobina. Estas tomas permiten la conexión a un número variable de vueltas en el circuito secundario, según se indica en la Figura 1-8.

Según sea el número de vueltas contenidas en el circuito primario se puede controlar el voltaje aplicado a las espiras. Así, el circuito primario de un autotransformador puede actuar como compensador de la tensión o voltaje de la red. Los campos magnéticos que nos interesan en la inspección por partículas magnéticas obedecen a las mismas leyes que los campos magnéticos asociados con conductores, bobinas y núcleos de transformadores.

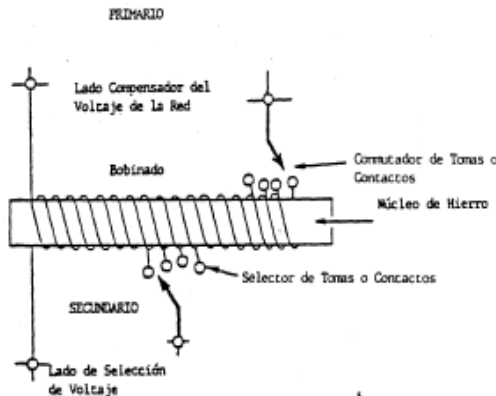


FIGURA 1-8

## **CUESTIONARIO PRIMERA LECCIÓN PT**

1. ¿Qué relación hay entre electricidad y magnetismo?
2. ¿Qué es la electricidad?
3. ¿Qué es la ley de OHM?
4. ¿Qué es circuitos paralelos o en serie?
5. ¿Qué es corriente Alterna y Continua?
6. ¿Compara la corriente alterna y continua para la imanación?
7. ¿Diga cuales son los aparatos para la medición de la electricidad?
8. ¿Qué es Imanes?
9. ¿Qué es Permeabilidad?
10. ¿Qué es Histéresis?



# **Campos Magnéticos**

## **Capitulo II**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# Fuerza Imanadora

## Fuerza Imanadora

Un imán está rodeado por un campo magnético (Figura 2-1a). Sobre todo objeto ferromagnético (construido de un material que sea fácilmente imanable) en dicho campo se ejerce una fuerza que dependerá de la intensidad y dirección del campo (figura 2-1b). Este campo magnético puede representarse por líneas que salen de los polos del imán, según se muestra en las figuras 2-1.

## Orígenes de los Campo Magnéticos

Según se indica anteriormente, para producir un campo magnético en objetos ferromagnéticos se pueden seguir varios métodos. La fuente del campo magnético (fuerza Imanadora  $H$ ) puede consistir en un imán permanente, en un electroimán, en un conductor portador de corriente, o en una corriente que pase directamente a través del objeto.

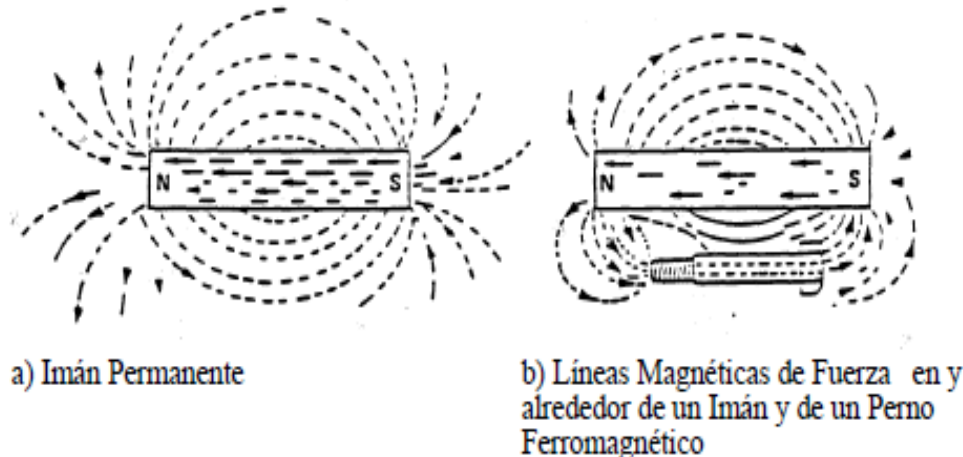


FIGURA 2-1  
FUERZA DE IMANACION

# ORIGENES DE LOS CAMPOS MAGNETICOS

**Imán Permanente:** Los aceros de alto carbono y algunas aleaciones, una vez imanados, retienen cierta parte de su magnetismo, que no disminuye notablemente con el tiempo. Un material que exhiba tal propiedad magnética es un imán permanente (Figura 2-1a). Los imanes permanentes pueden emplearse en la inspección por partículas magnéticas para ciertas aplicaciones, aunque el más generalmente empleado es el electroimán, de mayor potencia. Así, las mejores indicaciones se producen cuando la corriente fluye paralelamente a la discontinuidad, dado que el campo magnético se halla siempre en ángulos rectos en relación con el flujo de la corriente.

**Electroimán:** Todo conductor de corriente está rodeado por un campo magnético. Si un material ferromagnético se halla en este campo resultará imanado; dicho proceso de imanación se realiza por Inducción magnética. El hierro dulce ofrece muy poca oposición al efecto magnético y, en la misma medida, retiene muy poco de su magnetismo una vez retirado del campo. El efecto del campo magnético que rodea un alambre portador de corriente eléctrica puede aumentarse enrollando el alambre en una bobina.

# ORIGENES DE LOS CAMPOS MAGNETICOS

Los campos alrededor de cada vuelta de alambre se suman y convierten la bobina en un imán con un polo a cada lado según se indica en la Figura 2-2. Esto producirá una región de alta intensidad de campo en la bobina. Si se inserta un hierro dulce en la bobina, éste se imanta y contribuye a la formación del campo magnético. Y mientras la corriente fluya por la bobina, el electroimán retiene todas las propiedades de un imán. Cuando el flujo de la corriente cesa, la bobina, y por ende el núcleo, pierden su magnetismo. Si se invierte la dirección de la corriente, la dirección de la imanación también se invierte y los polos se intercambian. El principio del electroimán se utiliza en numerosos aparatos tales como relés, disyuntores de circuito, conmutadores de control remoto, etc. La intensidad del campo magnético dependerá principalmente:

- (a) del número de espiras en la bobina
- (b) de la intensidad de la corriente en la bobina
- (c) de la permeabilidad del material del núcleo.

La intensidad magnética  $H$  de una bobina dada puede representarse por  $H=(I-t)/l$  donde  $t$  es el número de vueltas en la bobina,  $I$  es la corriente que pasa por la bobina y  $l$  es la longitud de la bobina. Cuando dentro de la bobina se coloca un núcleo de un material ferromagnético, el campo magnético  $B$  en el núcleo puede relacionarse a la bobina y la corriente en la misma sustituyendo el valor de  $H$  mostrado anteriormente en la relación:

$$B=\mu.H$$
$$\text{Así, } B=\mu(I-t)/l$$

# ORIGENES DE LOS CAMPOS MAGNETICOS

La intensidad magnética  $H$  de una bobina dada puede representarse por  $H=(I-t)/l$  donde  $t$  es el número de vueltas en la bobina,  $I$  es la corriente que pasa por la bobina y  $l$  es la longitud de la bobina. Cuando dentro de la bobina se coloca un núcleo de un material ferromagnético, el campo magnético  $B$  en el núcleo puede relacionarse a la bobina y la corriente en la misma sustituyendo el valor de  $H$  mostrado anteriormente en la relación:

$$B=\mu.H$$

Así,  $B=\mu(I-t)/l$

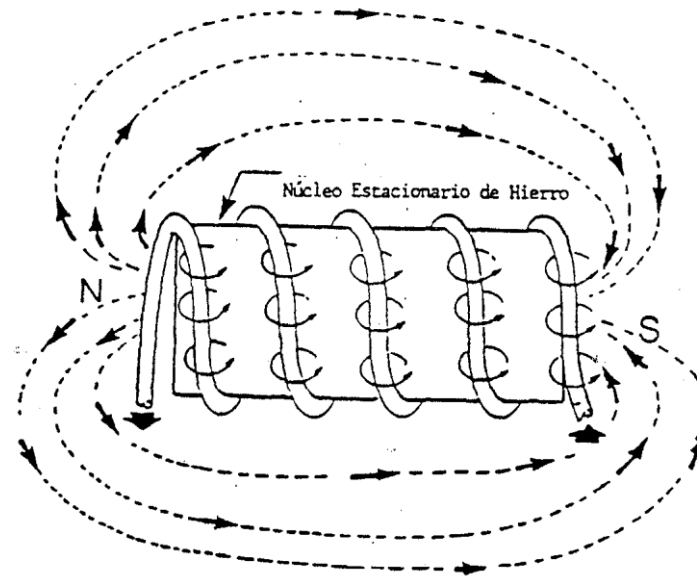


FIGURA 2-2 ELECTRO IMAN

# ORIGENES DE LOS CAMPOS MAGNETICOS

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

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

# ORIGENES DE LOS CAMPOS MAGNETICOS

**Regla de la Mano Derecha:** La Regla de la Mano Derecha nos permite determinar fácilmente la dirección del campo. Imaginemos que tomamos el conductor con la mano derecha de forma que el dedo pulgar apunte en dirección del flujo de corriente, Figura 2-3. Los dedos apuntarán entonces en la dirección del campo. La polaridad de un electroimán puede determinarse igualmente por medio de la mano derecha en la que los dedos se colocan alrededor de la bobina en la dirección del flujo de corriente (+ a -). El pulgar estirado apuntará en la dirección del polo norte del imán (Figura 2-2).

Es preciso señalar que la regla de la mano derecha se basa en el concepto de que el flujo de corriente va de positivo a negativo. En el caso más preciso del flujo de electrones - de negativo a positivo - la regla debe convertirse a la correspondiente a la “mano izquierda”, en la que los dedos de esta mano se extienden en la dirección del flujo de electrones.

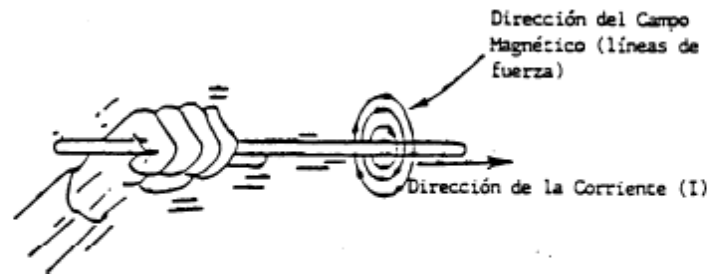


FIGURA 2-3  
REGLA DE LA MANO DERECHA PARA DETERMINAR LA DIRECCIÓN  
DE LAS LÍNEAS MAGNÉTICAS DE FUERZA

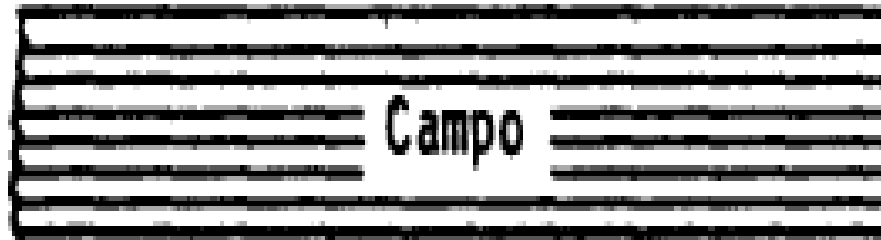
# Densidad de Flujo y Campos de Fuga

## DENSIDAD DE FLUJO

Para describir la intensidad de un campo magnético se consideran la densidad de flujo de dicho campo y la fuerza imanadora. Densidad de flujo es el número de líneas de fuerza o líneas de flujo por unidad de superficie en ángulos rectos en relación con la dirección del flujo. La unidad de la densidad de flujo es la tesla (T), y el símbolo de su cantidad es B. La fuerza imanadora que crea un flujo magnético se designa por medio del símbolo cuantitativo H y se mide en amperios por metro (Am).

## CAMPOS DE FUGA

**Material sin Defectos:** El método de inspección por partículas magnéticas tiene como finalidad localizar e identificar discontinuidades en materiales ferromagnéticos. Examinemos ahora cómo un campo magnético puede ayudarnos en este proceso. La Figura 2-4 representa un corte transversal longitudinal de una pieza de material imanado del objeto sin salir a la superficie.



Sin discontinuidades

FIGURA 2-4

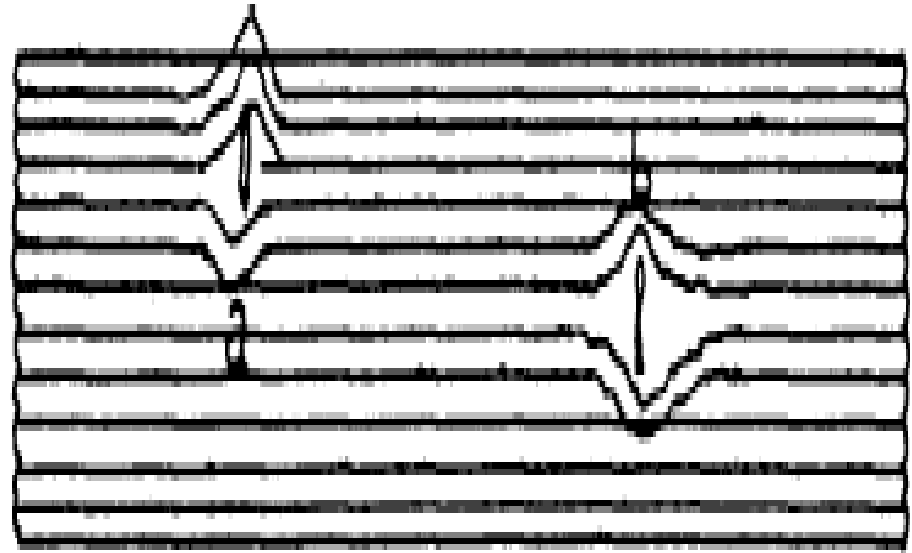
- **2.4.2 Discontinuidad o Defecto Superficial**
- En presencia de una discontinuidad o defecto (Figura 2-5), algunas líneas del campo magnético pudieran salir del objeto y al espacio.
- Si sobre la superficie del objeto mostrado en la Figura 2-5 rociamos partículas ferromagnéticas muy pequeñas, resultarán atraídas y retenidas por el campo de fuga en la 'región de la discontinuidad. Aún cuando esta pudiera ser muy pequeña para ser visible al ojo desnudo, el campo magnético podría aún resultar suficientemente perturbado como para atraer un número suficiente de pequeñas partículas que permitan formar una indicación visible. Estas partículas pueden colorearse para hacerlas más visibles y hacer así que el método de Inspección sea más sensible. Aún cuando la discontinuidad no se abra sobre la superficie, Figura 2-6a, el campo pudiera perturbarse lo suficiente como para que salga del objeto.
- Las partículas magnéticas pueden resultar por lo tanto atraídas a la superficie inmediatamente encima del defecto.



c) Discontinuidad de Superficie

FIGURA 2-5

- **2.4.3 Discontinuidad Interna**
- Una discontinuidad oculta en el interior de un objeto pudiera no perturbar las líneas de fuerza para hacerlas salir de la superficie. En este caso no habrá atracción de partículas ni indicación superficial.
- En la Figura 2-5 hemos visto el efecto de una grieta, y en la Figura 2-6 el efecto de una discontinuidad próxima a la superficie sobre el campo magnético. Dado que la permeabilidad del aire es mucho menor que la de los materiales ferromagnéticos, las líneas de flujo tienden a pasar por el espacio exterior más allá de los límites del material. Este efecto puede predecirse matemáticamente empleando la relación:
  - $B \mu \cdot H$
  - Si reducimos el valor de  $\mu$  sin que cambie  $H$ , el valor de  $B$  será menor. Esto quiere decir que en el aire existirá una menor densidad de flujo. El flujo o campo en el espacio exterior encima de una discontinuidad se conoce como flujo o campo de fuga.



**FIGURA 2-6**

- **2.4.4 Orientación de las Discontinuidades**
- Una discontinuidad de orientación paralela al campo magnético en el objeto producirá un efecto mucho menor sobre el campo que una discontinuidad que sea perpendicular al campo.
- Como quiera que la discontinuidad “b” en la Figura 2-7 apenas interrumpe la continuidad del campo magnético, las partículas magnéticas atraídas al mismo serían muy pocas, si es que lo son. No obstante, la discontinuidad “a” produce una alteración considerable en el campo magnético haciendo que algunas líneas de flujo salgan fuera del material. Las partículas magnéticas serían más fácilmente atraídas a la superficie cerca de “a”, haciendo así que la discontinuidad sea mucho más detectable.
- La sensibilidad de este método de inspección será mucho mejor para aquellas discontinuidades que tengan una orientación de  $90^\circ$  con relación al campo, produciendo resultados aceptables aún cuando el ángulo de tal orientación se reduzca hasta unos  $75^\circ$

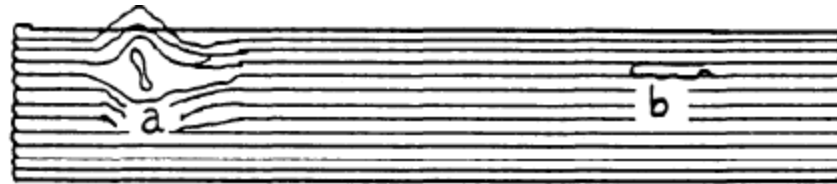


FIGURA 2-7

## **CUESTIONARIO SEGUNDA LECCIÓN MT**

1. ¿En un campo magnético ¿ que es fuerza Imanadora?
2. ¿Cuáles son los orígenes de los campos magnéticos?
3. ¿Qué es un imán permanente?
- 4 ¿Qué es un electro imán?
5. ¿Qué es conductor central?
6. ¿Cuál es la regla de la mano derecha?
7. ¿Qué es densidad de flujo?
8. ¿Qué es campo de fuga y un material sin defecto?
9. ¿Diga qué es una discontinuidad o defecto superficial?
10. ¿Qué es una discontinuidad Interna?



**MÉTODOS DE IMANACION Y  
CONSIDERACIONES  
SOBRE LA INTENSIDAD DEL CAMPO**

**Capitulo III**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

- **3.1 MÉTODOS DE IMANACION**

- Como quiera que la dirección del campo magnético debe ser la correcta con respecto a la discontinuidad, es importante conocer el procedimiento de imanación necesario para dar al campo la dirección debida. Para efectuar la inspección adecuada, el campo debe hallarse en la dirección correcta, debe establecerse en el área correcta de la pieza que se inspecciona, y debe asimismo ser de la intensidad o potencia adecuada.

- **3.1.1 Dirección del Campo**

- Dado que la sensibilidad es mayor cuando el campo magnético en una pieza es perpendicular al eje mayor de un defecto, el método de imanación deberá seleccionarse de forma que produzca líneas de flujo perpendiculares al tipo de defecto esperado. Si se desea hallar efectos con varias orientaciones, entonces la pieza debe Imanarse más de una vez de forma que produzca líneas de flujo en diferentes direcciones. En la mayoría de los trabajos, será suficiente Imanar dos veces empleando la segunda vez un campo perpendicular al primero con objeto de que el defecto que se halle casi paralelo al primer campo sea casi perpendicular al segundo. En algunos casos, un defecto situado a 45 aproximadamente con respecto de las líneas de flujo pudiera no ser visible. En el caso de inspecciones más críticas que requieren mayor o la más alta sensibilidad posible, pudiera ser necesario Imanar varias veces en diferentes direcciones.

- **3.1.2 Imanación Longitudinal**
- Este método de imanación se efectúa induciendo un campo magnético en la pieza de forma tal que las líneas de fuerza que corren en la pieza sean aproximadamente paralelas al eje de bobina imanadora (Figura 3-1a) y que tiendan a seguir el contorno de la pieza. Cuando se utiliza un imán permanente o un electroimán, las líneas de fuerza actúan entre los polos y es necesario hacer el montaje de forma que dichas líneas sigan el contorno. Véase Figura 3-1b y pár. 3.1.6 y 3.1.7. Y en este caso también, la mejor sensibilidad se obtendrá cuando el flujo de corriente sea paralelo a la discontinuidad.
- Materiales tales como ejes, cilindros, vigas, etc. pueden imanarse por medio de un cable eléctrico flexible enrollado alrededor de la pieza. Cuando por el cable se pasa una corriente se convierte en un solenoide temporal.

