

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

METODO DE ENSAYOS POR PARTICULAS MAGNETICAS

M.A. Giuliadori

Instituto de Ensayos no Destructivos y Control de Calidad

Proyecto ARG/71/537-PDNU

OIEA - UNIDO

Programa Multinacional de Metalurgia

Organización de Estados Americanos

Area de Investigaciones Desarrollo y Servicios

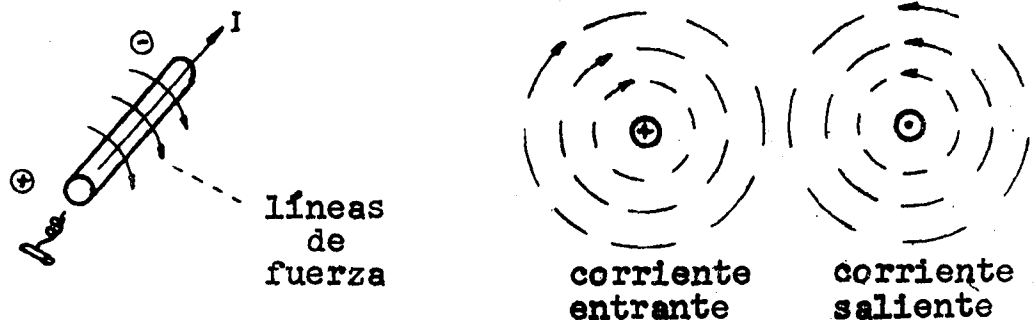
Argentina

## CAPITULO II

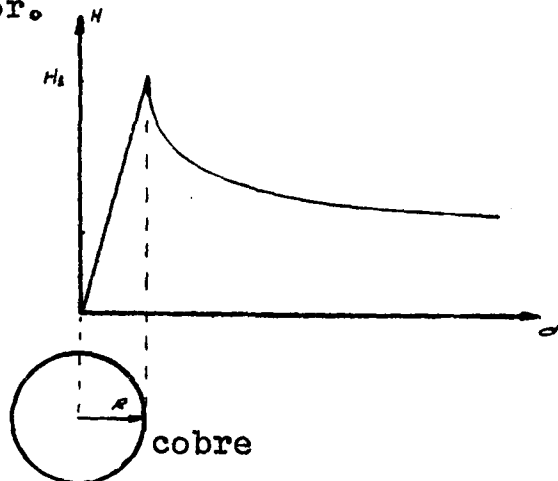
Campos Magnéticos Inducidos Electricamente:

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor crea un campo magnético alrededor del conductor, concéntrico con el mismo. Siendo la intensidad del campo "H", directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula; y la densidad de líneas de flujo será tanto mayor cuanto mas cerca nos encontremos de la superficie del conductor.

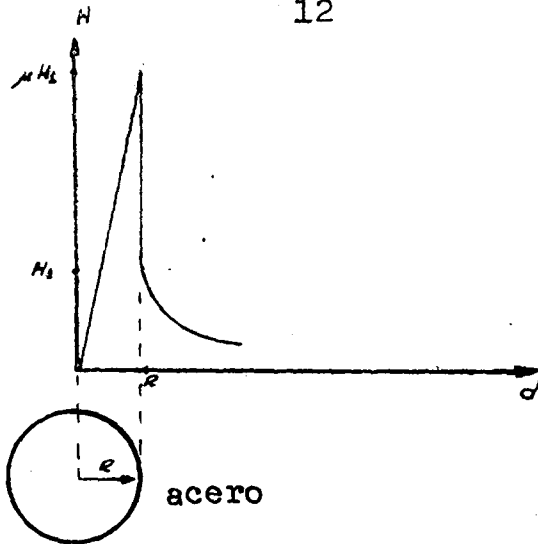
Recordando que la corriente circula de positivo a negativo y aplicando la regla del tirabuzón, podemos conocer el sentido de las líneas de fuerza.



Si el conductor es de cobre éste campo es exterior e interior.

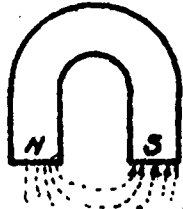


Si el conductor es de un material ferromagnético el campo queda delimitado en su interior, siendo máximo en su superficie.

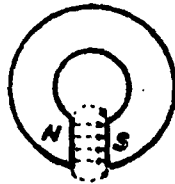


### Fundamentos del Método de Partículas Magnéticas:

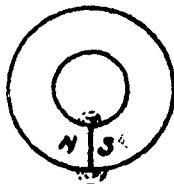
Si tenemos un imán herradura



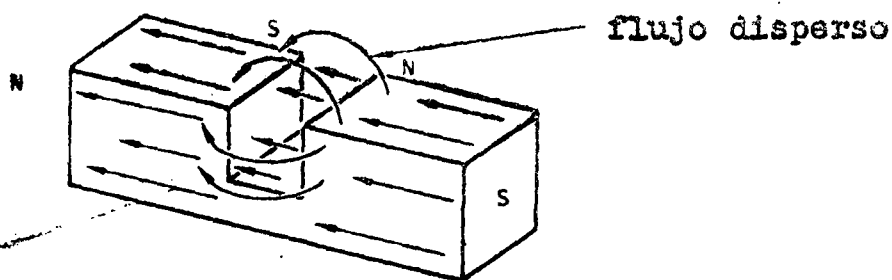
y lo cerramos hasta aproximar sus extremos, nos queda



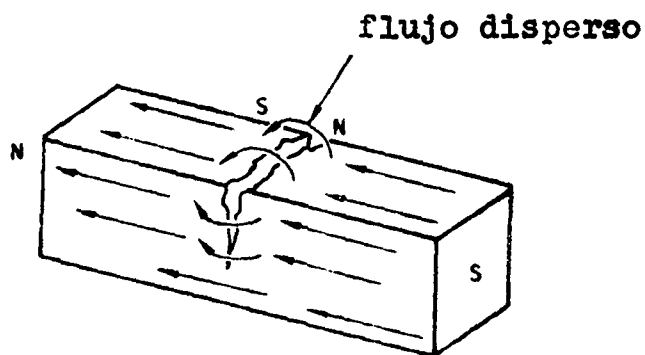
y si lo cerramos del todo, vemos que practicamente desaparecen los polos, pero existe una pequeña cantidad de líneas de fuerza que se cierran a través del aire, a las que denominaremos FLUJO DISPERSO, el cual nos determina el CAMPO DE FUGA



Analogamente, si en un imán se efectúa un corte parcial, se forman dos polos opuestos y aparecerá en esa zona un campo de fuga, formado por las líneas de fuerza que salen de la barra y pasan a través del aire de un polo al otro.

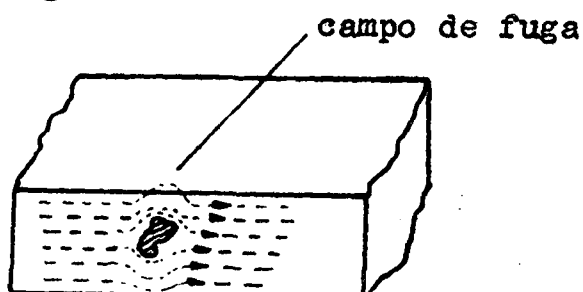


Como la interrupción del camino de las líneas de fuerza dentro del imán crea dos nuevos polos, deducimos que una discontinuidad (fisura, inclusión, variación de los parámetros magnéticos del material, etc.) dará lugar a la formación de dos nuevos polos, y por ende de un campo de fuga.

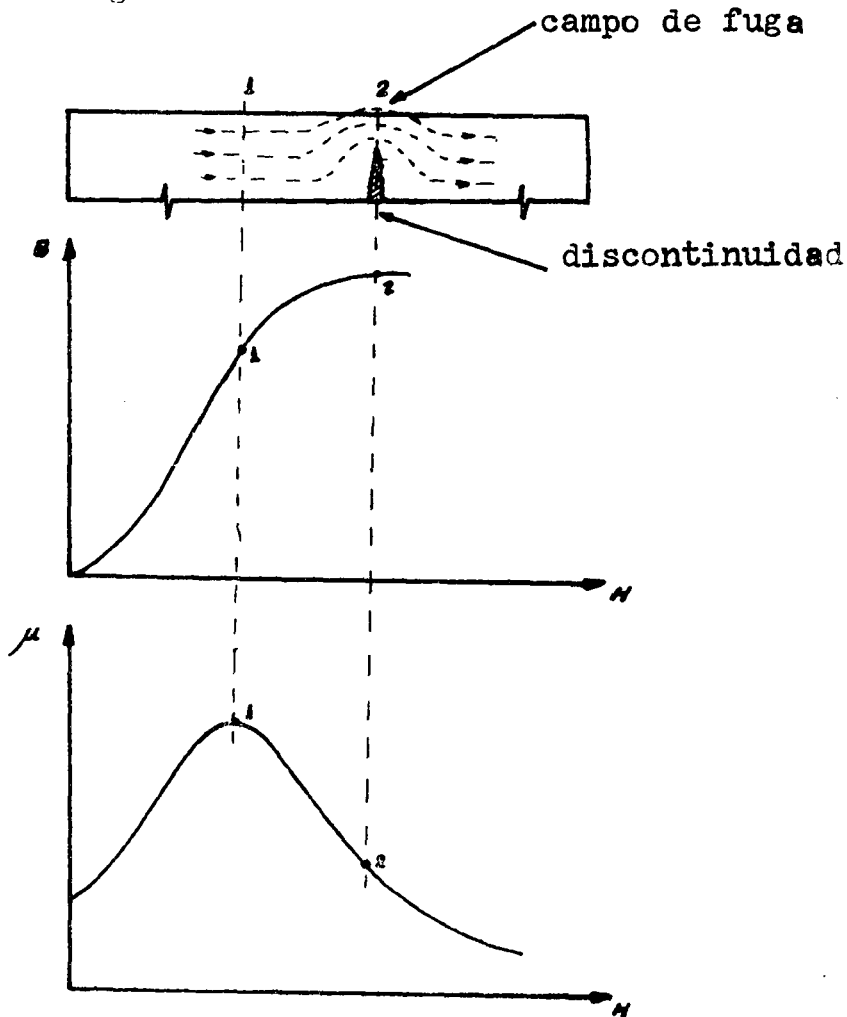


Vemos que : El método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea flujos dispersos provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades que interrumpen el camino de las líneas de fuerza.

Por lo tanto, éste método puede detectar discontinuidades en materiales que puedan ser fuertemente magnetizados o ferromagnéticos.



En consecuencia, en la sección que corresponde a la discontinuidad, hay una gran densidad de flujo que deberá pasar por una sección reducida. Por lo tanto, la permeabilidad será menor que en el resto de la pieza, forzando a que parte del flujo escape fuera de la misma, dando lugar a un campo de fuga.



Dicho campo de fuga nos permite detectar la discontinuidad, mediante un detector o medio magnético. O sean las partículas magnéticas, que son atraídas por los campos de fuga, dando lugar a la indicación de la discontinuidad.

La condición óptima de trabajo es aquella que: en el momento de la detección, la intensidad de campo "H" sea tal que en la pieza se obtenga máxima permeabilidad sobre la curva virgen.

## CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE ENSAYO

### a) Tecnica del campo residual o remanente:

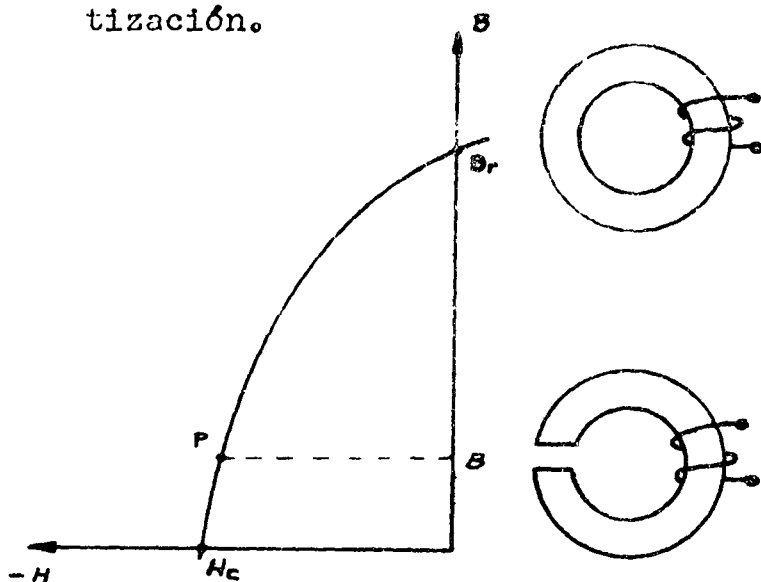
Se utiliza el campo magnético que retiene el material luego que se interrumpe la fuerza magnetizante. Este magnetismo residual o remanente es siempre menor que el que existe cuando la corriente está fluyendo.

Por lo tanto un campo continuo es una tecnica de ensayo más sensible que la del campo residual, o sea provee una mejor indicación, por ser mayor el flujo disperso y por ende la atracción sobre las partículas magnéticas.

### b) Tecnica del campo continuo:

Consiste en efectuar la aplicación de las partículas magnéticas mientras se mantiene la fuerza magnetizante. V

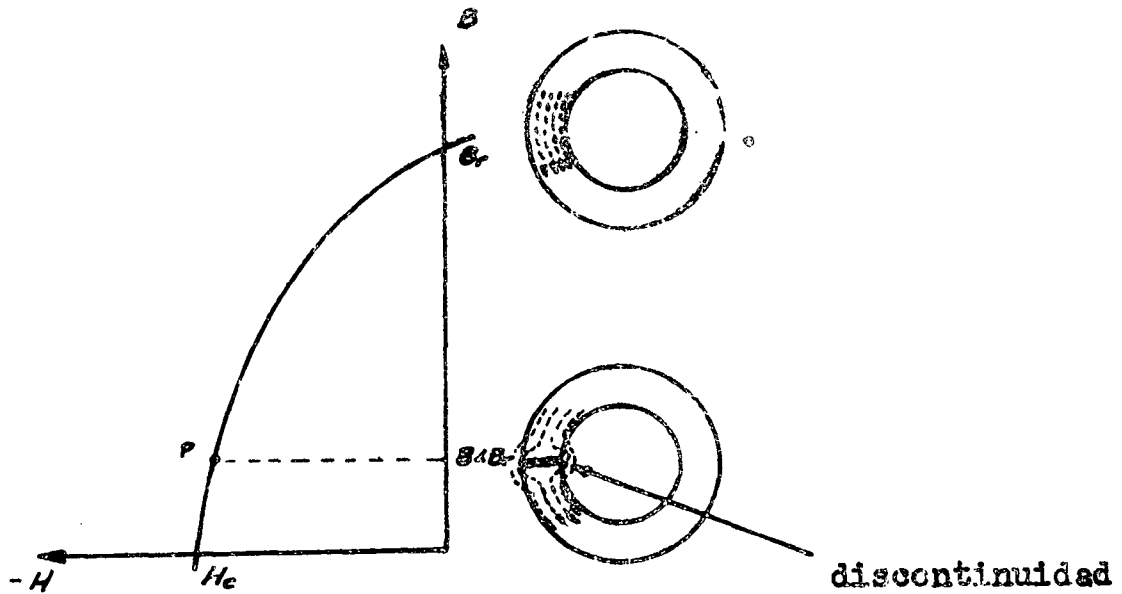
Veamos que sucede con dos muestras tubulares, una con polos libres y otra sin ellos, al suspender la magnetización.



Si no tiene polos libres retiene una alta densidad de flujo.

Vemos que los polos libres tienen un efecto desmagnetizante, o sea que la densidad de flujo disminuye.

Analogamente, veamos el efecto de una discontinuidad en una muestra tubular.



Luego de magnetizar un objeto de esta forma permanece como un imán permanente sin polos libres, operando en un punto practicamente coincidente con el de  $H_r$  ( magnetismo remanente ). Si presentase un defecto que forme polos libres, pasaría a operar en el punto "P". Por lo tanto el medio o partículas utilizadas para detectar deben ser aplicadas durante el proceso de magnetización. De tal forma que el flujo disperso remanente en los polos libres solo cumple la función de mantener la indicación, formada con un campo mucho mayor.