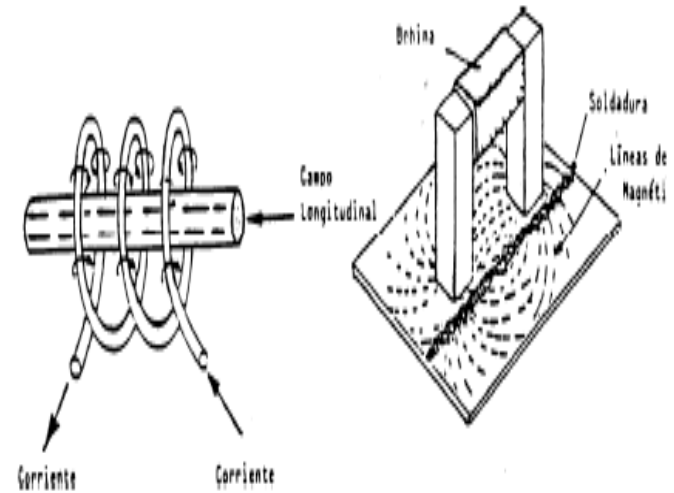


FIGURA 3-1

- a) Imanación longitudinal en el campo de una bobina
- b) Campo longitudinal inducido por un yugo. Obsérvense las diferentes direcciones que existen en el área soldada.

- **3.1.3 Imanación Circular**
- El método de imanación circular se efectúa por la inducción de un campo magnético en la pieza de forma tal que las líneas de fuerza (en cualquier plano normal al eje de la pieza) tengan la forma de anillos concéntricos alrededor del eje de la pieza.
- Esto se realiza pasando corriente directamente por la pieza (Figura 3-2a) o por un conductor que pase a través de un agujero en la pieza (Figura 3-2b). La imanación circular es la más apropiada para detectar discontinuidades aproximadamente paralelas al eje de la pieza, o radiales en los extremos. Cuando se efectúa la imanación circular, generalmente el campo queda contenido en los contornos de la pieza misma. Esto crea intensidad de campo máxima y, por lo tanto, sensibilidad también máxima a discontinuidades subsuperficiales.

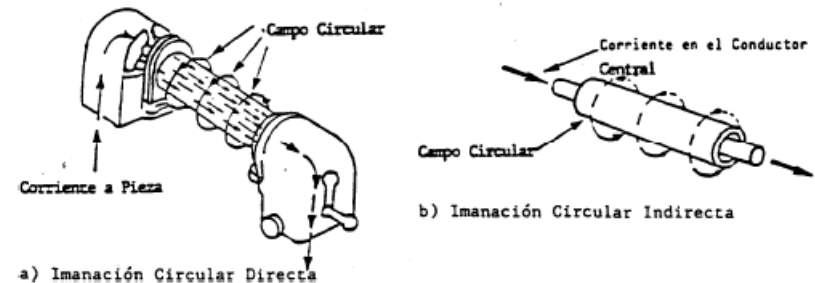


FIGURA 3-2

- **3.1.4 Imanación Directa e Indirecta**
- Cuando la corriente imanadora pasa directamente a través de la pieza, como en la Figura 3-2a, se llama Imanación Directa, conseguida por conducción. La Imanación Indirecta se consigue por inducción cuando la corriente imanadora pasa a través de un conductor auxiliar, como en la Figura 3-2b.
- **3.1.5 Imanación Local**
- A menudo no resulta práctico imanar la totalidad de una pieza de grandes dimensiones. Tales piezas pueden imanarse por secciones solamente pasando una corriente por ciertas áreas o secciones y empleando contactos o puntas de contacto. Esto produce un campo circular local en la zona comprendida entre los puntos de contacto. Las puntas de contacto se aplican a la superficie a inspeccionarse y se sostienen firmemente en posición mientras pasa la corriente. Las puntas de contactos y las zonas a inspeccionarse deberán hallarse suficientemente limpias para permitir el paso de elevadas corrientes sin que se produzca arco o quemaduras. Por esta razón, se aconseja un circuito abierto de bajo voltaje (2 a 16 V). El procedimiento habitual es establecer contacto directo con el Espécimen, y cuando se necesita una segunda inspección, colocar las puntas de contacto en ángulos rectos con respecto a la línea de la primera.
- Para evitar la formación de arco, es obligatorio disponer de un método apropiado para conectar y desconectar la corriente imanadora mientras que las puntas de contacto reposan sobre la pieza de trabajo.
- **3.1.6 Imanación Longitudinal con Yugo**
- El método de imanación con yugo consiste en la creación de un campo longitudinal entre los polos magnéticos de un material tal como hierro dulce, conformado en forma de herradura. Alrededor de la porción comprendida entre ambos brazos se enrolla una bobina, que puede alimentarse con corriente continua, alterna o ambas, generando un campo que se completa en el material inspeccionado al establecer el contacto. El campo de distribución es longitudinal entre los brazos y un tanto radial alrededor de los polos; por lo tanto, la orientación probable de las discontinuidades detectables será transversal al campo magnético.

- **3.2 INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO**

- Si en la imanación se utiliza un solenoide, la intensidad del campo que lo atraviesa será proporcional al producto de la corriente en amperios por el número de vueltas en el solenoide; es decir, el número de amperio-vueltas. La intensidad del campo puede por lo tanto modificarse variando el número de vueltas en la bobina o la corriente que pasa por la misma.

- La intensidad de campo adecuada a emplearse en un objeto dependerá:

- (a) de la sensibilidad requerida,
- (b) de la profundidad de las discontinuidades a detectarse,
- (c) del tipo de corriente imanadora (cc, ca, etc.).
- (d) del medio de indicación empleado,
- (e) de la geometría del objeto.

- **3.2.1 Imanación Longitudinal**

- En la determinación de la densidad de campo adecuada para imanación longitudinal, se pueden emplear algunas reglas sencillas siempre y cuando se mantengan ciertas condiciones.

- El número de amperio vueltas\* ( $I_t$ ) deberá ser =  $35000/(L/D + 2)$  donde L/D es la relación longitud diámetro de la pieza. Las condiciones antes citadas son:

- - que la longitud efectiva máxima de la bobina sea de 460 mm
- - que la permeabilidad del material sea mayor de  $628,3 \times 10 \text{ H/m}$  (500 Gauss/Oersted)
- - que el área de la sección transversal de la pieza no sea mayor de 1/10 de la de la bobina.
- - que la pieza se coloque en la parte inferior de la bobina.

- **3.2.1.2 Para piezas con una relación L/D menor de 4 pero no menor de 2**

- $I_t = 45\ 000$

- $L/D$

- **3.2.1.3 Cuando la pieza se coloca en la bobina la fórmula aproximada se convierte en**

- $I_t = 1700 R$

- $\mu_{\text{eff}}$

- donde t = número de vueltas

- I = corriente en amperios

- R = radio de la bobina en milímetros

- $\mu_{\text{eff}}$  = permeabilidad efectiva en henrios por metro

- $\mu_{\text{eff}} = 6L/D$

- 5
- 20

- La mayoría de las piezas inspeccionadas tienen una relación L/D menor de 15 y la permeabilidad de la mayor parte de los materiales inspeccionados por el método de partículas magnéticas es superior a  $628,3 \times 10^3 \text{ H/m}$ ; por lo tanto, las reglas anteriores son aplicables. Producen intensidades de campo magnético cuya densidad de flujo es del orden de 100 líneas/mm<sup>2</sup>, lo que es aceptable en la mayoría de los casos en que se emplea la imanación por bobina.

- **3.2.2 Imanación Circular**
- Para la imanación circular, que se consigue pasando corriente por la pieza, la regla simple es empleando 40 A(cc)/mm del diámetro de la pieza. Para piezas menores, por lo general una corriente ligeramente menor es suficiente. Para piezas más grandes, esta regla puede requerir corrientes más altas que las disponibles. En el caso de defectos superficiales, corrientes muy inferiores a las indicadas en esta regla son generalmente satisfactorias.
- Cuando se emplean puntas de contacto, la corriente necesaria depende del grosor del material y de la separación de las puntas. La tabla siguiente muestra las recomendaciones de la Norma 109-63 de la American Society for Testing Materials. (A efectos de este manual las dimensiones se indican en unidades SI).

**TABLA 1**

Distancia entre las Puntas de Contacto e Intensidad de la Corriente

<u>Distancia entre Puntas</u>	<u>Espesor de la Sección</u>	
	Menos de 75 mm	Mayores de 15mm
50 a 100mm	200 a 300 A	300 a 400 A
101 a 150mm	300 a 400 A	400 a 600 A
151 a 200mm	400 a 600 A	600 a 800 A

NOTA: La separación entre puntas menor de 50 mm no es factible por lo que deberá emplearse otro método de Inspección.

- **3.2.3 Distribución del Campo en Conductores Magnéticos y No Magnéticos**
- El flujo magnético dentro y alrededor de un conductor portador de corriente variará de acuerdo con el material, su tamaño y forma. Como quiera que cuando se inspeccionan piezas huecas tales como tubos, aros, etc. se emplean conductores, es importante saber o conocer la distribución e intensidad del flujo tanto en la pieza como en el conductor.
- **3.2.4 Diagramas de Distribución**
- Los diagramas de las Figuras 3-3, 3-4 y 3-5 siguientes, ilustran la distribución del campo dentro y alrededor de los conductores magnéticos y no magnéticos

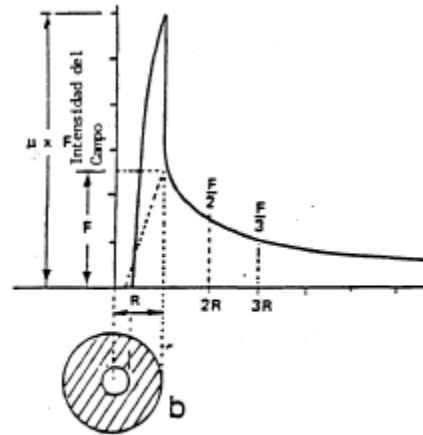
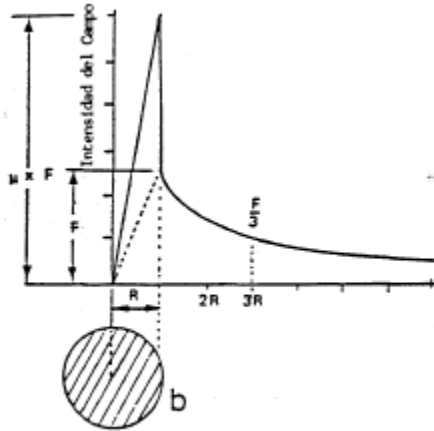
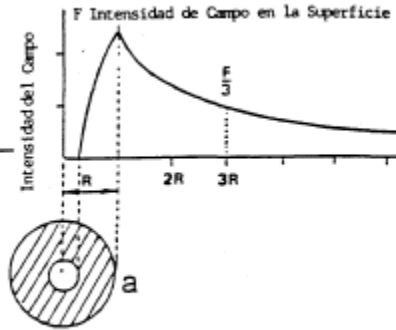
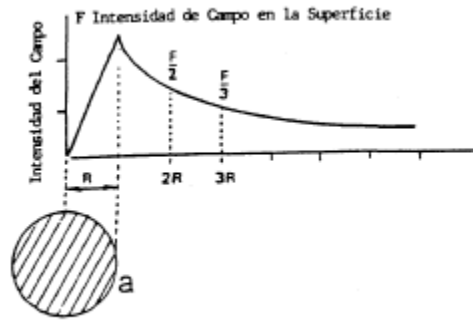


FIGURA 3-3  
DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO EN Y  
ALREDEDOR DE CONDUCTORES  
SÓLIDOS

a) Conductor NO MAGNÉTICO portador de corriente; a  $2R$  del centro la intensidad del campo será  $F/2$ , etc.

b) Conductor MAGNÉTICO portador de corriente donde:

$R$  = radio  
 $F$  = campo en la superficie  
 $\mu$  = permeabilidad del material

el campo en la superficie sería  $\mu \times F$ .

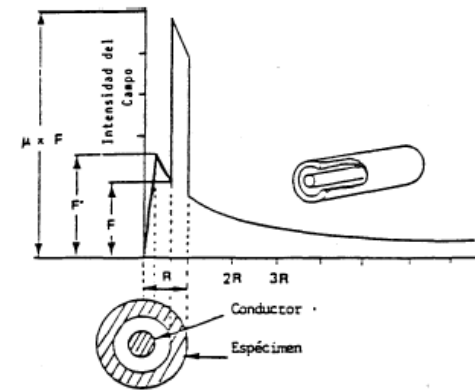
FIGURA 3-4  
DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO EN Y  
ALREDEDOR DE CONDUCTORES  
HUECOS

a) Conductor NO MAGNÉTICO portador de corriente donde:

$R$  = radio y  
 $F$  = intensidad en la superficie  
A  $3R$  del centro la intensidad del campo será  $F/3$

b) Conductor MAGNÉTICO portador de corriente donde:

$R$  = radio  
 $F$  = campo de la superficie  
 $\mu$  = permeabilidad del material  
el campo en la superficie sería  $\mu \times F$ .



donde  
 $F'$  = campo en la superficie del conductor  
 $F$  = campo dentro de la superficie del cilindro  
 $R$  = radio exterior del cilindro

FIGURA 3-5  
DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO DENTRO Y ALREDEDOR DE UN CILINDRO  
MAGNÉTICO HUECO, LA CORRIENTE FLUYE POR UN CONDUCTOR CENTRAL

## **CUESTIONARIO TERCERA LECCIÓN MT**

1. ¿Qué es dirección del campo?
2. ¿Qué es Imanación longitudinal?
3. ¿Con que equipos se consigue la imanación longitudinal?
4. ¿Qué es una imanación circular?
5. ¿Con qué equipos se consigue la imanación circular?
6. ¿Qué es imanación directa e indirecta?
7. ¿Qué es imanación local?
8. ¿Cómo es la imanación longitudinal con yugo?
9. ¿Que es la intensidad del campo magnético?



# **EJECUCION DE LA INSPECCIÓN**

## **Capitulo IV**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

- 4.1 Cuando se emplea el método de inspección por partículas magnéticas, el examen satisfactorio de una pieza o una inspección de superficie, depende de la observación rigurosa de los requisitos siguientes en su orden lógico de aplicación.
- (a) Preparación de la Superficie a Inspeccionarse
- (b) Imanación de la Superficie a Inspeccionarse
- (c) Selección y. Aplicación del Medio Indicador
- (d) Interpretación de las Discontinuidades
- (e) Desimanación
- (f) Limpieza Final

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.2 Preparación de la Superficie a Inspeccionar**
- La sensibilidad del método de inspección por partículas magnéticas es función de la condición superficial del espécimen. La rugosidad o aspereza de la superficie tiende a reducir la eficacia de la inspección por distorsión del campo magnético o por dificultar el movimiento de las partículas para formar la indicación de un defecto. Por regla general, cuanto más lisa sea la superficie de la pieza y más uniforme el contraste de su color hacia el medio de inspección empleado, tanto mayor será la sensibilidad. En primer lugar, es preciso determinar si la pieza posee permeabilidad suficiente para su
- inspección por el método de partículas magnéticas. Esta fase generalmente se realiza empleando un imán permanente potente. La segunda consideración a tenerse en cuenta es la condición de la superficie del material y el trabajo requerido en su preparación. Por lo general las piezas se limpian y secan; no obstante, si bien esta práctica es aconsejable no será siempre necesaria, posible o incluso económica. Se espera que la información siguiente sobre la preparación de la superficie permitirá llegar a un compromiso o término medio satisfactorio.

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.2.1. Desmontaje**
- En toda inspección, uno de los requisitos más importantes es que los componentes se desmonten siempre que sea posible. Esta operación pone a disposición del técnico u operador la máxima área disponible.
- El desmontaje también reduce la posibilidad de indicaciones confusas que se producen en aquellos puntos donde las piezas entran en contacto, creando campos de fuga. Asimismo, las piezas desmontadas son de más fácil manejo, los requisitos de inspección se determinan con mayor facilidad y los métodos de desimanación y limpieza final resultan más sencillos. Cuando es posible desmontar las piezas al máximo, se puede conseguir una inspección mucho más minuciosa.
- **4.2..2 Obturación o Cobertura**
- Es posible que las partículas magnéticas o, en el caso del método por vía húmeda, el medio líquido, puedan dañar los componentes o partes de una pieza sometida a inspección por partículas magnéticas.
- Ejemplos de esto podrían consistir en el caso de partículas que obstaculicen el proceso al adherirse a superficies de fricción; deterioro de empaquetaduras internas por el medio líquido o por las partículas; o en casos en que el proceso podría dañar las superficies adyacentes pintadas o terminadas. Para evitar estas situaciones la obturación o cobertura se convierte en requisito. Las pequeñas aberturas o agujeros que podrían atrapar materiales extraños deberán obturarse con tapones de plástico o grasa de gran
- consistencia, mientras que las zonas que deban cubrirse deberán protegerse por medio de tiras o cintas apropiadas. La adherencia a estas reglas preliminares necesarias eliminará la acumulación de partículas y del medio líquido en áreas que no podrán limpiarse completamente por el método acostumbrado de limpieza y aire comprimido.

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.2.3 Limpieza Previa a la Inspección**
- La posibilidad de que los productos empleados en la limpieza de los materiales queden atrapados en las aberturas o agujeros, requiere que se tomen las mismas medidas de obturación y bloqueo que en el caso de sustancias empleadas en la inspección. El procedimiento de limpieza previa tiene por finalidad corregir aquellas condiciones de la superficie que podrían afectar bien la ejecución de la inspección propiamente dicha o la detección eventual de las indicaciones de los defectos que se buscan. Por regla general, el proceso de limpieza previa debe eliminar toda sustancia extraña, contaminantes o residuos que pudieran impedir la aplicación adecuada de la corriente, la distribución o concentración de partículas, o la intensidad o definición de la indicación o señal de la partícula magnética. No existe ningún método de limpieza que pueda garantizar la eliminación de todas las condiciones o contaminantes indeseables que se encuentren al emplear el método de inspección por partículas magnéticas. Además de ser inadaptable a diversas condiciones de inspección, el proceso podría afectar a ciertas aleaciones o a los terminados de la superficie. En consecuencia, el proceso de limpieza debe considerarse habida cuenta de los posibles efectos indeseables

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.3 Métodos de Limpieza**
- A continuación enunciamos algunos de los métodos de limpieza empleados en la preparación de la inspección.
- **4.3.1 Agentes Alcalinos**
- Los limpiadores alcalinos se emplean en solución acuosa que contenga una mezcla de los mismos con, en algunos casos, detergentes y eliminan cierta contaminación de aceites y grasas por medio de la saponificación o emulsión de estos contaminantes. Los agentes alcalinos por lo general se aplican por inmersión o rociado a temperatura ambiente o más elevadas
- **4.3.2. Desengrasado al Vapor**
- En el desengrasado al vapor, la atmósfera gaseosa que se halla encima del baño caliente de un disolvente tal como tricloroetileno se condensa sobre las piezas y disuelve los contaminantes. Es de gran eficacia para eliminar aceites, ceras y grasas. Este proceso no es sin embargo totalmente seguro para eliminar materiales inorgánicos tales como suciedad o productos de corrosión, depósitos minerales, plásticos, barnices o capas de pintura. En algunos casos puede incluso producir un efecto adverso sobre los terminados de los materiales.
- **4.3.3 Agentes Disolventes**
- Los disolventes se emplean para eliminar aceite, cera y contaminantes de tipo graso. Son similares en su función al desengrasado al vapor, si bien algo menos efectivos, y operan bajo el principio de la dilución por disolvente. En la mayoría de los casos estos agentes se emplean por rociado, con una bayeta o por inmersión.
- **4.3.4 Limpieza Ultrasónica**
- La limpieza ultrasónica combina los agentes disolventes o detergentes con la vigorosa agitación mecánica inducida por un transductor ultrasónico de frecuencia apropiada que libera los contaminantes.
- Puede emplearse con agua y detergente cuando el material que se desea eliminar es inorgánico (óxido suciedad, materiales de corrosión, etc.) o con un disolvente orgánico si los materiales a eliminarse son orgánicos, (aceites, residuos de pintura, lubricantes, etc.).

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.3.5 Limpieza al Vapor**
- Esta técnica emplea el vapor como medio impulsor de la solución de limpieza hacia los sustratos a temperaturas relativamente altas bajo presión y se emplea para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos no firmemente adheridos.
- **4.3.6 Limpieza Mecánica**
- Los métodos mecánicos tales como cepillo de alambre o limpieza con chorro abrasivo pueden emplearse para eliminar óxidos u otros productos de corrosión. Como quiera que estos métodos pueden dañar las piezas que se inspeccionan y posiblemente ocultar discontinuidades diminutas, estos efectos deberán considerarse antes de programar su utilización.
- **4.3.7 Eliminación de Pintura**
- Los productos para eliminar la pintura se emplean cuando la presencia de una capa de pintura pudiera ocultar posibles indicaciones subyacentes o evitar el contacto eléctrico con la pieza.