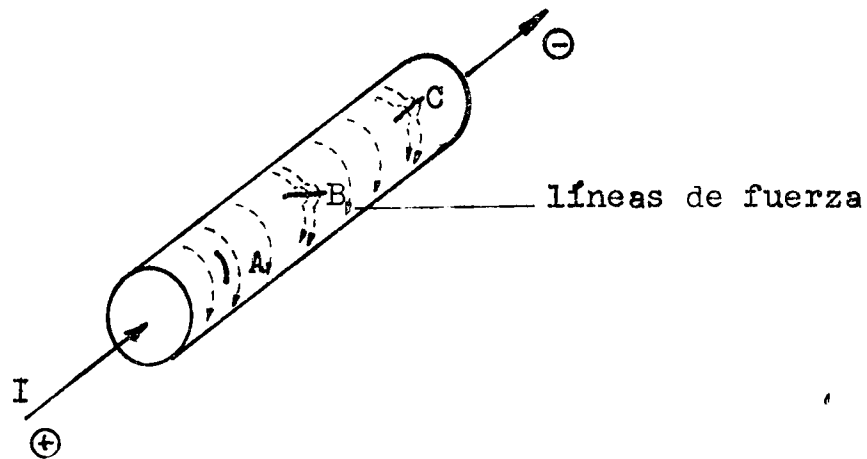
## CAPITULO III

### MODOS DE MAGNETIZACION

#### a) Magnetización Circular:

Recordando que la circulación de corriente a través de un material ferromagnético producía un campo magnético confinado en su interior, y máximo en su superficie. Podemos aplicar este efecto en la detección de discontinuidades.

Si tomamos una barra con discontinuidades orientadas en distintos sentidos, y hacemos circular corriente a través de ella:

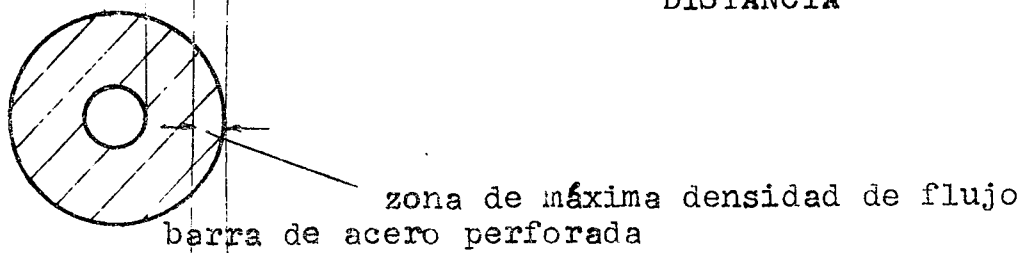
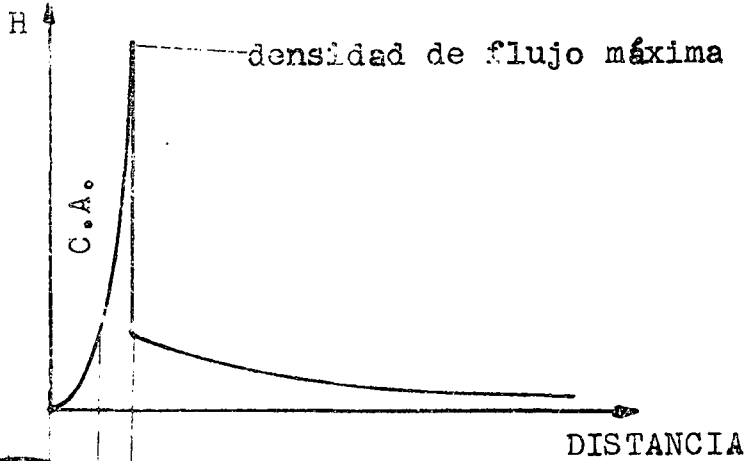
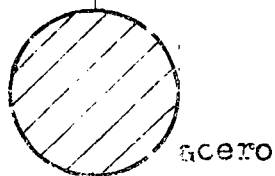
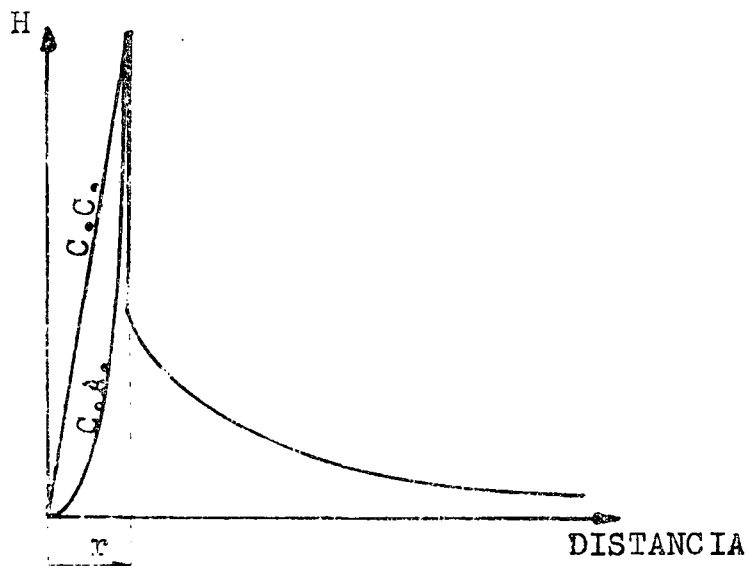
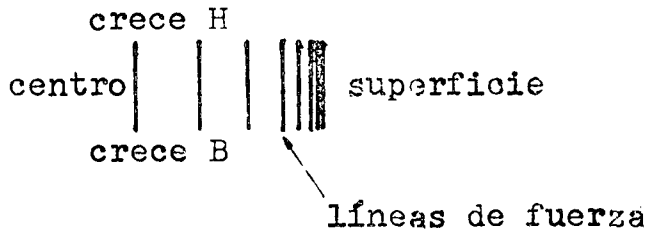