# PREPARACION DE LA PIEZA

- **4.4 Precauciones con Respecto a la Preparación de la Superficie**
- (a) El polvo o la tierra contaminarán los baños fijos
- (b) El método de contacto requiere que las capas de recubrimiento no conductoras se eliminen para permitir el paso de la corriente por la pieza.
- (c) Los contaminantes pueden causar indicaciones erróneas u ocultar defectos.
- (d) La Inspección por partículas magnéticas frecuentemente se efectúa sobre especímenes con capas de protección tales como minio, pinturas, esmaltes o materiales de chapado, tales como cromo, níquel, zinc, etc. Por lo general éstos no se opondrá a formaciones o indicaciones satisfactorias, siempre y cuando su espesor no exceda de 0.1 mm. Las capas de pintura o chapado sobre la superficie de la pieza que se examina pudieran hacer que las indicaciones de partículas magnética que aparecen, tuvieran la apariencia asociada con discontinuidades subsuperficiales. Que sea preciso eliminar la capa de pintura o chapado dependerá tanto de su espesor como del tamaño del defecto buscado. Los recubrimientos o revestidos parciales o discontinuos, independientemente de si son conductores o no, tendrán tendencia a retener partículas indicadoras en sus bordes dando.~ así la impresión de una discontinuidad.

# SELECCIÓN DEL MÉTODO O TÉCNICA

- En la inspección por partículas magnéticas existen numerosas variaciones en los procedimientos a emplearse que se hacen necesarios por el tipo y la geometría de los materiales ferromagnéticos que se examinan, por el tipo y localización de las discontinuidades buscadas, y por el grado de sensibilidad requerido, accesibilidad de la pieza y economías pertinentes. El técnico deberá conocer las diversas técnicas y el procedimiento para saber cual y en que grado afectará al resultado final.
- Las principales variantes en técnica tratan de:
  - (a) Aplicación de Partículas
    - - Tipos de partículas
    - - Método de aplicación: Vía Húmeda ó Vía Seca
    - - Orden de operaciones: Método Continuo o Método Residual.
  - (b) Imanación:
    - - Tipo de corriente imanadora empleada
    - - Dirección del campo magnético
    - - Selección de la corriente adecuada.
  - (c) Tipos de Equipo
- **4.4.1 Técnicas de Imanación**
- El orden de operaciones para la imanación de la pieza y la aplicación del medio indicador ejercen gran influencia sobre la sensibilidad del método. Algunos de los métodos de imanación son los siguientes:

# SELECCIÓN DEL MÉTODO O TÉCNICA

- **4.4.1.1 Método Continuo**
- El polvo seco se aplica a la superficie de la pieza mientras fluye la corriente imanadora. Este método permite máxima sensibilidad, dado que el campo magnético es máximo mientras se aplica el medio. La corriente imanadora continúa fluyendo mientras las partículas se aplican y mientras se eliminan las excedentes. Si la corriente se desconectara antes que se hayan eliminado las partículas excedentes, las únicas indicaciones que permanecerán serán las retenidas por el campo residual. Cuando se emplea el método continuo por vía húmeda, el líquido se dispersa generalmente sobre el área que se inspecciona e inmediatamente después se aplica la corriente imanadora durante medio Seg. aproximadamente. El medio de inspección no deberá aplicarse de nuevo una vez que ha cesado el flujo de corriente, ya que esto lavaría las indicaciones no muy pronunciadas.
- **4.4.1.2 Método Residual**
- Este método se basa en el campo residual remanente una vez que se ha desconectado la corriente imanadora, en cuyo momento se aplica el medio indicador. Así, como quiera que la inspección depende de la intensidad del campo residual, este método sólo puede utilizarse sobre materiales de retentividad magnética relativamente alta.
- Dado que la efectividad del método residual depende de la intensidad de la corriente imanadora y de la retentividad magnética del acero, variará con composiciones y tratamientos térmicos diferentes. Por lo general, la retentividad aumenta con el aumento en dureza, aunque algunos aceros poseen una retentividad muy baja por lo que el método residual no es enteramente satisfactorio.
- En el método residual el intervalo entre la descarga de corriente imanadora y la inspección deberá ser lo más corto posible; dependerá en suma de la retentividad de la pieza.
- En la inspección por el método residual las piezas no deberán colocarse juntas y deberán manejarse con cuidado entre el tiempo de la descarga imanadora y la inspección. Un manejo descuidado reducirá el magnetismo retenido por la pieza y el contacto entre una pieza imanada y otra deformará el campo magnético retenido y ocasionará polos locales que podrían hacer difícil la interpretación.
- **4.4.2 Partículas Magnéticas y Métodos de Aplicación**
- Existen varias formas y colores de partículas magnéticas. El tipo de superficie y el tipo del defecto que se desea detectar serán factores determinantes en la selección del material.
- **4.4.2.1 Método por Vía Seca**
- Con este método, por medio de un saco pulverizador, atomizador o dispositivo de rociado, se distribuyen finas partículas magnéticas en polvo, recubiertas para darles mayor movilidad, sobre la pieza que se desea inspeccionar. Se pueden emplear partículas magnéticas de diversos colores y éstas se seleccionan para facilitar el mejor contraste con el color de la pieza. El contraste de color también puede mejorarse rociando la superficie con una laca blanca o revelador blanco empleado en el examen o inspección por líquido penetrante. Después se emplea un polvo magnético oscuro para máximo contraste. El método por vía seca es el más fácil sobre las superficies ásperas o rugosas y es muy portátil.
- El polvo deberá aplicarse lentamente con la fuerza necesaria para dirigir las partículas a los puntos deseados. Esto permite que las partículas se agrupen formando imágenes indicadoras a medida que se aproximan a la superficie de la pieza imanada. El exceso de polvo deberá eliminarse con un chorro de aire sólo suficientemente potente para eliminar el exceso de polvo sin alterar o perturbar las imágenes ligeras formadas por las partículas.

# SELECCIÓN DEL MÉTODO O TÉCNICA

- **4.4.2.2 Método por Vía Húmeda**
- Las partículas indicadoras empleadas en el método por vía húmeda son menores que las del método seco, y se suspenden en un baño de agua o destilado de petróleo ligero. Debido al pequeño tamaño de su partícula, el método por vía húmeda es más sensible a defectos superficiales finos, aunque no es tan sensible como el seco para la detección de discontinuidades internas.
- El baño debe agitarse continuamente para evitar la sedimentación de las partículas. El uso de una suspensión acuosa presenta varias ventajas; su sensibilidad es igual o mejor que la del aceite, eliminándose el riesgo de incendio por la formación de arco. Presenta también ventajas económicas.
- Sin embargo, cuando quiera que el agua se emplee en estrecha proximidad con circuitos eléctricos, existe la posibilidad de que se produzca el paso de corriente al operador o técnico. Se deberán tomar todo tipo de precauciones para evitar tales riesgos.
- El líquido se puede vertir o rociar sobre la superficie que se Inspecciona, o la pieza puede sumergirse enteramente en el baño. El menor tamaño de la partícula aumenta la sensibilidad, y defectos sumamente pequeños se localizan sin gran dificultad. El polvo se puede adquirir en colores rojo o negro; el rojo permite una mejor visibilidad sobre superficies oscuras. Cuando las partículas están recubiertas de un colorante de gran fluorescencia bajo luz ultravioleta (negra) aumentará la sensibilidad del método. La inspección fluorescente detectará discontinuidades muy pequeñas o finas y permitirá la
- rápida inspección de superficies irregulares u oscuras.
- El método por partículas magnéticas fluorescentes es particularmente valioso para la localización de discontinuidades en esquinas, ranuras, acanaladuras, agujeros profundos y otros similares. Las indicaciones parásitas pueden por lo general eliminarse reduciendo la corriente por debajo del punto en el que se forman estas indicaciones.

# SELECCIÓN DEL EQUIPO

- **4.4.3 Tipo de Equipo**
- El tipo de equipo empleado dependerá del tamaño, forma, número y variedad de las piezas a inspeccionarse. Para la inspección en producción de piezas pequeñas, generalmente se emplea un banco provisto de puntas de contacto con dispositivos de fijación para producir imanación circular y una bobina incorporada para la imanación longitudinal. El método por vía húmeda es el generalmente empleado en tales aplicaciones.
- Si las piezas son grandes, las unidades más convenientes son las de tipo portátil provistas de puntas de contacto o de yugo, o incluso de bobinas enrolladas a mano. Frecuentemente también se utiliza corriente rectificada de media onda con polvo seco. Se puede también emplear el método por vía húmeda pero en este caso se deja que el líquido se escurra por sí mismo por lo que no es recuperable. Para la inspección de piezas similares producidas en masa, frecuentemente se construyen sistemas automáticos o semiautomáticos. Su mayor coste queda justificado por una inspección más uniforme y segura. Por lo general, con estos sistemas avanzados se emplea el método húmedo ya que las superficies son más fáciles de cubrir con una suspensión líquida de partículas que con una nube de polvo seco.

## **CUESTIONARIO CUARTA LECCIÓN MT**

1. ¿Cómo se hace un procedimiento de inspección para realizar un ensayo de MT?
2. ¿Cómo se hace la preparación de la superficie a inspeccionar?
3. ¿Cuáles son las diferentes técnicas de limpieza para realizar un ensayo de MT explique cada uno de ellos?
4. ¿Cómo se selecciona el método o técnica de inspección con partículas magnéticas?
5. ¿Qué es método continuo y método residual?
6. ¿Qué es el método para vía seca y por vía húmeda?
7. para evitar la sedimentación de las mismas.
8. ¿Cuáles son los tipos de equipos utilizados?
9. ¿Cómo se aplica el método vía seca?
10. ¿Cómo se aplica el método vía húmeda? ¿Para el método de fluorescente que lámpara se utiliza?



# **INTERPRETACIÓN DE INDICACIONES, DESIMANACIÓN Y LIMPIEZA FINAL**

## **Capitulo V**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# INTERPRETACION

- **5.1 INTERPRETACIÓN DE INDICACIONES**
- Las tres etapas examinadas hasta ahora culminarán en la presentación, para su análisis o interpretación, de una imagen formada por partículas magnéticas causada por un defecto, falla o discontinuidad. Esta sección tratará de la Interpretación de la discontinuidad y comentará acerca del efecto de la falla cuando la pieza entra en servicio.
- En la inspección no destructiva de materiales las expresiones indicación, defecto, discontinuidad o falla frecuentemente se intercambian erróneamente. En un sentido estricto, una indicación es una respuesta que requiere interpretación para determinar su significado. En la inspección por partículas magnéticas, esto puede ser cualquier imagen formada por partículas magnéticas, magnética mente formada bajo la superficie de la pieza que se examina. Un defecto es una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación o situación la hace de trimental al servicio útil de la pieza. Finalmente, una falla es una imperfección en un producto o material que pudiera no ser nociva.
- Al examinar una indicación formada por partículas magnéticas es necesario conocer algo acerca de la historia y uso de la pieza. Ello simplificará la interpretación y pudiera asimismo ayudar a determinar si la indicación es superficial o interna. Partiendo de códigos, normas o manuales de ingeniería, el técnico cualificado puede determinar si la discontinuidad o falla pudiera ser perjudicial al servicio a que se destina la pieza.
- **5.1.1 Posición de la Discontinuidad**
- (a) Indicación de Superficie
- Las discontinuidades que se abren a la superficie generalmente producen imágenes claras, concretas y compactas. Esto es especialmente cierto en el caso de fisuras, grietas muy finas etc., que son difíciles de ver aunque especialmente peligrosas.
- (b) Indicaciones Internas

# INTERPRETACION

- Las discontinuidades debajo de la superficie tienden a producir indicaciones menos definidas. Crean una imagen más difusa o borrosa que las indicaciones superficiales.
- 5.1.2 Tipos de Discontinuidades
- Las numerosas discontinuidades halladas en piezas fundidas, forjadas o conjuntos soldados pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo con el momento en que se producen.
- (a) Discontinuidades Inherentes
- Estas se refieren a la solidificación del metal fundido. Pueden formarse durante la solidificación original del lingote o más tarde, durante los procesos de fundición, colada y solidificación del metal.
- (b) Discontinuidades de Proceso
- Estas se refieren o se producen durante los diferentes procesos de fabricación tales como conformado, extrusión, laminado, maquinado, soldadura, tratamiento térmico, cromado, etc.
- (c) Discontinuidades Inducidas por el Servicio
- Estas están relacionadas con las diversas condiciones de servicio a las que se somete la pieza, es decir, fatiga, corrosión bajo tensión, erosión, etc.
- La Tabla 5-1, par. 5.1.2.3, recomienda prácticas de inspección para diferentes tipos de discontinuidades.

# INTERPRETACION

- **5.1.2.1 Discontinuidades Inherentes que Responden al Método de Inspección por Partículas Magnéticas**
- (a) Inclusiones
- Las inclusiones son materiales no metálicos tales como óxidos y sulfuros presentes en el lingote o tocho originales. Las inclusiones son más prevalentes en ciertos tipos de acero y por lo general discurren paralelas a la orientación del grano en la pieza. Se dan dos tipos de inclusiones: la variedad no metálica que posee un punto de fusión menor que la de los lingotes o tochos, y la variedad no plástica que permanece en estado sólido durante la fundición del tocho. Cuando se emplea la inspección por partículas magnéticas sobre piezas de máquinas, las inclusiones no metálicas tienden a producir indicaciones rectas y largas intermitentes o continuas, mientras que las inclusiones no plásticas se presentan como masas grandes generalmente paralelas a las líneas de flujo. Las indicaciones o señales de inclusiones internas por lo general son amplias y difusas, raramente continuas y de ancho Irregular.
- Las Inclusiones mayores, especialmente las que se hallan próximas a la superficie, serán más claramente definibles. Sin embargo, un examen más minucioso pudiera revelar falta de definición y varias líneas de indicación en lugar de una sola línea, lo que frecuentemente hace posible distinguir o diferenciar una inclusión mayor de una grieta.
- (b) Segregación
- La segregación es una distribución no uniforme de los elementos que entran en la aleación, resultante de gradientes de concentración durante la solidificación. La segregación en forma de bandeado en el acero puede producir una serie de indicaciones cortas y finas.
- (c) Rechupes
- El rechupe es una cavidad central formada cuando el molde recibe una cantidad inadecuada de metal líquido. Debido a su alejamiento de la superficie, los rechupes por lo general no pueden detectarse por la inspección con partículas magnéticas, por lo que se inspeccionan más adecuadamente empleando técnicas ultrasónicas o radiográficas.

# INTERPRETACION

- (d) Microporosidad
- Los micro poros se forman durante el enfriamiento del metal, cuando los dendritas o formaciones ramificadas se unen, aislando pequeñas bolsas de metal líquido que finalmente se solidifican y dejan vacíos diminutos. Este defecto generalmente ocurre en materiales no ferrosos por lo que no es susceptible a la inspección por partículas magnéticas.
- (e) Porosidad
- Los gases atrapados durante el período de solidificación crean una porosidad fina o agujeros. Si se producen dentro del metal, se conocen como poros; si por otra parte se hallan presentes en la superficie se denominan sopladuras. Al ser interna, la porosidad produce indicaciones de defectos que son anchos y difusos. En razón a que no siguen un patrón de dirección, para la localización de tales defectos se requiere máxima sensibilidad.
- (f) Desgarramiento en caliente
- El enfriamiento no uniforme durante la colada resulta en tensiones que quiebran la superficie del metal después de su solidificación mientras la temperatura se halla aún en el intervalo frágil. Entonces se pueden producir grietas por contracción que aparecerán como líneas quebradas de ancho diverso con numerosas ramificaciones que se producen individualmente o en grupos. La inspección por partículas magnéticas puede localizar estas grietas por contracción expuestas a la superficie, pero si el espesor es superior a los límites de las posibilidades del método por partículas magnéticas entonces se sugiere la inspección ultrasónica o radiográfica.
- (g) Corte frío
- Si el metal se vierte en el molde con demasiada rapidez parte del metal derretido puede salpicar en anticipación al chorro de vertido. La solidificación de estas salpicaduras en anticipación al chorro principal resultarán en una unión mediocre con el resto de la pieza, lo que resulta en una sección de metal mal fusionado llamada corte frío. La indicación de este defecto será una indicación superficial o cerca de la superficie fácilmente discernible por el método de inspección por partículas magnéticas.

# INTERPRETACION

- **5.1.2.2 Discontinuidades de proceso que responden a la inspección por partículas magnéticas**
- (a) Costuras
- El lingote empleado en la producción de barras o raíles puede contener defectos primarios tales como grietas o fisuras. Durante el laminado o ejecución de otros procesos estos defectos pueden cerrarse para formar un defecto que sea largo y recto en apariencia y generalmente paralelo al eje longitudinal de la barra. Esto es lo que se llama una costura. Sus indicaciones son por lo general rectas, claras y finas.
- Frecuentemente son intermitentes cuando la costura es parcialmente subsuperficial y pueden presentar indicaciones apenas perceptibles.
- (b) Pliegues
- El pliegue puede ser debido a una aleta saliente de metal producida por el laminado o a una rebaba resultante del proceso de forja. Dado que en la mayoría de los casos un pliegue no es normal que sea superficial, las indicaciones serán gruesas e irregulares debido a que el defecto presente en el metal estará en ángulo. Si el pliegue contiene además cascarillas, la indicación principal contendrá también pequeñas indicaciones similares a hojas de helecho.
- (c) Explosiones
- Las explosiones son cavidades internas que se desarrollan a ciertas temperaturas durante el proceso cuando el material no fluye suficientemente, al ser laminado, forjado o extruído. Estas cavidades generalmente corren paralelas a la granulometría de la pieza, pero pueden variar en tamaño formando discontinuidades que varían desde anchas a muy finas y compactas. La inspección por partículas magnéticas es un método eficaz de inspeccionar los materiales ferrosos para la detección de explosiones en la superficie o cerca de ésta.
- 
- Producen indicaciones similares a las grietas por tratamiento térmico excepto que las líneas son menos quebradas o discontinuas.
- (d) Desgarramiento por Maquinado
- Prácticas deficientes de maquinado, tales como herramientas de corte poco afiladas o una extracción excesiva de material en una sola pasada pueden producir un defecto en el metal denominado desgarramiento por maquinado. Este tipo de discontinuidad se denotará por líneas cortas e irregulares que se producirán en ángulos rectos con respecto a la dirección del maquinado.
- (e) Grietas de Tratamiento Térmico
- El tratamiento térmico puede ocasionar tensiones internas, especialmente en áreas en que secciones transversales del material pudieran variar, y que pueden ser grandes hasta el punto de quebrar el material, dejando grietas debidas al tratamiento térmico. Estas forman una imagen clara bien definida y concreta en la inspección por partículas magnéticas, que característicamente pueden ser un grupo de líneas cortas o quebradas y agrupadas, frecuentemente en series curvas.
- (f) Grietas de Amolado
- El amolado de superficies endurecidas puede sobrecalentar la superficie y producir grietas en ángulos rectos a la dirección del amolado. Estas grietas forman característicamente una red fina de poca profundidad. La base del defecto es muy marcada y producirá el núcleo para el inicio de una falla por fatiga. Debido a su profundidad limitada, las grietas por amolado raramente inducen una gran acumulación del medio indicador. La orientación de la discontinuidad variará desde una línea única a grupos de líneas con orientación diferente.

# INSPECCIONES

- (g) Grietas por Ataque Ácido o por Cromado
- Estas grietas se hallan cuando aún quedan tensiones residuales altas de procesos anteriores tales como endurecido. Cuando tales áreas se recubren, estas tensiones pueden causar grietas en el revestido.
- (h) Discontinuidades de Soldadura
- La inspección por partículas magnéticas es muy corriente en las soldaduras, especialmente en secciones irregulares en las que el contorno de la pieza o la configuración de la superficie en la unión de las soldaduras hace inaplicable la inspección ultrasónica o radiográfica. La siguiente es una lista de los tipos más importantes de discontinuidades en soldaduras.
- (i) Falta de Penetración — Por su propia naturaleza, la falta de penetración es el más profundo de los defectos en soldadura y deberá Inspeccionarse utilizando corriente imanadora (cc) empleando el medio seco. La indicación será ancha y difusa, lo que es típico de una discontinuidad interna.
- La inspección por partículas magnéticas es una inspección para defectos superficiales o próximas a la superficie y no deberá considerarse apta para detección de defectos a profundidades mayores de 6 mm.
- (ii) Inclusiones — Las inclusiones que se hallan en elementos soldados pueden tener cualquier forma y ser metálicas o no metálicas (p.e. óxidos, sulfuros, escorias, etc.). Las inclusiones de escoria alargadas por lo general se hallan en la zona de fusión, aunque pueden hallarse en cualquier parte de la soldadura inclusiones aisladas de forma irregular. El método de inspección por partículas magnéticas se limita a soldaduras automáticas donde la discontinuidad es superficial o cerca de la superficie e incluso se producirán muchos casos de

# INSPECCIONES

- indicaciones no pronunciadas, quebradas y de forma irregular.
- (iii) Porosidad — Las bolsas de gas que se producen en metales soldados aparecerán como vacíos. La inspección por partículas magnéticas puede solamente ayudar a localizar los poros cerca de la superficie.
- (iv) Grietas por Contracción — Una velocidad desigual de enfriado o la contracción de la soldadura pueden resultar en discontinuidades marcadas conocidas como grietas por contracción.
- Estas son comunes en las soldaduras y se localizan adecuadamente por medio de la inspección por partículas magnéticas.
- (v) Fusión Incompleta — La falta de fusión entre el material de soldadura y el metal base ocasionará una discontinuidad conocida como falta de fusión. La indicación resultante produce una imagen débil que denota bien un defecto superficial próximo a la superficie que sigue la dirección del borde de la soldadura.
- (vi) Grietas — Las grietas en el metal soldado, las grietas de tipo cráter y las grietas en la zona afectada por el calor se detectan fácilmente mediante la inspección por partículas magnéticas.
- Tales grietas pueden producirse en cualquier dirección con respecto al eje de la soldadura.
- (vii) Penetración Incompleta - La detección de penetración incompleta sólo puede efectuarse en una soldadura de una sección relativamente delgada. Esta indicación es difícil de reconocer dado que es ancha y mediocrementemente definida.

# INSPECCIONES

- (viii) Otras Indicaciones — Las condiciones que se producen cerca de la superficie, tales como inclusiones de escoria, bolsas de gas, y otros vacíos pueden detectarse si su tamaño y forma son suficientes para perturbar las líneas magnéticas de fuerza.
- **5.1.2.3 Discontinuidades de Servicio que Responden a la Inspección por Partículas Magnéticas.**
- Los tipos de defectos propios de esta serie son aquellos que se producen o resultan de cargas operativas y ambientales a las que la pieza o componente está sujeta durante su servicio.
- (a) Sobrecarga
- La exposición de una pieza a cargas superiores a aquellas para las que fue diseñada constituye una sobrecarga. El daño potencial, que se producirá en partes entalladas o en filetes aparecerán, si son incipientes, como indicaciones claras y definidas fácilmente identificables por la inspección por partículas magnéticas.
- (b) Grietas por Fatiga
- Cuando una pieza se somete a tensiones cíclicas, se desarrollan grietas microscópicas en las áreas de concentración de la tensión o cerca de éstas que irán creciendo progresivamente con otras cargas hasta que comiencen a aparecer grietas finas causadas por fatiga, lo que hará que la pieza o componente falle con el tiempo. Esto se producirá en agujeros de engrase, acanaladuras, entallados, filetes, chaveteros, etc., donde o bien el diseño fue defectuoso o el material ha sufrido daño. Dado que las grietas por fatiga
- tienen su origen en la superficie son fácilmente observables en materiales ferro— magnéticos mediante inspección por partículas magnéticas. Producen una imagen clara y definida que es por lo general uniforme y continua en todo su largo.
- (c) Corrosión
- La aparición de corrosión es importante en razón de que pueden desarrollarse concentradores de tensión a partir de picaduras de corrosión, además produce debilitamiento de las estructuras por reducción de las secciones resistentes. La indicación que resulta durante la inspección por partículas magnéticas deberá analizarse con respecto a dos efectos: la magnitud del deterioro superficial y la posibilidad de otros defectos ocultos.

# INSPECCIONES

- (d) Corrosión bajo Tensión
- Estos tipos de defectos varían desde grietas muy superficiales hasta muy profundas, generalmente siguiendo la granulometría del material. Ese tipo de defecto es muy prevalente en materiales no magnéticos. No obstante, cuando se inspecciona un material ferromagnético para detectar corrosión bajo tensión, puede aplicarse la inspección por partículas magnéticas.
- **5.1.3 Indicaciones no Relevantes de Partículas Magnéticas**
- Las características del diseño o la propiedades del material pueden dar lugar a campos de fuga que resultan en indicaciones reales al efectuar la inspección por partículas magnéticas. Tales indicaciones se denominan parásitas y el técnico debe tener habilidad para reconocerlas como siendo no significativas.
- (a) Modificaciones Estructurales
- Una pieza imanada cuya sección varía bruscamente presenta un aumento en la densidad de flujo interno en el punto donde se presenta la variación. Cuando las líneas de flujo salen del material se forman polos externos que pueden dar lugar a una indicación. Dado que toda' Indicación debida a una modificación estructural aparece en la proximidad de un punto donde la sección varía y es un tanto difusa, generalmente se puede reconocer. El principal inconveniente de este tipo de indicación parásita es que corre el riesgo de ocultar un defecto real. En presencia de tales condiciones, frecuentemente es posible mejorar el método de inspección disminuyendo la intensidad del campo, siempre y cuando no se reduzca la fuerza de imanación hasta el punto de que no sea posible detectar el defecto buscado.
- La indicación producida por un defecto que se encuentra en una zona donde hay una variación de sección puede distinguirse de la indicación parásita debida a esta variación por su aspecto más claro y brillante. Las indicaciones parásitas de este tipo aparecen sobre todo en lugares tales como ranuras de chaveta, filetes, raíces de rosca y cambios seccionales similares.

# INSPECCIONES

- (b) Escritura Magnética
- Cuando dos materiales ferromagnéticos entran en contacto y uno de ellos o los dos están imanados, se pueden formar polos externos en los puntos de contacto y atraer el medio o líquido indicador produciendo así una indicación o señal. El caso más corriente es el de piezas que entran en contacto durante la inspección. Si bien la escritura magnética presenta indicaciones vagas y difusas, bajo ciertas condiciones de inspección puede ser definida y suficientemente clara para que se la considere como defecto. En caso de duda, se puede fácilmente verificar el efecto de escritura magnética desimanando la pieza y repitiendo la inspección. La causa inicial, el contacto de dos materiales magnéticos imanados,
- deberá evitarse siempre.
- (c) Bronce soldadura
- Cuando el método de inspección por partículas magnéticas se utiliza para materiales ferromagnéticos bronce soldados, se obtiene una imagen que representa el contorno de la unión. Esta Indicación no está relacionada con ninguna discontinuidad perjudicial, sino que es debida a la presencia de una interfaz no magnética en el campo magnético. El método de inspección por partículas magnéticas no es utilizable en este caso y es necesario emplear otro método de inspección si se desea efectuar una inspección más
- detallada.

# INSPECCIONES

- (d) Materiales Magnéticamente Disimilares
- Cuando inadvertidamente se sueldan un acero de alto carbono con otro de bajo carbono, se produce una brusca variación en permeabilidad. En la unión se produce una concentración del campo de fuga y las partículas magnéticas formarán una imagen que indica la medida en que la unión puede ser segura una vez la pieza entra en servicio.
- (e) Deformación Plástica
- Cuando un metal sufre una deformación plástica a una temperatura inferior a la de recristalización, tal deformación endurece el acero con el consiguiente cambio en su permeabilidad. La diferencia en permeabilidad entre el área afectada y el resto de la pieza frecuentemente es suficiente para causar una indicación. La indicación causada por la deformación plástica reaparecerá bajo imanaciones repetidas y puede distinguirse de indicaciones similares de escritura magnética. Las indicaciones asociadas con

# INSPECCIONES

- deformaciones plásticas pueden Identificarse por medio de un examen con ayuda de lupa lo que permite observar la deformación del grano característica. Para hacer desaparecer la indicación, es necesario recocer la pieza a una temperatura superior a 800°C dejándola enfriar lentamente.
- (f) Imanación Longitudinal
- Cuando una pieza se somete a una imanación longitudinal utilizando una bobina o un yugo, se forman polos en los extremos de la pieza y en los puntos de contacto entre los brazos del yugo, y la pieza. El medio de inspección resulta atraído hacia estos puntos, donde se acumula, produciendo así una indicación.
- (g) Indicaciones Falsas
- Las indicaciones falsas son aquellas que dependen de otros factores que las perturbaciones magnéticas asociadas al método de Inspección empleado. Son debidas a una falta de precaución cuando se efectúa la inspección, por ejemplo, con limpieza insuficiente, mal drenaje, o atrapamiento del medio por una superficie áspera. Estos problemas pueden eliminarse por medio de una técnica de inspección correcta

# EVALUACION

- **5.1.4 Evaluación de la Discontinuidad**
- Después de haber determinado que una Indicación no es solamente una indicación parásita, queda por determinar si la misma influirá sobre el uso al que se destine la pieza. En la toma de la decisión de si se acepta, se inspecciona de nuevo o se rechaza la pieza, es necesario tener presente los factores que influyen en la decisión, p.e. coste, duración, riesgo de fallo y la medida en que un defecto puede o no tolerarse en el material. En casos en que los documentos no precisen tolerancias mínimas permitidas
- durante las inspecciones, proponemos algunas consideraciones que ayudarán en la evaluación.
- **5.1.5 Relación entre Discontinuidades y Riesgo de Fallo**
- (a) Discontinuidad Superficial o Interna
- Las discontinuidades superficiales son más significativas que las discontinuidades internas similares.
- Los defectos internos conllevan menos riesgos que si se encuentran cerca de la superficie.
- (b) Longitud
- La longitud de una discontinuidad es un buen indicativo de su importancia. No obstante, en un área sometida a grandes tensiones, incluso una discontinuidad microscópica puede representar un verdadero peligro.
- (c) Profundidad
- Cuanto mayor sea la profundidad de las discontinuidades superficiales, tanto mayor será el riesgo que presentan.
- (d) Distribución
- Las discontinuidades que se presentan en grupo o conectadas entre sí producen el mismo efecto que una sola discontinuidad más grande y son asimismo más serias que las discontinuidades dispersas.
- (e) Posición
- Las discontinuidades que se sitúan en una zona sometida a grandes tensiones presentan un mayor riesgo que las que se hallan en zonas donde las tensiones son más débiles. Cuando en una ranura de chavetero, en una brida, agujero o en cualquier otro lugar de este mismo tipo sometido a fuertes tensiones aparece una discontinuidad, se sugiere someter la pieza a reparación o rechazarla. Cuando la posición de la discontinuidad es tal que las cargas aplicadas no corren riesgo de acentuarla, se consideran como una discontinuidad menos grave y, en algunos casos, pueden aceptarse.
- (f) Utilización de la Pieza
- Si en una pieza sometida a cargas repetidas aparece una discontinuidad, esta pieza fallará mucho antes que otra de la que se requiere menos trabajo; por lo tanto, la función que deba desarrollar la pieza es una consideración necesaria en la determinación de la regla de aceptación.

# DESIMANACIÓN

- **5.2 DESIMANACIÓN**
- Los materiales ferromagnéticos pueden requerir ser desimanados antes o después de su inspección. La mayor o menor dificultad en el proceso de desimanación depende de diversos factores, y varía en función de la fuerza coercitiva requerida, de la forma de la pieza y del grado de desimanación buscado.
- Se requiere equipo diverso ya que no existe ningún sistema que pueda satisfacer todos los requisitos de la inspección.
- El campo magnético de la tierra desempeña un papel importante en la desimanación satisfactoria de un componente. Para ser desimanado, debería colocarse con el eje longitudinal o primario en dirección este—oeste. Es aparente que una pieza de gran longitud colocada en dirección norte—sur no puede desimanarse por debajo del nivel del campo magnético de la tierra.
- La eliminación total de todos los campos magnéticos es virtualmente imposible, aunque afortunadamente raramente es necesaria.

# TABLA DE EFICACIA

		C.C. SECO	C.C. HUMEDO	C.A. SECO	C.A. HUMEDO
DISCONTINUIDADES INHERENTES	INCLUSIONES		●		⊗
	SEGREGACION	⊗	●	⊗	●
	CAVIDADES TUBULARES		●		⊗
	MICROPOROSIDAD				
	POROSIDAD	⊗			
	GRIETAS	●	●	●	●
	INTERRUPCIONES POR ENFRIAMIENTO	●	●	●	●
DISCONTINUIDADES DE PROCESO	COSTURAS	●	●	●	●
	PLIEGUES	●	●	●	●
	EXPLOSIONES (INTERNAS)	⊗	⊗		
	DESGARROS MECANICOS	●	●	●	●
	FISURAS POR TRATAMIENTO TERMICO	●	●	●	●
	GRIETAS DE AMOLADO	●	●	●	●
	FISURAS DE CHAPADO	⊗	●	⊗	●
	DISCONTINUIDADES DE SOLDADURA	●	●	⊗	⊗
DISCONTINUIDADES DE USO	SOBRETENSION	●	●	●	●
	FATIGA	⊗	●	⊗	●
	CORROSION	⊗		⊗	
	CORROSION POR TENSION	⊗	●	⊗	●



Buena  
Pasable a mediocre  
Insatisfactoria

Eficacia de la inspección  
por partículas magnéticas

# DESIMANACIÓN

- **5.2.1 Razones de la Desimanación**
- (a) Preparación de una Pieza para Inspección
- Campos residuales fuertes formados durante manipulaciones anteriores, tales como por mandriles o gruas magnéticas, harán necesario que el material, si es muy retentivo, se desimane para permitir la Inspección por partículas magnéticas.
- (b) Para Evitar la Adherencia de Virutas de Maquinado
- Las virutas y partículas metálicas resultantes del maquinado se adherirán a la pieza Imanada y dificultarán esta operación dañando, bien la superficie de la pieza, o el instrumento de corte que se usa.
- La desimanación eliminará esta posibilidad.
- (c) Para Evitar la Avería de Piezas Movibles
- Si no se desimanan, las piezas movibles pueden retener partículas metálicas, que podrían dañar superficies trabajadas, cojinetes y dientes de engranajes.
- (d) Para Evitar la Desviación del Arco Eléctrico (durante la soldadura) El arco eléctrico puede desviarse desde su punto de aplicación por un campo residual fuerte; por lo tanto, las partes que deban soldarse al arco no
- deberán contener campos magnéticos fuertes.
- (e) Para Preparar la Pieza para una Nueva Imanación Antes de proceder a la imanación de una pieza en otra dirección y a una intensidad de corriente más baja que la empleada inicialmente, se deberá efectuar la desimanación para eliminar totalmente el campo magnético anterior.
- (f) Para Evitar la Retención de Partículas Magnéticas
- Cuando una pieza no está suficientemente limpia pudiera retener magnéticamente las partículas empleadas en la inspección, lo que podría ocasionar la corrosión de la superficie o dificultar procesos de recubrimiento o pintura posteriores. La desimanación ayudará en la eliminación de estas partículas.
- (g) Para Evitar Efecto Perjudicial sobre los Instrumentos
- Un campo magnético residual pudiera influir sobre instrumentos tales como brújulas magnéticas u otros componentes, por lo que tal campo magnético residual deberá eliminarse.

# DESIMANACIÓN

- **5.2.2 Desimanación Innecesaria**
- (a) Piezas de Acero Dulce
- Las piezas fabricadas de acero dulce y que poseen poca o ninguna retentividad por lo general no requieren desimanación dado que el campo magnético remanente es bajo o desaparece al retirar la fuerza magnética.
- (b) Piezas Estructurales
- Cuando la presencia de un campo magnético no produce efecto alguno sobre el funcionamiento de la pieza, pudiera no ser necesario desimanarla.
- (c) Piezas Sometidas a Tratamiento Térmico Posterior Cuando los aceros se someten a tratamiento térmico a una temperatura superior al punto de Curie (aproximadamente 700°C), dichos aceros se vuelven no magnéticos por lo que no necesitan desimanarse.
- (d) Piezas Sometidas a Operaciones Magnéticas Posteriores
- Si una pieza se imana durante un proceso posterior, su desimanación después de la inspección por partículas magnéticas puede no ser necesaria.
- (e) Piezas Sometidas Posteriormente a Campos Magnéticos Más Intensos
- Cuando se deba imanar de nuevo una pieza empleando una fuerza imanadora de intensidad igual o mayor, no es necesario desimanarla.
- (f) Piezas en las que el Campo Magnético está Totalmente Contenido
- En algunos casos, la presencia de un campo magnético circular cuyas líneas de fuerza no salen de la pieza pudiera ser aceptable. En tales casos no es necesario desimanar la pieza.

# DESIMANACIÓN

- **5.2.3 Teoría de la Desimanación**
- La desimanación se basa en el efecto histerético que se produce cuando se induce un campo magnético en un material ferromagnético por medio de una corriente cuya intensidad y dirección varían de forma periódica. Cuando a un material se aplica un campo magnético cuya dirección cambia periódicamente y cuya intensidad disminuye progresivamente, la imanación en la pieza se reducirá hasta el valor de imanación más débil que el sistema pueda producir. Referirse a la Figura 5—1.
- (a) Para producir un ciclo de histéresis se utiliza una corriente que puede variar entre dos valores opuestos.
- (b) Cuando se reduce la intensidad de la corriente, el ciclo de histéresis se achica y cada vez que se invierte la corriente la inducción disminuye.
- (c) La inducción se reduce a medida que la corriente disminuye y, bajo valores débiles de corriente, llegamos a un estado de remanencia en el que el flujo se aproxima a cero.
- (d) La intensidad del campo debe ser suficiente para invertir la fuerza coercitiva inicial, reduciendo así el campo residual; en segundo lugar, toda aplicación sucesiva de corriente debe reducirse a un nivel en el que, mientras que la fuerza imana— dora es suficiente para invertir el campo residual, es de menor intensidad que la de la vez anterior. Así, alternando la corriente y reduciendo gradualmente la intensidad del campo, el material resultará desimanado.
- (e) Debido al efecto pelicular y a la corriente alterna, es necesario que la frecuencia empleada en las inversiones se mantenga baja.

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4 Métodos de Desimanación**
- Después de la inspección por partículas magnéticas, para producir la desimanación se puede emplear una corriente continua o bien alterna. La corriente alterna se presta mejor; sin embargo, para piezas de gran volumen y pesadas o para piezas de forma irregular, la corriente continua permite una desimanación más eficaz. Existen numerosos métodos de desimanación y cada uno de éstos presenta
- tanto ventajas como inconvenientes.

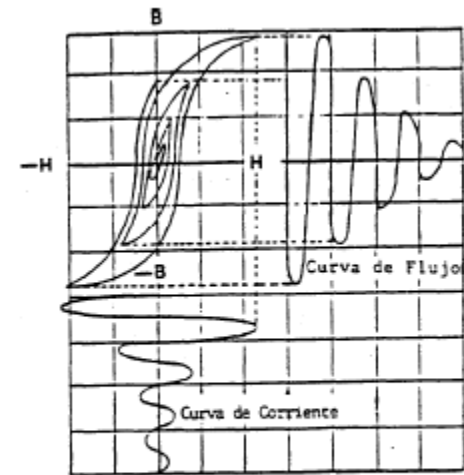


FIGURA 5—1  
Desimanación por Corriente Alterna Decreciente

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4.1 Corriente Alterna — Bobina**
- El modo más conveniente y más frecuentemente utilizado para la desimanación de piezas de tamaños medio a moderado es haciéndolas pasar por una bobina de tipo túnel, por la que se hace pasar una corriente alterna de 50 a 60 Hz. A medida que la pieza se saca axialmente de la bobina (o ésta se retira de la pieza), se produce una disminución en la intensidad del campo a medida que los efectos del campo inverso de la bobina disminuyen al aumentarse la distancia. Como método alternativo, la CA de 50 — 60 Hz puede pasarse a través de la bobina reduciéndola gradualmente a cero mientras la pieza
  - está dentro de la bobina, y la reducción gradual de la corriente consigue la desimanación de la pieza.
  - Este método es particularmente apropiado para la inspección de piezas relativamente pequeñas y numerosas, como en la inspección de producción de un gran volumen de material.
- **5.2.4.2 Corriente Alterna, Desimanación Circular, Reducción Progresiva**
- Este método puede emplearse para desimantar piezas de gran volumen y es eficaz en piezas de forma irregular con imanación circular. El resultado se consigue haciendo pasar una corriente a través de la bobina, y reduciéndola automáticamente a cero por conmutadores de reducción o transformadores variables. No obstante, este procedimiento no resuelve la falta de penetración debida al efecto pelicular
- a menos que se empleen frecuencias mucho mas bajas de 60 Hz.
- **5.2.4.3 Corriente Alterna, Corriente a Través de la Pieza, Atenuación por Bobina.**
- La corriente alterna se reduce automáticamente a cero por medio de reactancias con núcleo saturable. Este método requiere el paso de la corriente por la pieza, si bien una de sus limitaciones es la falta de penetración a menos que se empleen frecuencias mas bajas.

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4.4 Corriente Continua, a Través de la Pieza, Reducción Progresivas por Etapas con Inversión de Polaridad**
- Este método requiere un equipo especial pero es mucho más eficaz que el método descrito anteriormente. Se realiza bien por contacto directo, bien con ayuda de un conductor central. Empleando corriente continua cuya intensidad varía entre valores opuestos y que disminuye progresivamente, utilizando las inversiones con bajas frecuencias que sean posibles, se consigue una penetración más completa en secciones gruesas.
- **5.2.4.5 Reducción por Etapa**
- El principio de este método es esencialmente el mismo que el llamado método de reducción de la corriente continua en la pieza. La diferencia reside en que el campo es longitudinal inducido por una bobina, mientras que la corriente se invierte y reduce hasta que la pieza, que permanece dentro de la bobina, queda desimanada. Este método de desimanación es eficaz en piezas pequeñas dentro de una bobina estándar o en piezas mayores empleando una bobina envolvente.