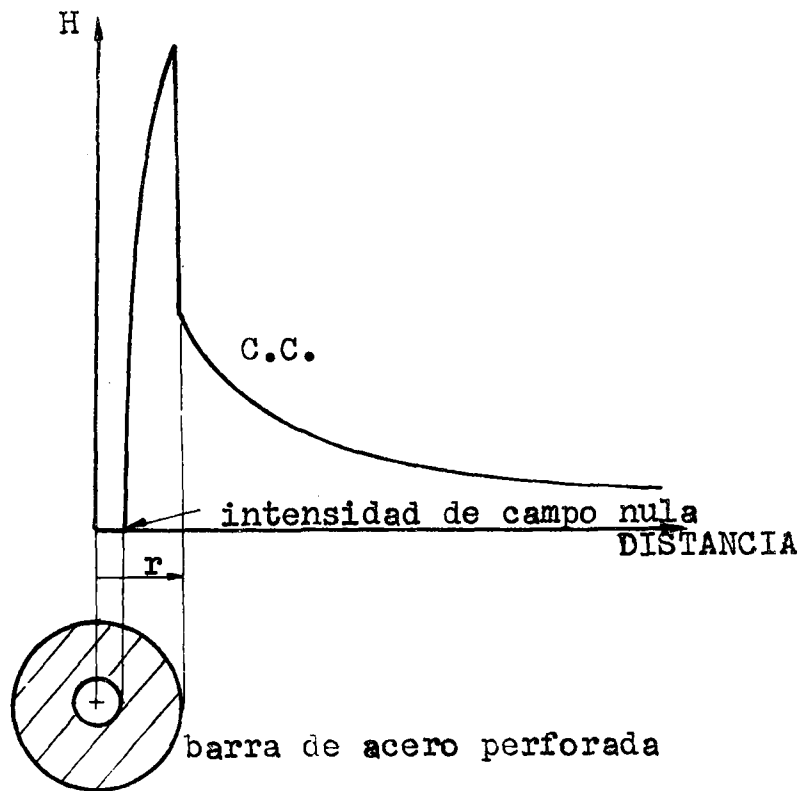
Vemos: que la discontinuidad "A" es paralela a las líneas de fuerza, o sea que no produce polos magnéticos, por lo tanto no provoca campos de fuga y no se detecta. Las discontinuidades "B" y "C" si se detectan.

Por lo tanto, debemos tener una idea de la orientación posible de los defectos en la pieza a ensayar (basados en su proceso de fabricación, tratamiento térmico, esfuerzos mecánicos a que fué sometida, etc.) para fijar la dirección de circulación de corriente que nos permita detectar dichas discontinuidades.

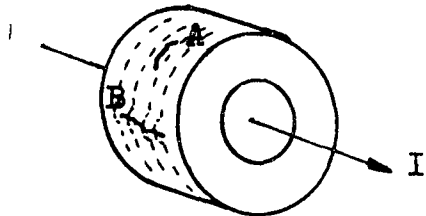
El campo se incrementa desde cero en el centro de la barra hasta alcanzar su valor máximo sobre la superficie

esto nos indica que el flujo disperso será mayor si la discontinuidad es superficial.



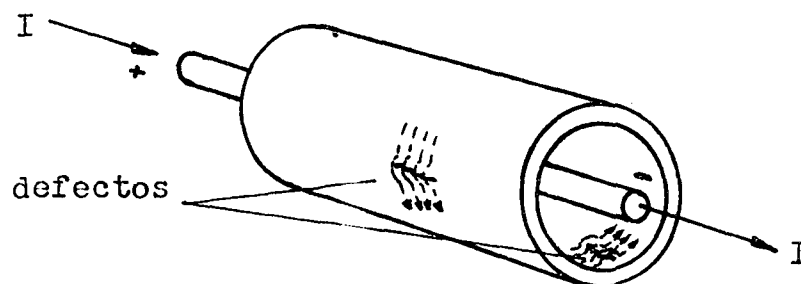


Veamos el siguiente caso:

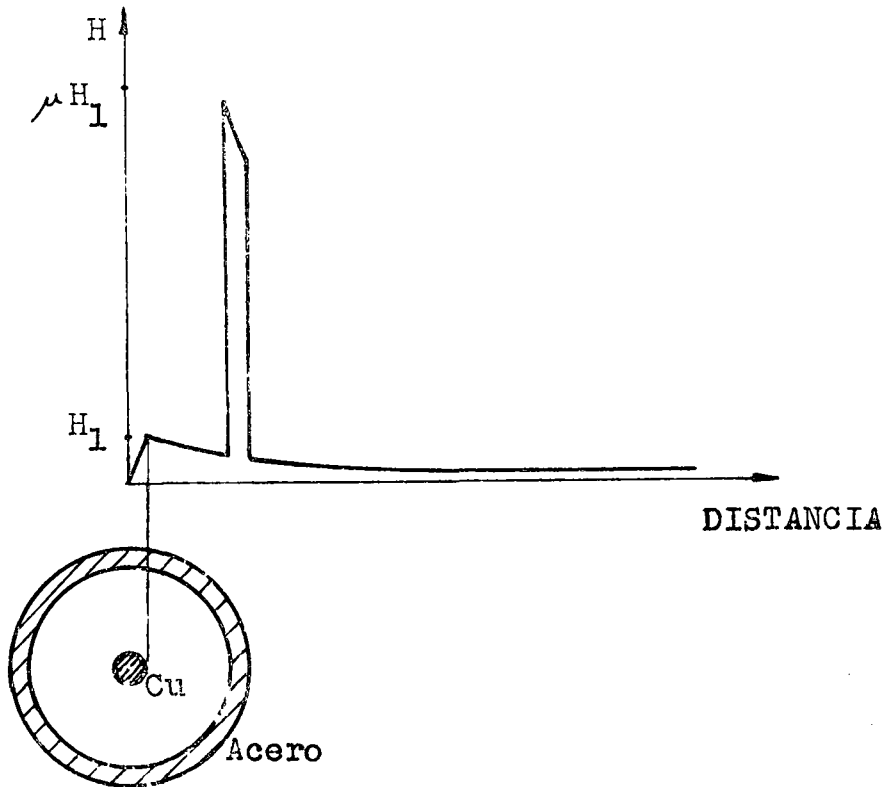


la fisura "A" es paralela a las líneas de fuerza, luego no es detectable; en cambio la fisura "B" si se detecta.