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4.6 Desimananación con Campos Circulares y Longitudinales**

- La desimananación de un campo magnético longitudinal es relativamente sencilla si se dispone del equipo adecuado. La densidad del campo externo puede determinarse por el uso de instrumentos que responden a la polarización magnética.
- La desimananación de campos magnéticos de orientación circular no es posible de controlar por los procedimientos clásicos dado que el campo magnético está contenido en el material mismo. La única evidencia posible del campo magnético residual procede de cambios bruscos en la sección donde se produce una fuga. En algunos casos, y según se ha dicho anteriormente, este campo magnético circular puede representar un estado aceptable del flujo magnético. No obstante, cuando se requiere el nivel más bajo de desimananación discernible, la práctica que se sugiere es imanando longitudinalmente,
- creando un campo magnético externo para poder efectuar la medición residual y desimananar después. De esta forma, es posible determinar el grado de desimananación.

- **5.2.4.7 Desimananación con Corriente Alterna**

- Los dispositivos de desimananación más corrientemente empleados utilizan corriente alterna como medio de crear ciclos de histéresis en la pieza. La reducción del efecto de histéresis, hasta el punto en que el campo es muy bajo, se consigue retirando la pieza lentamente de un campo magnético alternativo. Este método ya se consideró en el párrafo 5.2.3. Se puede también conseguir un modo circular de desimananación pasando corriente por la pieza al mismo tiempo que se emplea un dispositivo de conmutación para reducir progresivamente el flujo de corriente alterna. Otro elemento que puede emplearse para la desimananación es el yugo magnético. Con este método se genera un campo de CA por medio del yugo que gradualmente se retira del espécimen haciendo que la imanación se invierta a medida que el campo cambia de dirección, a un grado progresivamente menor hasta que la desimananación sea completa.

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4.8 Bobina Fija o Solenoide**
- La bobina fija o solenoide es el medio más general de desimanación y es apropiado para piezas cuyos diámetros están comprendidos entre 25 y 50 mm. Este método es particularmente eficaz cuando se emplea en altos volúmenes de producción. La pieza se coloca en la abertura de la bobina perpendicularmente a ésta y en estrecha proximidad a la superficie interna de la bobina para que sobre la pieza actúe un máximo de flujo. La situación ideal es aquella en que la pieza debería llenar la bobina.
- Las piezas pequeñas deberán pasarse por la bobina individualmente dado que el campo de CA desarrollado tiene una baja capacidad de penetración y no podría desimanar un grupo de piezas. La pieza se retira entre 900 y 1200 mm de la abertura de la bobina con el dispositivo desimanados en aún
- operación. Este método produce un campo inverso de disminución progresiva.
- **5.2.4.9 Bobinas Flexibles**
- Los cables empleados para generar un campo magnético cuando van enrollados alrededor de una pieza y se emplean con una reducción gradual de corriente, o se retiran lentamente de la pieza como se describe anteriormente, pueden emplearse para desimanar. El número de vueltas de cable que se sugiere es de cuatro como mínimo. Las ventajas de emplear un cable flexible, de preferencia sobre un solenoide fijo residen en que el cable tiene la habilidad de adaptarse a los diversos contornos, y la proximidad del enrollamiento aumenta la intensidad del campo inducido; asimismo, el sistema es más portátil y puede emplearse para desimanar componentes retirando la bobina de la pieza.

# METODO DE DESIMANACIÓN

- **5.2.4.10 Desimanación por Corriente a Través de la Pieza**
- Cuando se emplea la desimanación circular o la desimanación por corriente a través de la pieza, el dispositivo de reducción de corriente forma parte del equipo. Las puntas de contacto, abrazaderas o cabezales abarcan la zona de imanación y se selecciona una corriente más alta o igual como mínimo a la fuerza imanante. Al apretar el botón de desimanación se activa el ciclo reductor hasta que la pieza queda desimanada.
- **5.2.4.11 Desimanación por Yugo Electromagnético**
- La presencia de un campo alterno entre los polos de un yugo electromagnética puede producir una corriente alterna o una corriente continua que se invierte. Este método es sumamente eficaz para la eliminación de campos residuales de ciertas zonas concretas
- Cuando no puede abarcarse la totalidad de una pieza, puede suceder que el campo magnético se desplace de una área a otra.
- **5.2.4.12 Desimanación por Corriente Continua**
- La desimanación por corriente continua sigue los mismos principios generales que cuando la operación se realiza con corriente alterna. El factor más importante a tener en cuenta es su mayor capacidad de penetración en el material, mientras que la conmutación mecánica hace posible las inversiones de corriente bajo cualquier frecuencia que se desee. La desimanación por corriente continua da mejores resultados empleando un cable flexible para las piezas más grandes, más difíciles de desimanar. Para las piezas de mayor volumen, cuyo diámetro es superior a 75 mm, el mejor método consiste en hacer pasar una corriente continua directamente por la pieza

# OBSERVACIONES

- **5.2.5 Observaciones sobre Desimanación**
- (a) A las piezas cortas o de forma regular deberá dárseles la vuelta mientras permanecen en la bobina y al sacarlas de la misma, mientras que las piezas de forma anular deberán girarse.
- (b) Las piezas cortas de difícil desimanación pueden sostenerse entre piezas de material ferromagnético. Esto aumenta la relación  $L/D$  y, cuando el conjunto pasa por la bobina, la parte se desimana con facilidad.
- (c) En el caso de piezas grandes y huecas, se coloca un conductor central por el que pasa una corriente alterna muy cerca de la pared interna de la pieza dándose a ésta un giro de  $360'$ ; a continuación se reduce gradualmente la corriente hasta que sea nula.
- (d) Como se indica anteriormente, las piezas que deban desimarse deberán disponerse de forma que su eje más largo o principal se coloque en dirección este—oeste, dado que cualquier pieza que se disponga en dirección norte-sur no puede desimarse por ningún método por debajo del nivel del campo magnético de la tierra

# COMPROBACIÓN

- **5.2.6 Comprobación de la Desimanación**
- Los instrumentos para la medición de campos de fuga residuales, tales como las bobinas de exploración y las sondas de Hall son los más apropiados para uso en laboratorio. Las intensidades de los campos se evalúan por ello más frecuentemente utilizando los métodos comparativos que se describen a continuación

# EQUIPOS

- **5.2.7 Indicador de Campo (Aparato de Medición)**
- El indicador de campo es un dispositivo para medir la presencia de un campo residual. El indicador se coloca de forma que su base toque la pieza y que su cuadrante indicador y la aguja estén alejados. Si no existe ningún campo residual, la aguja permanece inmóvil. En presencia de un campo residual, éste se desplaza en una dirección que se califica de positiva o negativa y que está en función de la polaridad del campo. En el caso de ciertos procedimientos, para especificar el grado de desimanación deseado se
- toma el indicador de campo como base.

# OTROS METODOS

- **5.2.8 Otros Métodos de Detección**
- Los otros métodos de detección consisten en una galga de acero muy fina o de un hilo metálico también fino, tal como un clip para papeles suspendido de un hilo. Ocasionalmente también se emplean indicadores de brújula. El dispositivo se elige en función de la atracción visible ejercida por la pieza.

# LIMPIEZA

- **5.3 LIMPIEZA FINAL**

- La limpieza de piezas destinadas a formar parte de un conjunto pudiera no ser necesaria. No obstante, las piezas terminadas deberán limpiarse poco antes de su inspección antes de que el medio líquido de inspección tenga tiempo de secarse. Si este líquido se deja sobre una superficie terminada puede provocar corrosión o un excesivo desgaste entre piezas movibles. En presencia de un campo de fugas, es indispensable desmanar la pieza antes de su limpieza
- Los métodos de limpieza que se recomiendan son frotado con cepillo, lavado con disolvente o rociado, lavado o desengrase al vapor. Como quiera que un método de limpieza por disolvente tal como el desengrase al vapor o la limpieza con acetona pudieran hacer la superficie que se inspecciona susceptible a corrosión, deberá emplearse un método para evitar la oxidación. Cuando una pieza se
- destina a formar parte de un conjunto sumergido en aceite o de otro fluido hidráulico, pudiera ser suficiente mojar la pieza en cuestión con el líquido normalmente empleado para su montaje. La última etapa de la limpieza posterior consiste en asegurarse que todos los tapones se han retirado de todos los agujeros y cavidades. destina a formar parte de un conjunto sumergido en aceite o de otro fluido hidráulico, pudiera ser suficiente mojar la pieza en cuestión con el líquido normalmente empleado para su montaje. La última etapa de la limpieza posterior consiste en asegurarse que todos los tapones se han retirado de todos los agujeros y cavidades.

## **CUESTIONARIO QUINTA LECCIÓN MT**

1. ¿Cómo se interpretan las indicaciones?
2. ¿Cómo es la posición de las diferentes discontinuidades?
3. ¿Cuáles son las discontinuidades de procesos que responden a la inspección con partículas magnéticas?
4. ¿Cuáles son las discontinuidades de servicio que responde a la inspección con partículas magnéticas?
5. ¿Cuáles son las indicaciones no relevantes de partículas magnéticas?
6. ¿Cómo se evalúan las discontinuidades?
7. ¿Qué relaciona hay entre discontinuidades y riesgo de fallo?
8. ¿Cómo se hace la desimanación?
9. ¿Cuáles son las razones de la desimanación?
10. ¿Cuándo es una desimanación innecesaria?



# **INFORMES, REGISTROS Y TÉCNICAS TÍPICAS**

## **Capitulo VI**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# INFORMES Y REGISTROS

- **6.1 INFORMES**

- El Informe de inspección deberá contener información completa, detallando el tamaño, número y localización de indicaciones así como una interpretación de los tipos de defecto. Para ayudar en la determinación de la aceptabilidad de un componente cuando los documentos de trabajo no indican criterios de aceptación, es necesario conocer la posición de las imperfecciones con respecto a las áreas sometidas a mayor tensión. Deberán emplearse esquemas para ilustrar el lugar, dirección y frecuencia de los defectos. A efectos del informe, otros métodos de registro son la transferencia sobre cinta de celulosa, fotografías y cinta magnética. Lo más importante es que el informe indique precisamente el trabajo realizado sin omisiones o adiciones. La Figura 6—1 presenta un facsímil del Formulario de Informe.

- **6.2 REGISTROS**

- Los registros deberán indicar detalles de la inspección y describir con precisión el lugar y forma de cualquier indicación. Es importante que los registros de inspección contengan los números de serie y números de pieza de lo que se ha inspeccionado o verificado, incluyendo la magnitud de la inspección, y deberán referirse a procedimientos escritos empleados. A menudo se acompaña una copia del informe de inspección para ilustrar el trabajo efectuado.

# TECNICAS TIPICAS

- **6.3 TÉCNICAS TÍPICAS**
- Los ejemplos siguientes de la técnica de Inspección por partículas magnéticas deberán considerarse solamente como líneas directrices. Estos ejemplos no abarcan completamente las numerosas configuraciones y construcciones a las que puede aplicarse el método de Inspección por partículas magnéticas.
- Parte del material aquí presentado pudiera duplicar el ya contenido en otros capítulos, o Incluso pudiera diferir de aquél. En este último caso, se recuerda al lector que entre los diversos métodos también se Incluye el Método empírico.

# TUBO HUECO

- **6.3.1 Tubo Hueco (Figuras 6—2 a 6—5)**
- La inspección de tubos huecos o cilindros depende de tres factores principales:
  - a) de la relación longitud/diámetro
  - b) del espesor de la pared del tubo
  - c) del diámetro interno
- La relación longitud/diámetro determinará la intensidad del campo magnético requerida para imanar suficientemente el espécimen. En la Inspección utilizando una bobina, aplicar la fórmula siguiente:

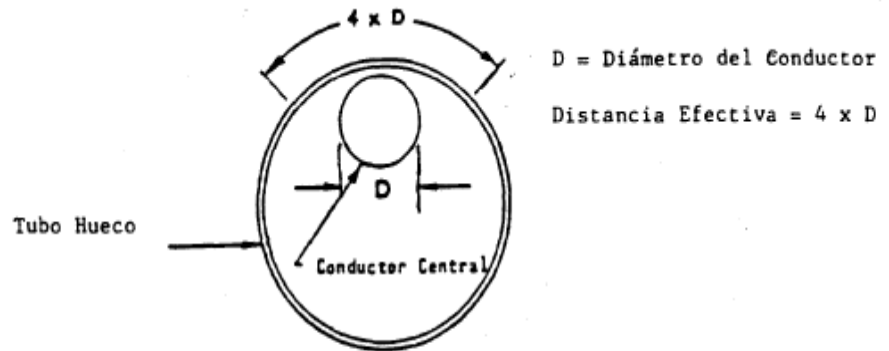


FIGURA 6—2

Cuando la pieza se cuelga de un conductor central suficientemente grande, efectuar la inspección, girar la pieza 180' e inspeccionar nuevamente. En caso contrario, girar menos de 4 x D.

# FIGURAS

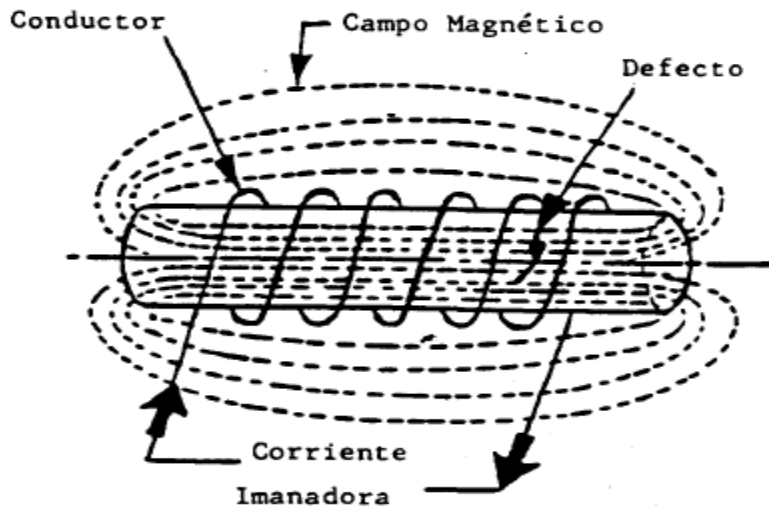


FIGURA 6-3

Descarga por Bobina — Imanación Longitudinal

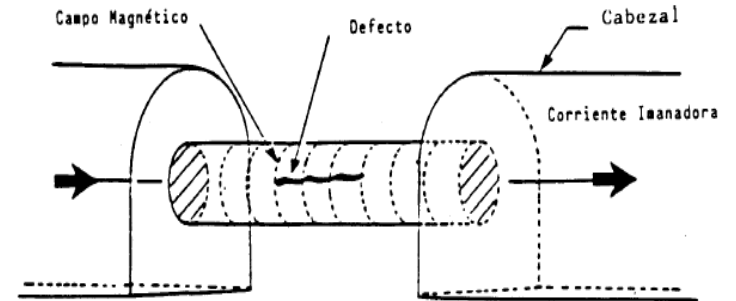


FIGURA 6-4

Descarga entre Cabezales — Imanación Circular  
(La Corriente Pasa por la Pieza)

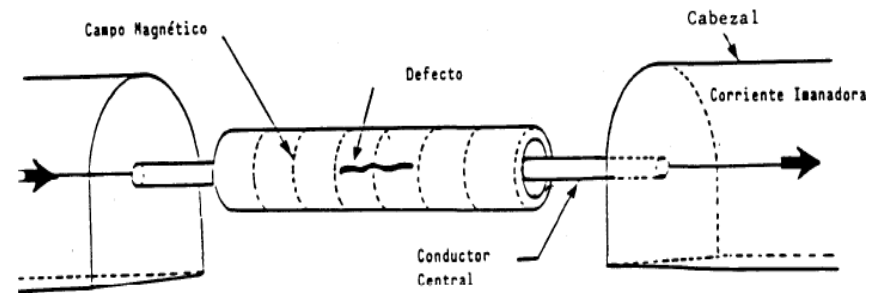
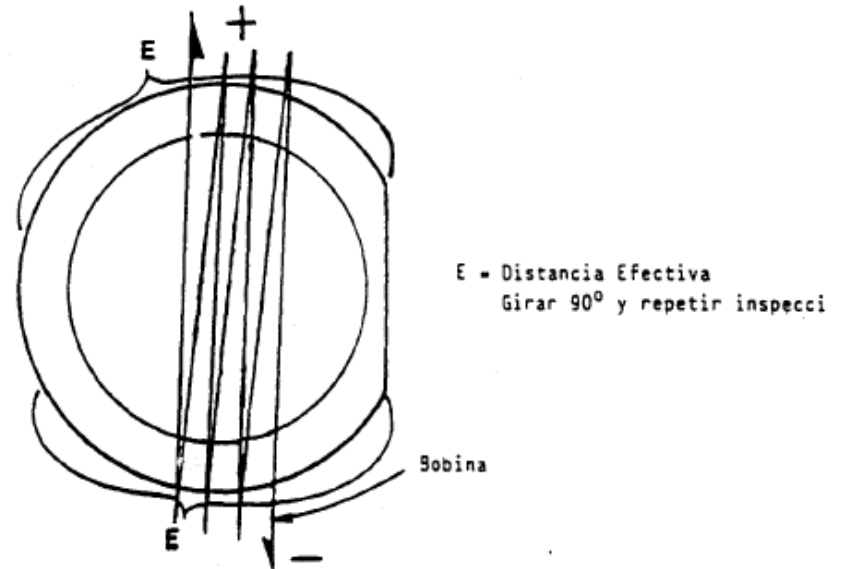


FIGURA 6-5

Conductor Central — Imanación Circular  
(La Corriente pasa por el Conductor)

# COLLAR DE ACERO

- **6.3.2 Collar de Acero (Figuras 6—6 a 6—8)**
- Para Inspeccionar la pieza, cualquiera de los tres métodos siguientes se puede utilizar
- independientemente o combinándolos; puede depender de la orientación del defecto, del espesor del material y de la sensibilidad que se requiere en la inspección.