La intensidad de campo máxima estará sobre la superficie exterior. Por lo tanto, para ver defectos en la superficie interior se utiliza para magnetizar, un conductor central de cobre. Dicho conductor produce un campo magnético exterior a él, que es concatenado por la pieza a inspeccionar.

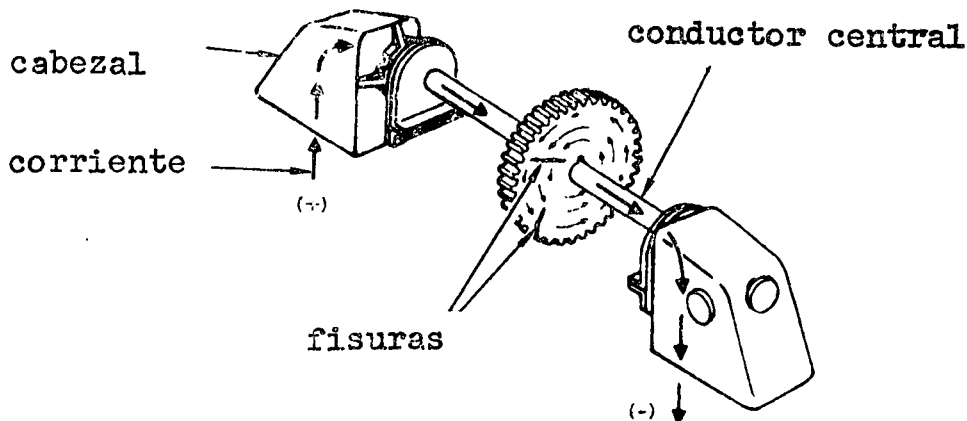


Siendo la distribución del campo:

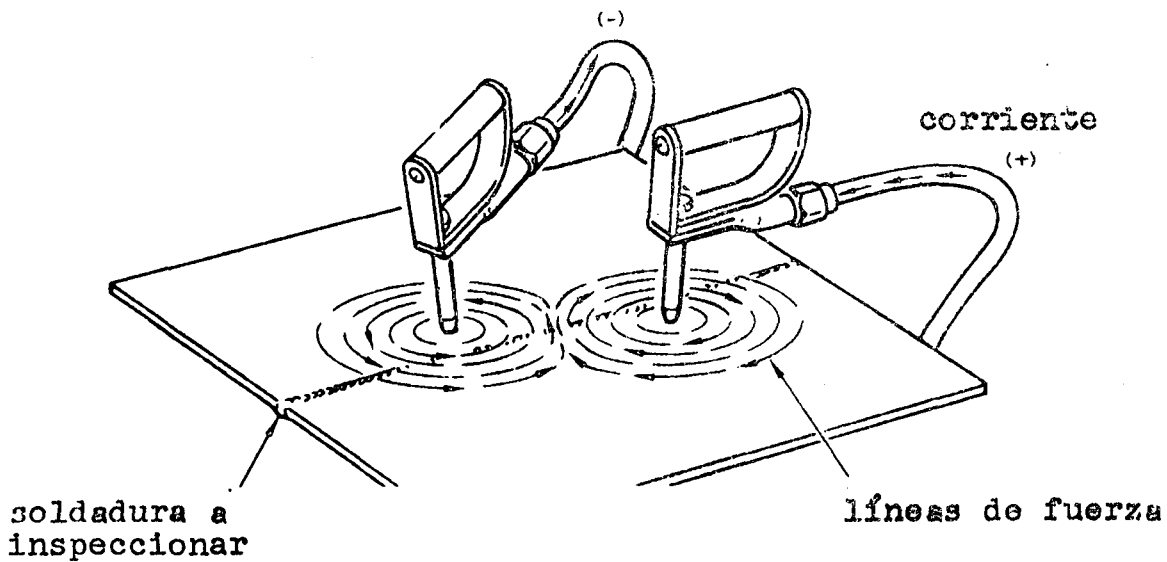


La intensidad de corriente requerida para la magnetización circunferencial es de 600-800 Amp. por cada 25 m.m. de espesor o diámetro.

Otra forma de magnetización circunferencial con conductor central es:



También es magnetización circular o circunferencial la utilización de puntas:

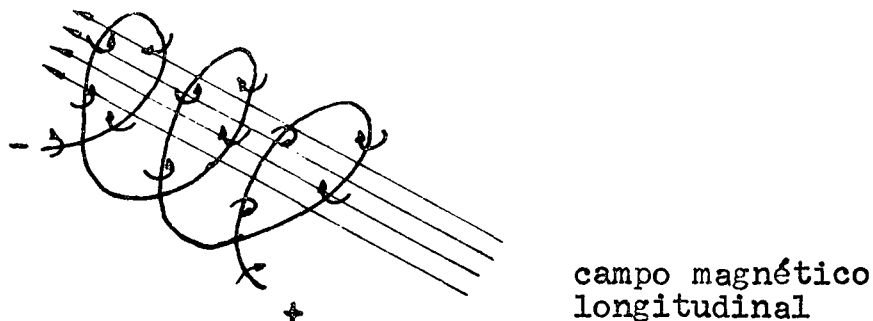


Las puntas deben estar ubicadas de tal forma que las líneas de fuerza sean normales a la zona de la soldadura a inspeccionar.

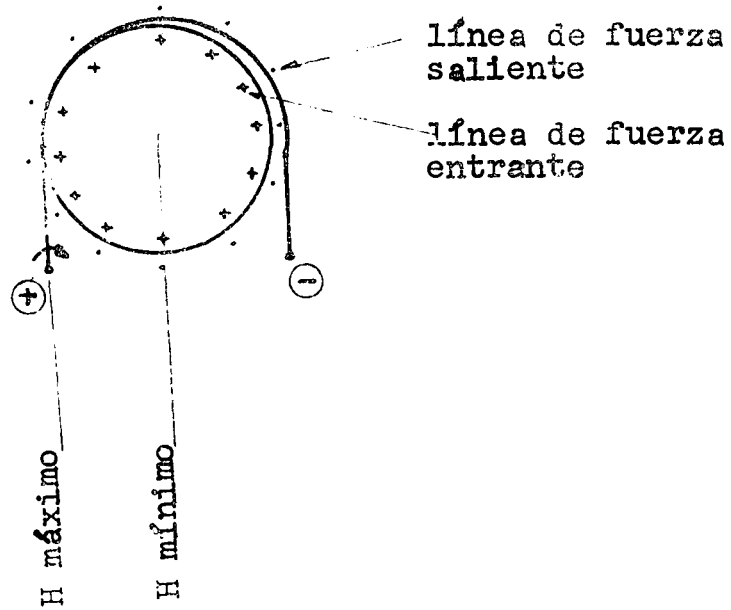
Debe tenerse en cuenta en este caso, que por ser el contacto puntual, al operar con corrientes elevadas la superficie de la pieza bajo ensayo puede ser deteriorada por falsos contactos, o sufrir calentamientos localizados.

#### b) Magnetización Longitudinal:

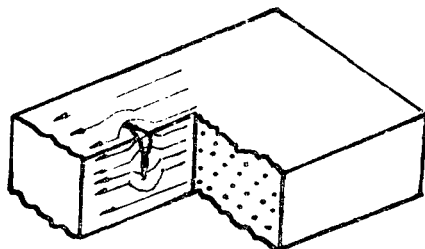
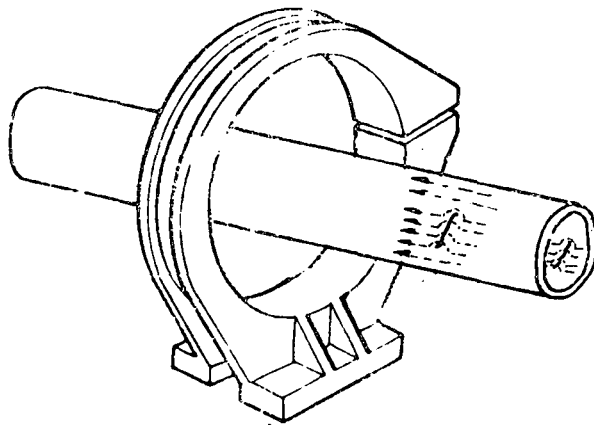
Se fundamenta en que la corriente eléctrica al pasar a través de una barra de cobre crea un campo magnético alrededor de la misma, solo que se modifica la geometría de la barra formando una bobina con la misma.



La máxima intensidad de campo está sobre la superficie interior de la bobina, pues es donde hay mayor densidad de flujo.



Este modo de magnetización, permite detectar fisuras o discontinuidades, tanto interiores como exteriores. Pues las líneas de fuerza en magnetización longitudinal, se presentan en toda la sección de la pieza.



Para magnetización longitudinal se requieren:

$$\frac{45,000}{L/D} = \text{Amp.}/\text{vuelatas}$$

L= longitud de la pieza

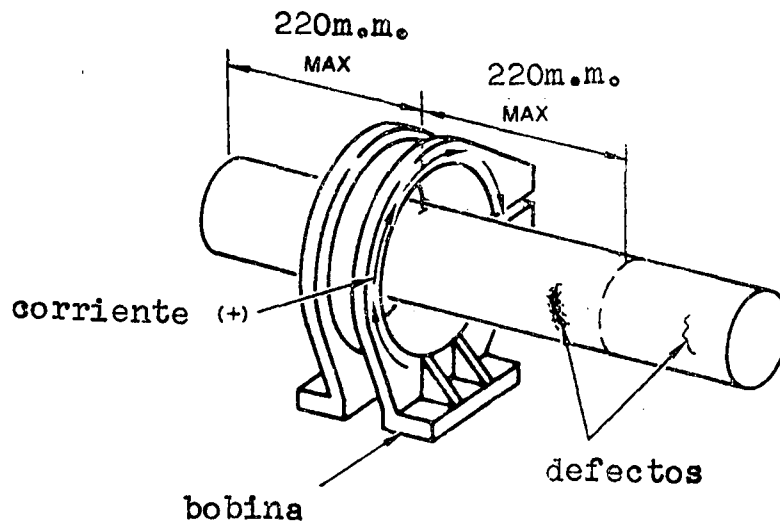
D=diámetro o espesor

esta fórmula es válida para  $2 \leq \frac{L}{D} \leq 15$  y para una sección de la pieza  $\leq \frac{1}{10}$  del area de la bobina.