**FIGURA 6—6**  
Descarga por Bobinas (Para  
Grietas Transversales)

# FIGURAS

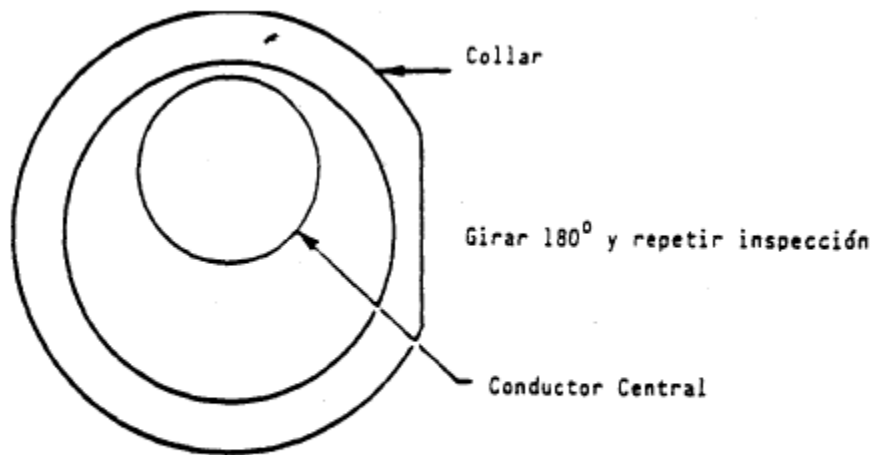


FIGURA 6—7

Conductor Central (para Grietas Transversales)

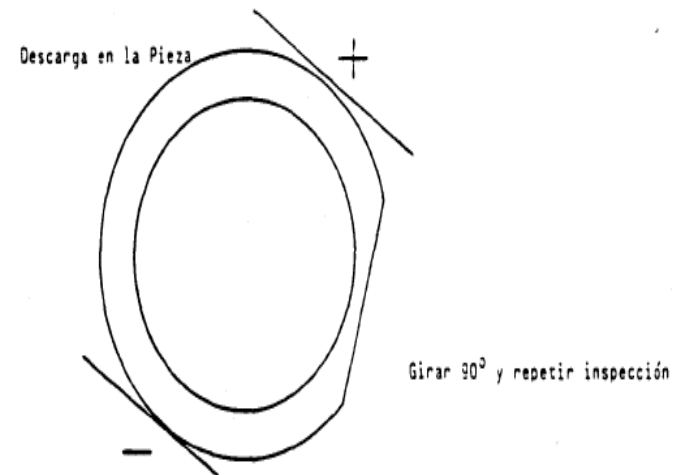


FIGURA 6—8

Descarga de Corriente a Través de la Pieza (para Grietas Radiales)

# FIGURAS

## 6.3.3 Perno de Acero (Figura 6—9)

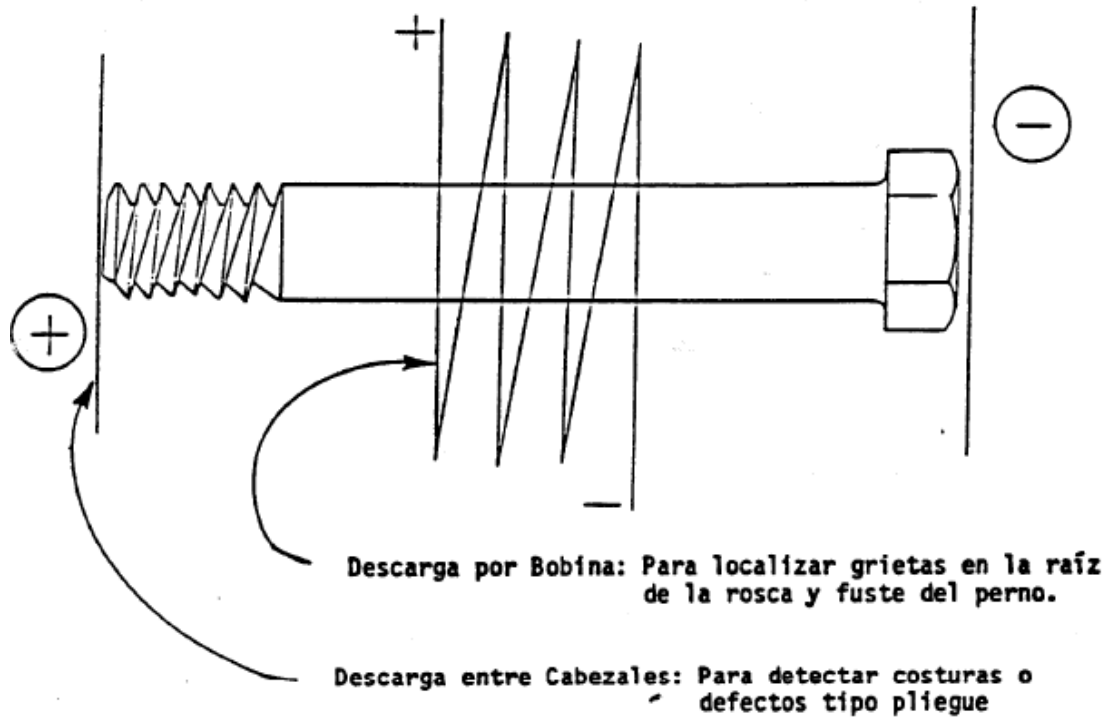
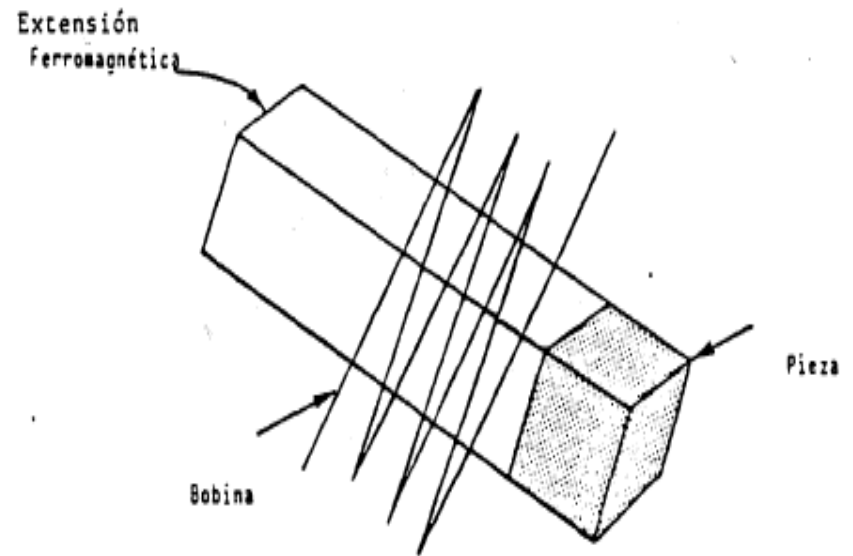


FIGURA 6—9

# PIEZA CORTA Y ANCHA

- **6.3.4 Pieza Corta y Ancha (Prolongación del Eje Largo) (Figura 6-10)**
- En teoría, una pieza sólo puede imanarse empleando el método de bobina si su relación  $L/D$  es igual o mayor de 2:1. Sin embargo, se puede ampliar el eje longitudinal de la pieza alineando con la misma una pieza de material ferromagnético y ello facilitará la inspección.



**FIGURA 6-10**

# CAPUCHON DE SUPRESION

- **6.3.5 Capuchón de Supresión (Inspección del Interior) (Figura 6—11)**
- Para efectuar la inspección del área principal de una pieza se puede emplear una combinación de los métodos de bobina y descarga entre cabezales. No obstante, para detectar grietas transversales en el interior y en la base, se deberá seguir el método siguiente:
- Colocando, como indica la figura, la base del capuchón, contra un contacto y la barra conductora contra el otro contacto, la pieza resultará adecuadamente imanada para la detección de defectos longitudinales internos. En la base se forma también una imagen del campo radial, haciendo quizá innecesaria la descarga en la pieza.

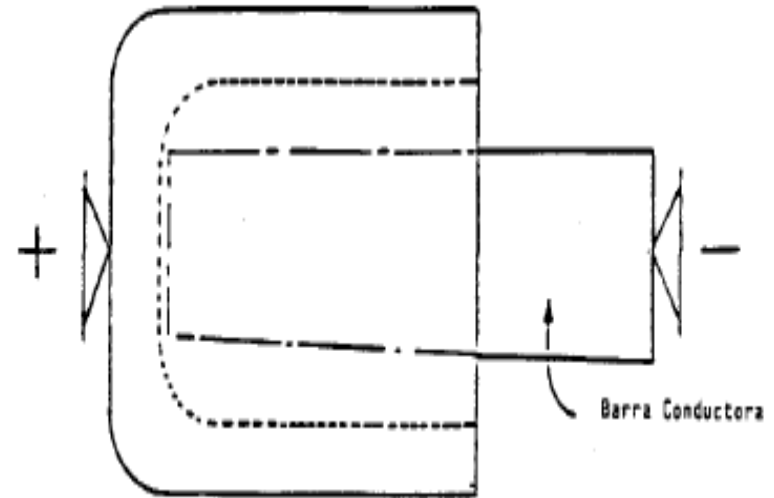


FIGURA 6- 11

# INSPECCIÓN DE CIGUEÑAL

- **6.3.6 Inspección de Cigüeñal (Figura 6-12)**
- La inspección se efectúa por medio de una descarga en la barra conductora y descargas de bobina sucesivas cerca de los cojinetes, nervios y muñones de fijación en los extremos.

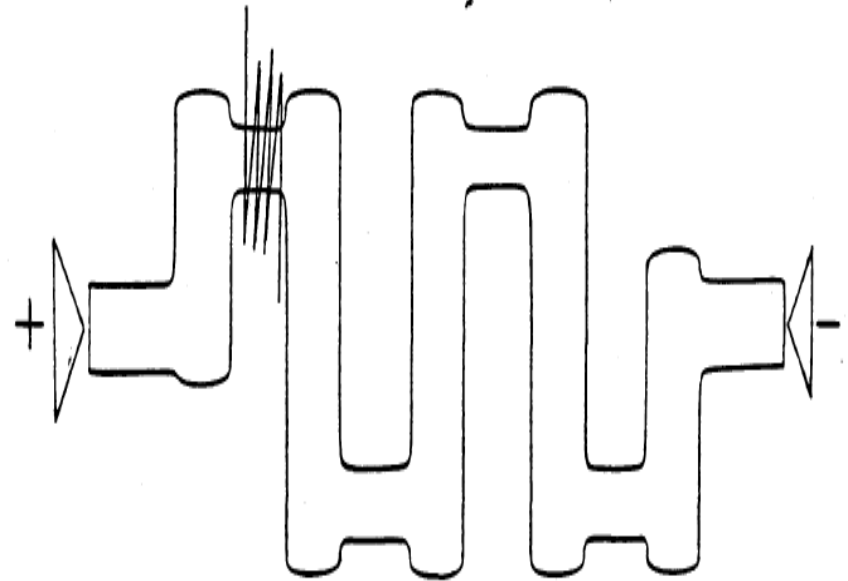


FIGURA 6-12

# YUGO MAGNÉTICO

- **6.3.7 Yugo Magnético (Inspección de Mancha) (Figura 6—13)**
- El yugo magnético induce un campo magnético en la pieza que se extiende radialmente desde los polos. La pieza se inspecciona desplazando el yugo por secciones en x e inspeccionando a cada intervalo
- Los yugos magnéticos son muy apropiados para detectar discontinuidades cerca de la superficie. En cada intervalo imanador se necesita tiempo suficiente para permitir la formación de la indicación por la imanación completa del área que se inspecciona.

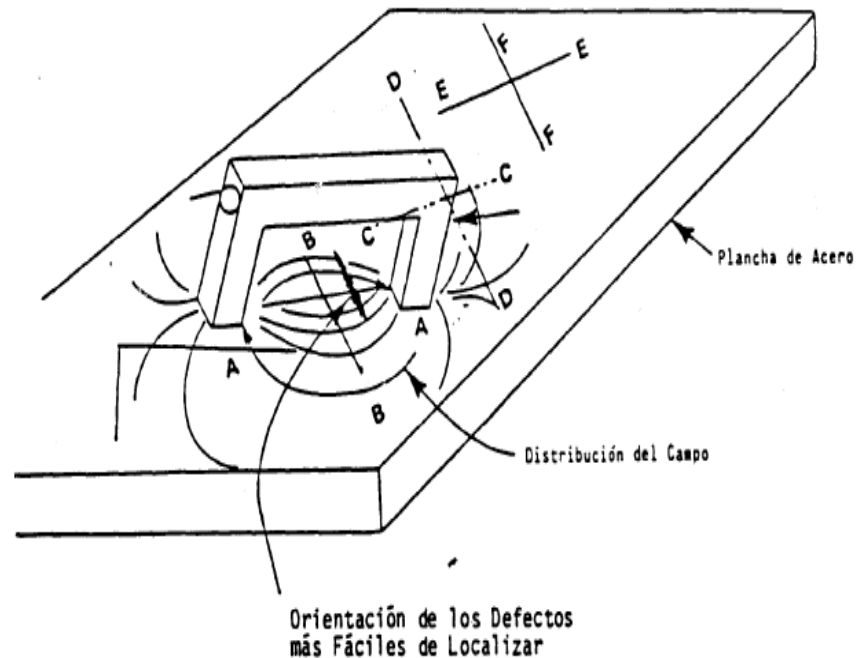
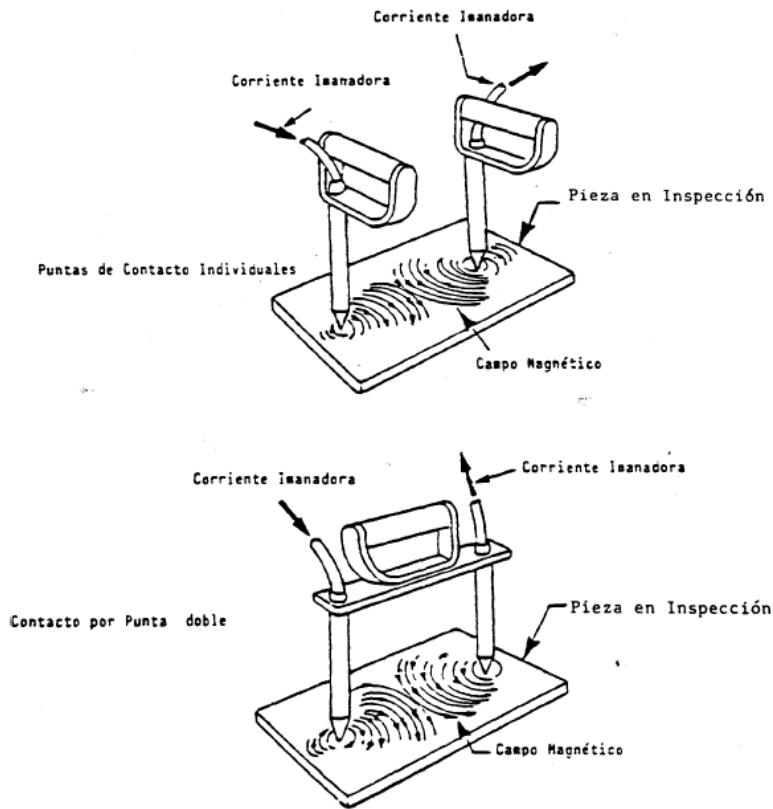


FIGURA 6—13

# INSPECCIÓN POR PUNTAS DE CONTACTO

- **6.3.8 Inspección de Estructuras Soldadas por Puntas de Contacto (Figura 6-14)**
- Esta inspección se efectúa por cobertura en X, similar a la inspección por yugo. No obstante, la dirección circular del campo permite mayor detectabilidad de defectos entre las puntas de contacto, y la línea que une estas puntas.



Contactos de punta simple y doble. Las discontinuidades se detectan por el campo magnético generado entre las puntas. FIGURA 6-14

# INSPECCIÓN CON CONDUCTOR

- **6.3.9 inspección de un Muelle Helicoidal (Aparato Portátil)**
- **(Figura 6—15 y 6—16)**
- Este tipo de inspección se efectúa mejor en dos etapas.
- a. Empleando un conductor central apropiado (Figura 6—15)
- b. Conectando cada extremo a un borne (Figura 6—16)

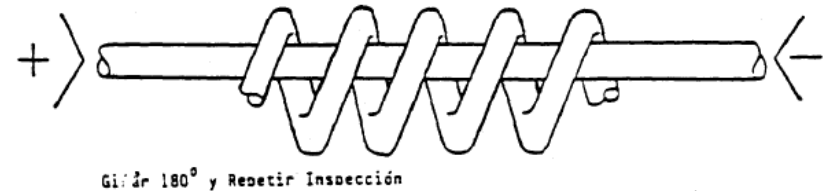


FIGURA 6—15



FIGURA 6-16

# INSPECCIÓN DE CABALLETE PARA MOTOR

- **6.3.10 Inspección de un Caballete para Motor (Figura 6—17)**
- La figura muestra un solo elemento del caballete completo. La inspección puede realizarse por imanación circular empleando pinzas o por medio de yugo magnético.
- El contacto en la posición D es permanente. El otro se traslada de A a B y C inspeccionándose las soldaduras a cada intervalo.
- Alternativamente, el yugo cubriría cada área mientras se aplica el líquido de inspección.

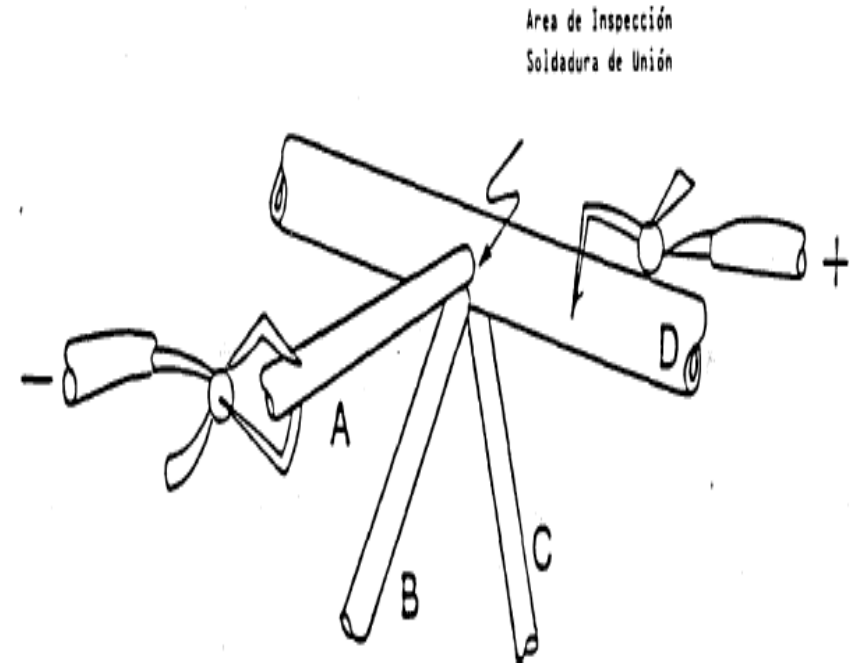


FIGURA 6-17

# INSPECCIÓN DE BIELA

- **6.3.11 Inspección de una Biela (Figura 6—18)**
- Este método evita una posible división desigual de la corriente, que puede producirse si la pieza se examina cuando ambas patas de la Y están conectadas al mismo borne. Empleando el método de imanación circular, esta biela se inspecciona en tres etapas individuales, A—A, B—B, C—C. Este procedimiento evita la anulación del campo

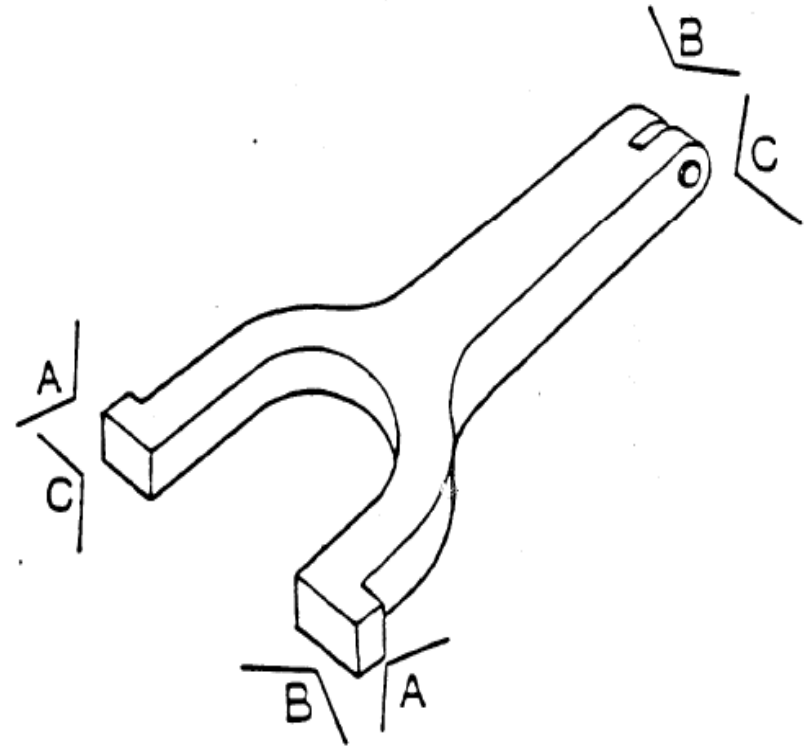


FIGURA 6—18

## **CUESTIONARIO SEXTA LECCIÓN MT**

1. ¿Cómo se hace un informe MT?
2. ¿Cómo se lleva un registro MT?
3. ¿Cómo son las técnicas típicas?
4. ¿Cómo se hace la inspección con yugo?
5. ¿Cómo se hace la inspección puntas de contacto?
6. ¿Cómo se hace la inspección de un caballete para motor?
7. ¿Cómo se hace la inspección de muelle helicoidal?
8. ¿Cómo se hace la inspección estructura soldadas?
9. ¿Cómo se hace la inspección de mancha?
10. ¿Cómo se hace la inspección de un cigüeñal?



# **EQUIPO Y MATERIALES PARA LA INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

## **Capitulo VII**

Dictado por: Ramón Rivero

Realizado por: Michelin Tavera

# INTRODUCCIÓN

- **7.1 INTRODUCCIÓN**

- El equipo y materiales empleados en la inspección por partículas magnéticas tratan de aplicaciones simples de principios fundamentales de física y electromagnetismo. Diferencias en la característica operativa del equipo (p.e. yugo magnético comparado con la operación de un aparato que funcione con corriente rectificadora de media onda) y variaciones deliberadas en la composición del material de inspección (p.e. polvo negro o fluorescente como medio indicador), pueden afectar notablemente las posibilidades de la inspección. La influencia del equipo sobre los resultados de la inspección dependerá
- fundamentalmente de la intensidad y tipo de las corrientes eléctricas generados por la unidad. La concentración, tipo, tamaño, color, etc. de las partículas que comprenden los polvos magnéticos, y el método de su aplicación, hacen que las variantes de la inspección constituyan un factor importante en el desarrollo de la inspección.
- Es por lo tanto de importancia práctica fundamental que la construcción y operación del equipo, la composición de los materiales de la inspección, y las técnicas empleadas en su evaluación sean conocidas y comprendidas por el técnico u operador.
- El equipo empleado en la generación de campos magnéticos puede dividirse en dos grupos:
- (a) Equipo basado en campos generados eléctricamente.
- (b) Equipo que emplea imanes permanentes.
- En la práctica el primer grupo será el que se emplee más ampliamente. No obstante, los imanes permanentes constituyen elementos útiles de inspección y aún cuando sus aplicaciones pueden ser limitadas, deben considerarse.

# TIPOS DE EQUIPOS

- **7.2 EQUIPO IMANANTE**
- **7.2.1 Aparatos Portátiles y Móviles**
- Se dan muchos casos en que es preferible que sea el equipo el que se traslada al lugar donde se halla el material para la inspección por partículas magnéticas. Las unidades o equipos para este fin varían, desde un equipo con capacidad de 1000A que puede transportarse a mano, hasta equipo mucho más pesado, sobre ruedas, cuya potencia máxima de salida puede ser de 6000A. Las unidades portátiles funcionan con voltajes de 120, 240 y 550 V y suministran corrientes imanadoras alternas o continuas a las sondas, bobinas o cabezales de contacto para su uso con partículas de inspección tanto secas como húmedas. Una de las características de este tipo de equipo es el de que frecuentemente tienen incorporadas unidades de desimanación gradual. La Figura 7—1 ilustra una pequeña unidad o aparato que funciona con un voltaje de 120 V y una capacidad máxima de 700 A. El equipo de la Figura 7—2 tiene capacidad de hasta 6000 A con control gradual de corriente ac o dc.
- **7.2.2 Aparatos Fijos**
- Estas unidades son más apropiadas en casos en los que es más conveniente, práctico o económico transportar el material que deba inspeccionarse al lugar de la inspección. El equipo fijo puede diseñarse para aplicaciones especiales en inspecciones de artículos de mucho o poco volumen, y tanto pequeños como grandes. Entre los ejemplos de inspecciones especializadas pueden citarse la inspección de cigüeñales diesel de 5m y grandes cantidades de pernos de alta resistencia. Las unidades fijas pueden ser de corriente alterna y/o continua, utilizando diversos tipos de control. En la inspección fluorescente por vía húmeda en la que las partículas y el medio pueden recuperarse y reutilizarse de nuevo, las unidades fijas son ideales. Estos tipos de aparatos se prestan a procedimientos de Inspección de artículos de producción automática o semiautomática. La Figura 7—3 muestra uno de estos tipos de aparato.

# EQUIPOS

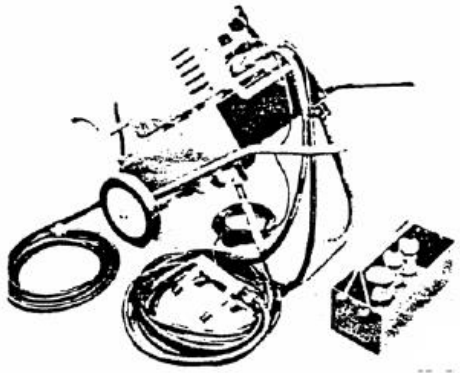


FIGURA 7-1

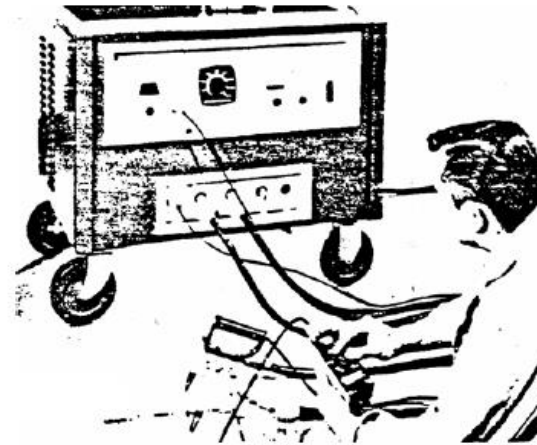


FIGURA 7-2

# EQUIPO PARA TRABAJO PESADO

- **7.2.3 Equipos de Corriente Continua para Trabajo Pesado.**
- Para imanar piezas fundidas grandes y complejas en una sola operación se pueden emplear unidades de hasta 20.000 A y mayores; el resultado puede producir una sensibilidad excelente y el trabajo 'puede completarse en un tiempo mucho más corto que el que requeriría equipo portátil o móvil. Estas grandes unidades por lo general



FIGURA 7-3

# EQUIPO PARA TRABAJO PESADO

- emplean corriente ca trifásica rectificada. Con bobinas y conductores centrales colocados en las posiciones apropiadas sobre la pieza que se inspecciona, estos aparatos pueden inducir campos magnéticos múltiples en sucesión rápida. Cuando las corrientes se equilibran debidamente, las fuerzas imanantes resultantes se desplazan en la pieza en un ángulo de más de 90°. Se recomienda que con ese tipo de equipo se utilicen partículas fluorescentes, por vía húmeda, no recuperables.

# YUGOS

- **7.2.4 Yugos**
- El yugo (Figura 7—4) es el generador más simple de campos magnéticos; básicamente consiste en una barra de hierro dulce o en un núcleo en forma de U, y un conductor enrollado alrededor de la porción central del núcleo. Debido a la alta permeabilidad del hierro dulce (y por lo tanto a su muy baja retentividad), cuando pase una corriente por la bobina se inducirá un fuerte campo longitudinal en el núcleo.

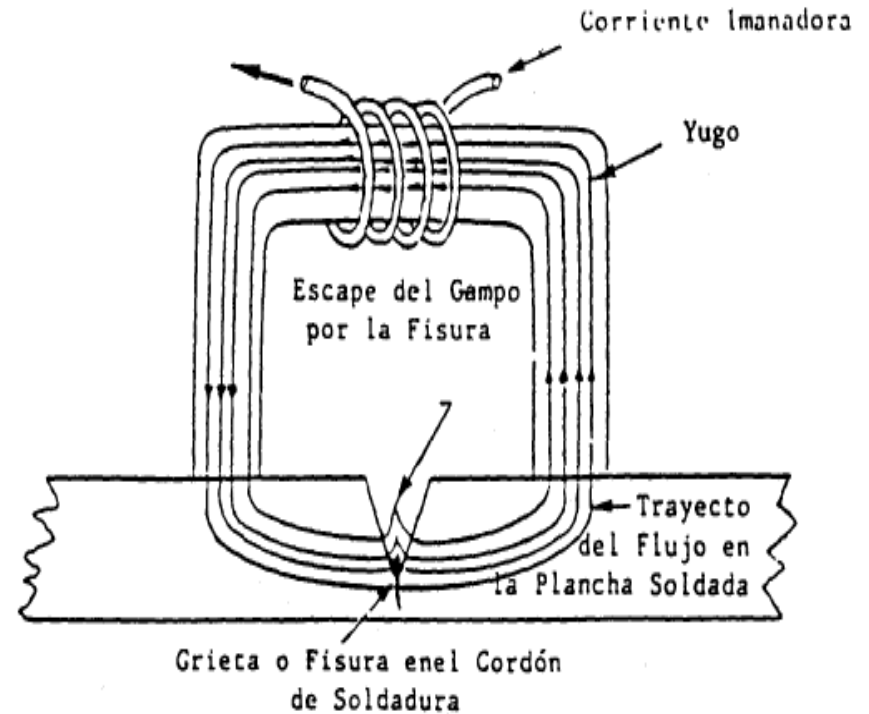


FIGURA 7-4

**ESQUEMA OPERATIVO DE UN YUGO ELECTROMAGNÉTICO**

# YUGOS

- Los extremos del yugo se polarizan fuertemente y el circuito magnético se cierra en el aire, o con todo otro material ferromagnético que conecte los brazos del yugo; la Intensidad del campo es función del número de espiras en la bobina y de la intensidad de la corriente que pasa por la misma.
- La mayoría de los yugos han sido diseñadas para funcionar con corriente alterna de 115 V. Otros diseños requieren corriente alterna de 230 V mientras que otros aún funcionan por medio de baterías (los aparatos accionados con batería presentan ventajas únicas en las inspecciones sobre el terreno).
- Los modelos más simples producen campos de corriente continua o alterna, según sea su fuente de alimentación. Los yugos más complejos comprenden un conmutador selector de ca/cc y un dispositivo de control para aumentar o reducir la corriente. Existen yugos de varios tamaños y con una separación promedio entre brazos de 150 a 200 mm. Los modelos con extremos flexibles permiten su ajuste a contornos superficiales diversos.
- En la Inspección por partículas magnéticas los principales atributos de los yugos son:
  - (a) son pequeñas y portátiles,
  - (b) pueden funcionar por medio de baterías en áreas alejadas de líneas eléctricas,

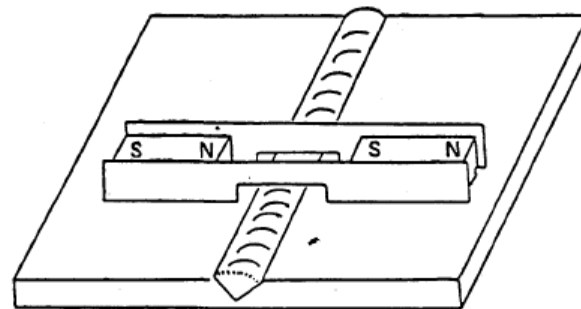
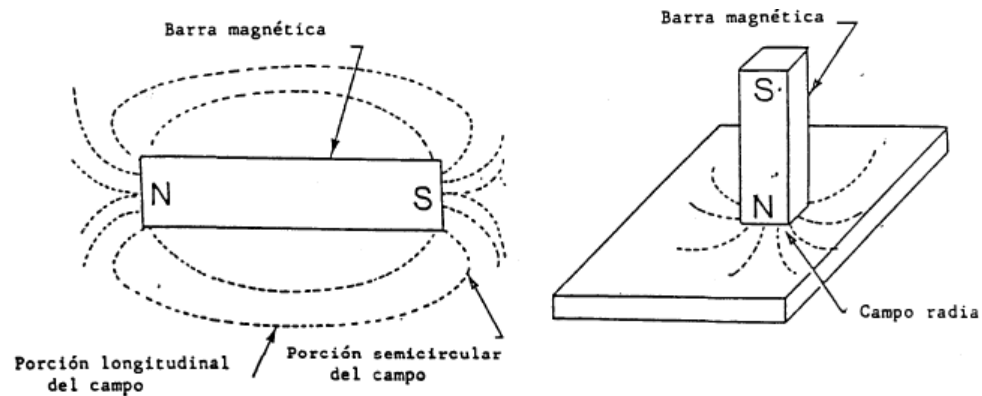
# YUGOS

- (c) pueden emplearse en espacios limitados,
- (d) no tienen tendencia a producir puntos endurecidos como sucede con la imanación por puntas de contacto.
- Las limitaciones inherentes a los yugos son las siguientes:
- (a) Tienen tendencia a sobrecalentarse, especialmente cuando se usan de modo continuo; por ello su uso deberla limitarse solamente a ciclos periódicos.
- (b) Como quiera que los yugos no van por lo general equipadas con amperímetros, la intensidad del campo no puede relacionarse directamente al flujo de corriente y deberá medirse por otros medios.
- Las siguientes son algunas de las aplicaciones más importantes de la imanación por yugo:
- (a) inspección de mantenimiento en servicio,
- (b) verificación puntual de soldaduras, especialmente entre pasadas,
- (c) investigación de áreas sospechosas (búsqueda de fallas).

# IMANES PERMANENTES

- **7.2.5 Imanes Permanentes**
- Los campos magnéticos serán similares tanto si se generan por medio de imanes permanentes o por el flujo de una corriente continua. Estos campos magnéticos serán circuitos cerrados de flujo o líneas de fuerza y su forma y orientación dependerá de la permeabilidad del medio circundante. En el caso de imanes permanentes intervienen dos medios hierro y aire. El campo y sus líneas de fuerza tienen su origen en el imán. Como quiera que la reluctancia de un material ferromagnético es mucho más baja que la del aire, las líneas de fuerza se concentrarán más en el imán que en el espacio aéreo circundante.
- Los campos magnéticos permanentes pueden describirse en líneas longitudinales de fuerza que se extienden entre los polos en forma semicircular. (Figura 7-5). Los imanes permanentes tienen un uso limitado a efectos de inspecciones. Deberán utilizarse con cierta reserva y solamente una vez que se haya demostrado su capacidad para producir las indicaciones o señales de defectos deseadas. Algunas de sus ventajas residen en su pequeño tamaño, portabilidad, en que no requieren energía eléctrica, no hay riesgo de que quemen las piezas por la formación del arco y en su posible empleo en atmósferas
- explosivas. Presentan la desventaja de que sus campos de fuerza son notablemente más débiles que los de los tipos generados eléctricamente con penetración mediocre de la superficie. El campo de fuerza es necesariamente estático, y la alta intensidad del campo en los polos puede ocultar las indicaciones.

# IMANES PERMANENTES



Combinación de dos barras magnéticas  
para la inspección de soldadura

FIGURA 7-5  
IMANES PERMANENTES

# SOBRECALENTAMIENTO

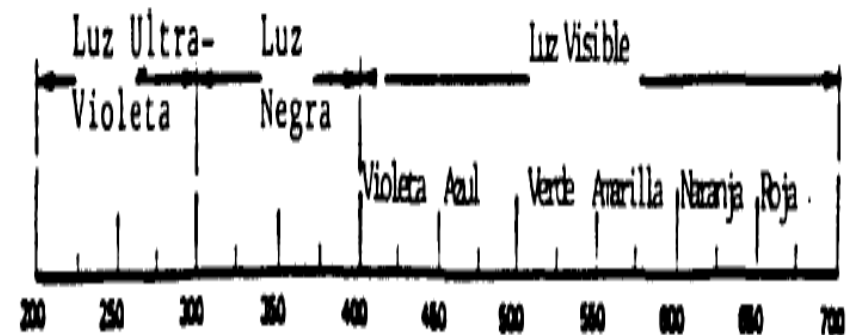
- **7.2.6 Sobrecalentamiento del Equipo**
- Los aparatos de inspección por partículas magnéticas pueden funcionar durante años con solo un mantenimiento periódico regular. Si se produce una avería importante la razón más probable será la de sobrecalentamiento interno o externo

# TIPOS DE SOBRECALENTAMIENTO

- (a) Sobrecalentamiento Externo — El sobrecalentamiento externo se produce, por lo general, en el área de contacto entre las puntas o abrazaderas y la pieza que se inspecciona o en conexiones flojas de los cables. La superficie actual de contacto entre las puntas de contacto y la pieza que se inspecciona es en la mayoría de los casos mucho menor que el diámetro de la punta y puede reducirse aún más por la acumulación de escamas en la superficie de contacto, por superficies de inspección rugosas o por la presencia de materiales no conductores.
- Estas condiciones pueden también ser causa de sobrecalentamiento cuando se emplean pinzas bien con planchas planas de cobre o materiales trenzados. (El cobre trenzado es con mucho el mejor material de contacto, si bien pudiera requerir se reemplace con frecuencia). El resultado de una área de contacto reducida es el de una mayor resistencia en el circuito. La mayor parte de la energía eléctrica aplicada se convierte en calor, lo que puede dañar las conexiones del cable y finalmente los componentes de la unidad misma.
- (b) Sobrecalentamiento Interno — El calor excesivo interno se produce en el transformador y en el rectificador. Los circuitos primario o secundario generan grandes cantidades de calor y para evitar su deterioro se deberán emplear ciclos periódicos de uso. La mayoría de las unidades van equipadas con un disyuntor de sobrecarga térmica.
- Con el uso continuo de los transformadores y rectificadores, la potencia máxima de la mayoría de las unidades disminuirá con el transcurso del tiempo. Esta característica de rendimiento indica la necesidad de que la potencia de salida del equipo se calibre periódicamente. Cabe señalar también que algunas de las unidades más sofisticadas incorporan un autorregulador de corriente que alimenta el amperaje previamente seleccionado independientemente de la impedancia
- de la carga o de la resistencia de la pieza.

# LUZ NEGRA

- **7.3 LUZ NEGRA**
- 7.3.1 La luz negra es radiación electromagnética situada en la región de 320—400 nm del espectro electromagnético, inmediatamente debajo de la banda visible, y es parte de la frecuencia mas baja del ultravioleta (longitud de onda más larga). La Figura 7—6 muestra su posición relativa. El ojo es relativamente poco sensible a la luz negra, especialmente en presencia de luz visible. El aspecto funcional reside en que las capas fluorescentes de las partículas ferromagnéticas absorben la luz negra y reemiten de nuevo la energía absorbida como luz visible en la región amarilla—verde del espectro visible.



Longitudes de onda en nanómetros Figura 7—6

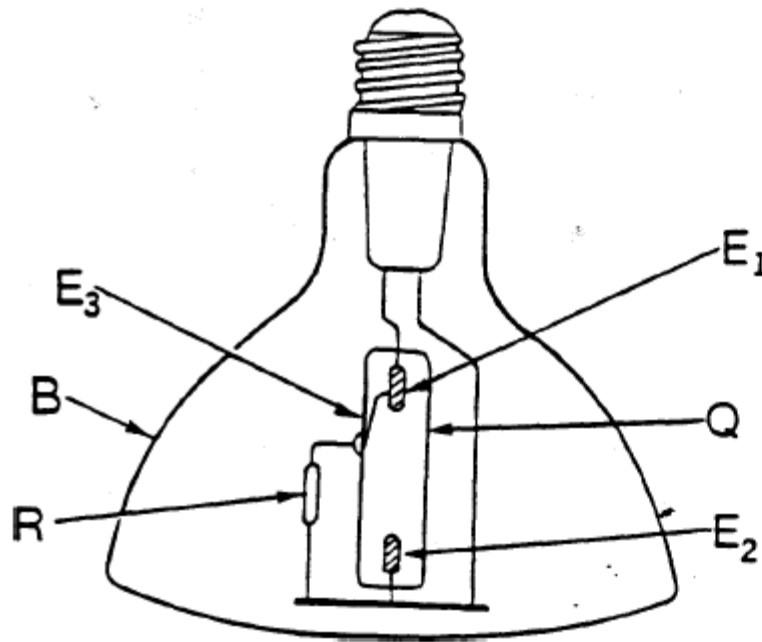
# FUENTES-FILTROS

- **7.3.2 Fuentes de Luz Negra**
- La fuente más generalmente utilizada para la producción de luz negra es la lámpara de vapor de mercurio de alta presión. El arco producido por esta lámpara es muy rico en radiación ultravioleta y la luz directa producida por estas lámparas debe filtrarse para eliminar toda radiación ultravioleta nociva por debajo de los 300 nm y la mayoría de la luz visible por encima de los 400 nm. Estos filtros son de color rojo-violeta y se colocan directamente, enfrente de la lámpara de mercurio. Las lámparas más avanzadas contienen un filtro integrado en la ampolla misma eliminando así la necesidad de un vidrio separado. Las luces incandescentes y tubos de descarga son fuentes satisfactorias para la inspección fluorescente en razón a que no producen suficiente energía al nivel de 365 nm para satisfacer los requisitos de intensidad mínimos.
- **7.3.3 Filtros de Luz Negra**
- El filtro más utilizado consiste en un cristal de color rojo-púrpura de gran intensidad. Elimina efectivamente casi toda la luz visible y elimina también la radiación de longitudes de onda menores de 300 nm, que es la parte ultravioleta peligrosa del espectro.
- **7.3.4 Variación en la Intensidad de la Luz Negra**
- La intensidad de la luz negra deberá comprobarse periódicamente en razón a que:
  - (a) las nuevas lámparas pueden tener una intensidad que varía hasta en un 50%.
  - (b) la intensidad de la luz negra varía casi directamente en relación con el voltaje aplicado.
  - (c) la eficiencia de las lámparas de luz negra disminuye con el uso.
  - (d) el polvo y la suciedad reducen la intensidad.
- **7.3.5 Construcción y Funcionamiento de las Lámparas de vapor de Mercurio**
- Se pueden obtener comercialmente numerosos tipos de lámparas de luz negra. Los tipos más eficaces en lo que respecta a intensidad del ultravioleta cercano son lámparas que utilizan vapor de mercurio a alta presión como fuente de radiación UVC. En las lámparas de ese tipo, la luz negra se genera en una cápsula de cuarzo, Figura 7—7. Esta cápsula contiene una pequeña cantidad de un gas inerte, tal como argón, una gota de mercurio, dos electrodos principales y un electrodo de arranque. Para protección de

# FUENTES-FILTROS

- la cápsula y, en algunos casos, para permitir una mejor localización del haz, la cápsula va contenida en una ampolla de vidrio. El electrodo de arranque, con una resistencia reguladora, de corriente y los dos electrodos principales, van conectados a un transformador limitador. Este transformador limita el flujo de corriente (arco eléctrico) en la cápsula para evitar su destrucción por una corriente excesivamente alta. Cuando la lámpara, se activa se establece un pequeño arco en el gas y entre uno de los electrodos principales y el electrodo de arranque. Este arco tiene por finalidad calentar el mercurio e iniciar su evaporación. Finalmente, se alcanza un punto en el que se ha producido suficiente vapor de mercurio para establecer un arco eléctrico entre los dos electrodos principales. La emisión de UVC comienza en este momento. A medida que el arco se propaga en el vapor libera radiación UVC. La intensidad del arco y la luz UVC emitida aumentan a medida que aumenta la presión del vapor de mercurio. La luz negra alcanza su intensidad máxima cuando entra en función el transformador limitador. La cápsula de vapor de mercurio también genera luz visible y pequeñas cantidades de longitudes de onda cortas. Una vez colocado el filtro en su posición la mayor transmisión corresponde a una longitud de onda aproximada de 360 nm. Todas las longitudes de onda inferiores a 320 nm quedan bloqueadas, aunque se transmite una pequeña cantidad de luz visible. Esta es una luz purpúrea de aproximadamente 450 nm. Cuando la longitud de onda de 360 nm incide sobre un material fluorescente se convierte y se reemite como luz visible verde—amarilla de 550 nm.

# LAMPARA DE MERCURIO



- E<sub>1</sub> = Electrodo Portador de Corriente
- E<sub>2</sub> = Electrodo Portador de Corriente
- E<sub>3</sub> = Electrodo Calentador o de Arranque
- Q = Tubo de Cuarzo que Contiene los Electrodo
- R = Resistencia que limita la Corriente en E<sub>3</sub>
- B = Recipiente Exterior de Vidrio

FIGURA 7-7  
Construcción de una lámpara de Vapor de Mercurio

# LUZ NEGRA

- **7.3.6 Funcionamiento de una Lámpara de Luz Negra**
- Desde el momento en que se activan, las lámparas de luz negra requieren entre 3 y 5 minutos para alcanzar su intensidad máxima. Este es el tiempo requerido para la vaporización del mercurio y para la acumulación de presión máxima. Si por cualquier razón la luz se extinguiera, es necesario esperar nuevamente entre 3 y 5 minutos para conseguir la misma intensidad (el enfriado de la lámpara con una corriente de aire reducirá este compás de espera). Las lámparas de luz negra son sensibles a los niveles
- de voltaje. Cuando el potencial se reduce a aproximadamente 90 V la luz se extinguirá. Los altos voltajes, de aproximadamente 130 V, así como el encendido y apagado frecuentes reducirán la duración de la lámpara. Las lámparas de luz negra experimentan una considerable reducción en intensidad con el transcurso del tiempo. El promedio de duración de una lámpara es de 1000 a 1500 horas.
- Las lámparas de luz negra deberán calibrarse periódicamente para evitar resultados incorrectos. La potencia en vatios anunciada en cualquier lámpara, generalmente de 100 a 500 W, no garantiza su intensidad real.

# LUZ NEGRA

- Generalmente se pueden obtener dos tipos de luces en lo que respecta a la forma del haz — las lámparas reflectoras y las de flujo abierto. Las primeras concentrarán la mayor parte de su energía en un círculo alrededor del eje del haz. En el caso de una lámpara de 100 W tal círculo es por lo general de 150 mm de diámetro a 380 mm de distancia del origen de la luz. La intensidad en la periferia de dicho círculo deberá ser de como mínimo 900 lx.
- Este valor no es absoluto sino el resultado de experiencia práctica. Los reflectores favorecen la inspección en ensayos críticos y la evaluación de las indicaciones. Las lámparas de flujo abierto se emplean sobre grandes superficies y cuando se necesita una vista general. Algunas de estas lámparas van equipadas con un capuchón intensificador pudiendo así igualar la intensidad de las lámparas reflectoras sobre una gran superficie.

# LAS PARTICULAS MACNETICAS

- **7.4 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

- **7.4.1 Color**

- La visibilidad de las partículas sobre una pieza de trabajo depende del contraste entre el color de las partículas y el color de la superficie que se examina. Existen partículas de color blanco, negro, rojo, amarillo o fluorescente. Estos colorantes se han añadido para realzar la visibilidad de las partículas y no alteran

- La permeabilidad y la retentividad de las partículas ferromagnéticas sus propiedades magnéticas.

- **7.4.2 Permeabilidad** empleadas en la inspección son factores críticos. Si las partículas poseen una baja retentividad quedará permanentemente imanadas y se atraerán recíprocamente y a toda la superficie de la pieza que se inspecciona en lugar de hacerlo solamente en los campos de fuga. La alta permeabilidad no garantiza buenos resultado en razón a que otros factores pudieran contrarrestar cualquier ventaja que esta permeabilidad pudiera representar. En consecuencia, es preferible disponer de un pequeño volumen de magnetismo retenido tanto para los polvos en seco como en suspensión húmeda. Las partículas que hubieran retenido algo del magnetismo contribuyen a la alineación de los polvos secos en forma de cordones, especialmente en un campo de escape débil, y en las suspensiones húmedas formarán grandes aglomeraciones a medida que se desplazan hacia el campo de fuga en un período razonable.

- **7.4.3 Tamaño y Movilidad**

- Las partículas magnéticas deben poder desplazarse para congregarse alrededor del campo de fuga. Los polvos secos deberán aplicarse uniformemente y someterse a la influencia del campo de fuga mientras se hallan en el espacio inmediatamente superior a la superficie de la pieza. La suspensión líquida permite movilidad en dos direcciones mientras fluyen sobre la superficie de la pieza y en tres dimensiones si ésta se sumerge en la suspensión. Se consigue una buena movilidad seleccionando el tamaño de las partículas en función de la viscosidad del líquido portador. La disminución de la masa específica de las partículas revestidas de diferentes pigmentos también mejora su movilidad aunque en un grado menor.

- Las características más importantes de las partículas magnéticas son: tamaño, forma, densidad, visibilidad, propiedades magnéticas y movilidad. El tamaño de la partícula magnética queda determinado por cierto número de consideraciones, tales como requisitos de la inspección, selección entre métodos seco o húmedo, condición de la superficie de la pieza e intensidad del campo magnético.

- Las partículas grandes no resultan fácilmente atraídas a los campos de fuga. En razón a su tamaño, las grandes partículas pudieran recubrir una discontinuidad en toda su longitud y mejorar así su visibilidad, aunque reducen la atracción de las partículas más pequeñas a la superficie de una pieza “barriéndolas” y reduciendo así las indicaciones

# LAS PARTICULAS MACNETICAS

- de fondo. Pueden también formar líneas de drenaje que pudieran interpretarse erróneamente como defectos. Las propiedades de los líquidos portadores limitan el tamaño de las partículas a aproximadamente 70 micrones en razón a que las mayores tendrían menos movilidad; no existe un tamaño mínimo funcional para las partículas.
- Las partículas más pequeñas resultan atraídas a campos de fuga también más pequeños, y son por lo tanto más sensibles. Por otra parte, crean indicaciones de fondo que ocultan los defectos. Tienen también tendencia a agruparse y formar grumos que actúan como una unidad y resultan fácilmente atraídos a los campos de fuga.
- Los polvos de uso general contienen una mezcla de tamaños de partículas que se ajustan a casi todas las necesidades.
- La forma de las partículas también puede ser importante. Las partículas largas y delgadas se alinean mejor en el campo magnético por lo que muestran mejor las discontinuidades. No obstante, las partículas de forma globular poseen mejores características de flujo. En la práctica, las preparaciones que contienen mezclas de formas tienen sensibilidad suficiente, por lo que no están justificados los costos adicionales resultantes de la producción de partículas de una forma específica.
- Las partículas ferromagnéticas se depositan con gran rapidez tanto en el aire como en un líquido, por lo que es aconsejable que sean lo más pequeñas posible. Como se indica anteriormente, cuando se cubren con capas de color y fluorescencia, se reduce un tanto la densidad.

# VEHÍCULO

- **7.4.4 Vehículo**
- El líquido empleado como vehículo para el transporte de la sustancia magnética en el proceso húmedo deberá ser un destilado de petróleo ligero, bien refinado y de bajo contenido en azufre, o su equivalente\* siem pre y cuando sea aceptable por el agente del proveedor. El medio a base de destilado de petróleo deberá tener las características siguientes:
- deberá ser esencialmente no fluorescente.
- \* NOTA: Las suspensiones acuosas adecuadamente inhibidas son aceptables, con sujeción a su aprobación por el departamento responsable de' su adquisición.
- \*\* NOTA: Cuando el comprador desea un vehículo con un punto de fusión más alto, el mínimo deberá elevarse a 70 C.

Viscosidad, cinemática, a 40 °C, máximo	3 mm <sup>2</sup> /s
Punto de Fusión, en Vaso Cerrado Tag, mínimo.	57 °C**
Puntote Ebullición Inicial mínimo	199 °C
Punto Final, máximo	260 °C
Color, Saybolt	más 25

# SEGURIDAD

- 7.5. SEGURIDAD OPERATIVA
- Con objeto de que el técnico pueda efectuar una Inspección con arreglo a criterios especificados, el equipo y el material utilizados deberán poder funcionar a los niveles requeridos. El equipo y los materiales pueden y en efecto cambian con el uso, por lo que se imponen verificaciones periódicas para determinar su condición

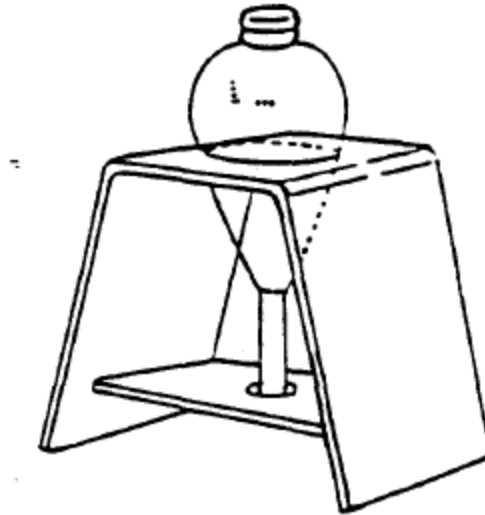
# LUZ NEGRA

- **7.5.1 Medición de la Intensidad de la Luz Negra**
- La calibración de la luz negra tiene como finalidad determinar la intensidad de esta luz sobre la superficie que se inspecciona. Hasta hace poco esto se efectuaba por medio de un aparato de medición graduada en "footcandles", similar al Weston 703. Este tipo de aparato es ligeramente sensible a la luz negra. El "footcandles" ha sido substituido como unidad de iluminancia por el lux (lx) en el S.I. Como quiera que en un principio no existía otro método de medición disponible, el tipo Weston se recomendaba en los códigos. Con este la intensidad de las mediciones de la luz es proporcional a la intensidad total de la luz y la medida es reproducible. Los nuevos aparatos de medición miden la luz negra sólo en unidades específicas (mW/cm<sup>2</sup>). Su calibración se efectúa colocando la fuente de luz negra sobre el aparato de medida a una distancia de 380 mm y centrando el aparato de
- medida para obtener la lectura más alta posible. Cuando se utiliza un aparato del tipo Weston, la luz visible circundante, o ambiente iluminado, deberá medirse primero y este valor substraerse de la lectura final en luz negra. La mayoría de las especificaciones requieren que la intensidad deberá ser como mínimo de 900 lx en el punto más intenso o en el eje central del haz. Deberá vigilarse que la lámpara se caliente debidamente y que el filtro este limpio. Algunas especificaciones insisten en que la luz ambiental no sea superior a 10 o 20 lx.
- El aparato de medida Weston puede emplearse con un filtro que reducirá la lectura de la luz negra completamente. Utilizando el aparato de medida Weston con filtro y el medidor de luz negra es posible efectuar mediciones precisas tanto de la luz visible como de la intensidad de la luz negra.

# CONCENTRACION DE PARTICULAS

- **7.5.2 Concentración de Partículas en los Líquidos Magnéticos**
- La suspensión que se recibe para la inspección de una pieza deberá verificarse para comprobar su contenido en partículas magnéticas empleando el método siguiente y en los intervalos necesarios para asegurar el debido control:
- (a) Agitar la suspensión durante 30 mm. o más.
- (b) Se deberá pasar líquido por la boquilla de rociado al mismo tiempo que se agita el líquido.
- (c) Llenar un tubo de centrifuga de 100 mm, Fjg. 7—8 hasta la marca de 100 ml utilizando la boquilla de rociado.
- (d) Desimanar si fuera necesario.
- (e) Dejar reposar durante 30 mm en una área exenta de vibraciones.
- (f) Leer el volumen del precipitado. Este volumen debe estar de acuerdo con la especificación requerida.\*
- (g) Comprobar la contaminación examinando el líquido flotante encima del precipitado. El líquido no deberá ser fluorescente.
- \* ASTM E 138 — (Con material indicador rojo o negro, la concentración recomendada de una muestra de 100 ml es de 1,2 a 2,4 ml. Con pasta fluorescente, la concentración que se recomienda es de 0,1 a 0,7 ml).
- (h) Examinar el precipitado. Si se pueden distinguir claramente dos capas, lease el volumen de cada una. La capa superior se considera como contaminación; no deberá ser fluorescente. El limite aceptable de contaminación quedará determinado por la especificación de aplicación.

# FIGURA



TUBO DE CENTRÍFUGA  
FIGURA 7—8

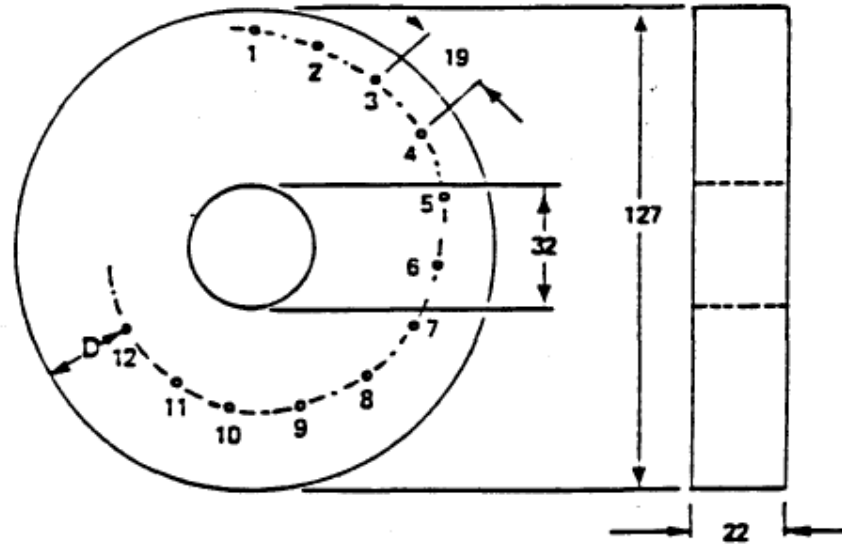
# FUNCIONAMIENTO

- **7.5.3 Funcionamiento del Equipo Imanante**
- **7.5.3.1 Prueba de Funcionamiento del Yugo Magnético**
- La efectividad de un yugo magnético se determina por su capacidad para levantar un peso. En un ejemplo típico (Código de la ASME para Calderas y Recipientes de Presión) es de 4,5 k para un yugo de ca, y 18 k para otro de cc. Si las patas del yugo son del tipo ajustable, la calibración se efectúa dejando entre las patas el mismo espacio que se dejará en la inspección propiamente dicha.
- **7.5.3.2 Verificación de Aparatos Fijos y Portátiles**
- En toda otra unidad de partículas magnéticas, la calibración se refiere sobre todo al amperímetro dado que ésta es la única fuente de información que tendremos sobre la intensidad de la corriente que fluye en el circuito de imanación. El amperímetro del aparato se compara a un amperímetro de referencia.
- Las lecturas se toman sobre toda la gama y si muestran grandes discrepancias (p.e. variación de 10%) será necesario reemplazar el amperímetro del aparato. El amperímetro de referencia deberá ir acompañado de un certificado de calibración que pueda referirse al Consejo Nacional de Investigación de Canadá. Dicho amperímetro de referencia debe asimismo estar diseñado para el tipo de corriente suministrado por el aparato: corriente rectificadora de media onda, corriente alterna etc. De otro modo las lecturas serán incorrectas. El campo de medida del amperímetro de referencia deberá también ser igual al de la unidad, p.e. 1500 a 3000 A. A intervalos regulares se deberá trazar una gráfica que permita establecer una correlación entre los valores leídos en el amperímetro del aparato y en el de referencia.
- En algunos casos, se emplea una barra, generalmente de cobre, para completar un circuito semejante al que se utiliza cuando se hace pasar una corriente por la pieza, con objeto de determinar si se está generando el amperaje máximo. Una baja de corriente indica pérdida en la corriente del circuito causada por malos contactos o conexiones, o un mal funcionamiento interno como el que puede producirse en un rectificador o en el amperímetro.

# ANILLOS KETOS

- **7.5.4 Anillo Ketos**
- El anillo Ketos (Figura 7—9 y 7-10) es un ejemplo del tipo de dispositivo que puede emplearse para la comprobación de un aparato. Se inserta un conductor central en el agujero aplicándosele una corriente, después de lo cual se expone al medio indicador (p.e. medio líquido de una unidad fija). La efectividad del sistema puede determinarse empleando los agujeros ciegos de pequeños diámetros como indicadores de la fuga de flujo en el diámetro exterior del anillo. El método del Anillo Ketos puede emplearse para precisar la condición del medio líquido o para especificar la potencia de salida de un sistema

# FIGURA ANILLO KETOS



Agujero No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diámetro	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
D	1.8	2.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	18.0	19.0	21.6

(dimensiones en milímetros)

FIGURA 7—9

Esquema del Anillo Ketos mostrando discontinuidades artificiales subsuperficiales

# ESPECIMEN

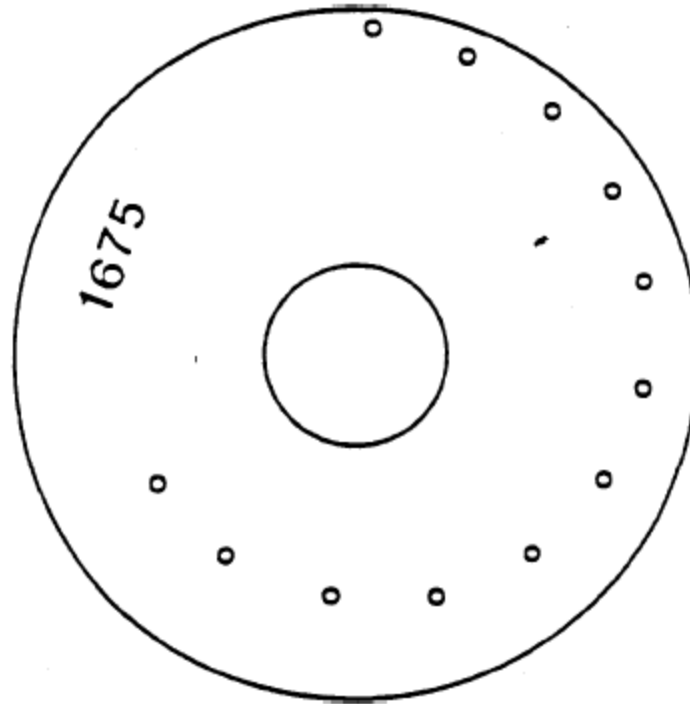


FIGURA 7—10

Espécimen del Anillo Ketos

## **CUESTIONARIO SEPTIMA LECCIÓN MT**

1. ¿Cuáles son los equipos imanantes, portátiles movibles?
2. ¿Cuales son los aparatos fijos?
3. ¿Cuáles son los yugos?
4. ¿Cuáles son imanes permanentes?
5. ¿Qué es sobre calentamiento del equipo?
6. ¿Qué es la luz negra?
7. ¿Cuál es la fuente de luz negra?
8. ¿Cuál es el filtro de luz negra?
9. ¿Cuales son las variaciones de intensidad de luz negra?
10. ¿Características de las partículas magnéticas color, permibilidad, tamaño y movilidad, vehiculo?



# CONTACTANOS

Dirección: Av. 4 Bella Vista, Edif. Ferley, Sótano Nro. 2 Oficina Nro. 69-104, Sector Bella Vista, Parroquia Olegario Villalobos, Municipio Maracaibo, Edo. Zulia.

Teléfonos: 0261-7978339 04146594881, 0416-6662794, 0412-5806487, 0416-8679248

Página Web: <https://www.rotarica.com.ve/>

E-mail: [contacto@rotarica.com.ve](mailto:contacto@rotarica.com.ve) [rotarica01@gmail.com](mailto:rotarica01@gmail.com)  
[rotarica2021@gmail.com](mailto:rotarica2021@gmail.com) [rotaricara@hotmail.com](mailto:rotaricara@hotmail.com)  
[rotaricard@gmail.com](mailto:rotaricard@gmail.com)  
Skype rotarica01