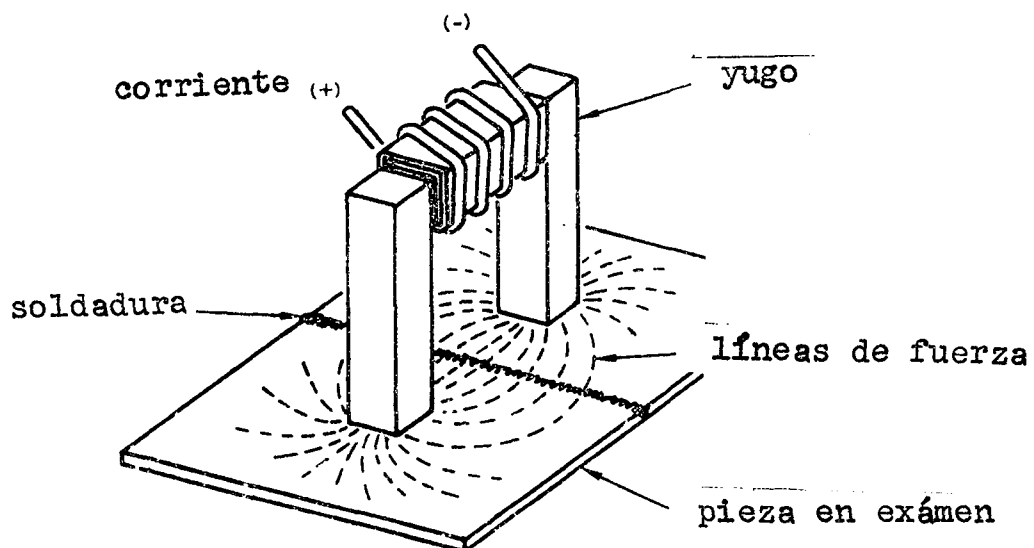
De donde, la corriente de magnetización será:

$$I = \frac{\text{Amp.}/\text{vuelatas}}{\text{N}^{\circ}\text{de vueltas de la bobina}}$$

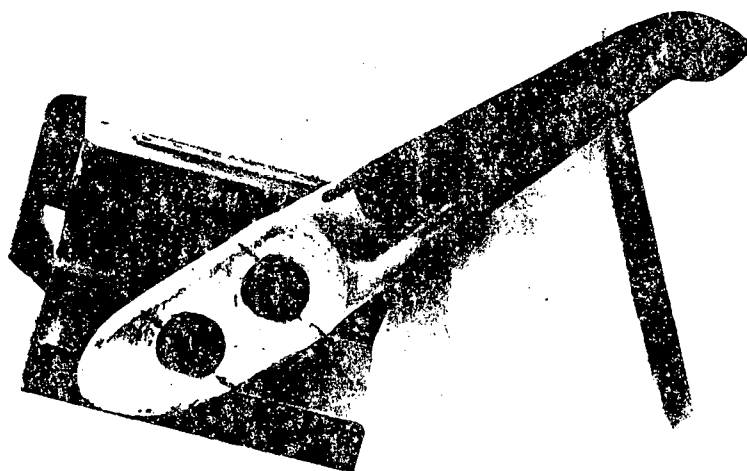
Si la pieza se ubica sobre la pared interior de la bobina, ésta magnetiza como máximo hasta 220 m.m. a ambos lados de la misma.



Otra forma de magnetización longitudinal es mediante la utilización del YUGO, que consiste en una bobina de alambre de cobre arrollada sobre un núcleo de chapas de hierro-silicio en forma de "U".



También podemos obtener magnetización longitudinal utilizando un IMAN PERMANENTE.



Para obtener magnetización longitudinal se suele utilizar el cable arrollado alrededor de la pieza a examinar cuando debido al tamaño de ésta, no se puede utilizar la bobina provista a tal efecto.



Toda otra forma de magnetización es combinación de los modos anteriormente descritos.

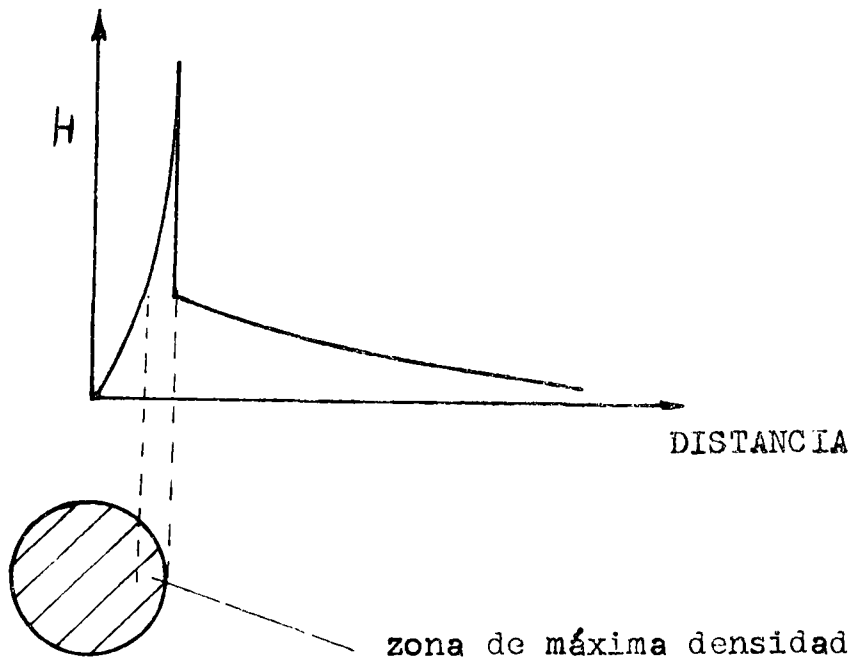
A continuación se dá una tabla con la clasificación y la nomenclatura de todos los modos de magnetización según las normas DIN 54121

Type of Magnetisation		Arrangement and Field Direction	Code Letters for Reports	Stamp or Etching Symbol	
Main Groups	Sub Groups				
Pole Magnetisation 1	Yoke Magnetisation with . . . 1.1	Permanent Magnet 1.1.1	YMP		
		Direct Current 1.1.2	YMD		
		Alternating Current 1.1.3	YMA		
		Impulsive Current 1.1.4	YMI		
	Solenoid or Coil Magnetisation with . . . 1.2	Direct Current 1.2.1	SMD		
		Alternating Current 1.2.2	SMA		
		Impulsive Current 1.2.3	SMI		
	Current Flow 2	Through-Current with . . . 2.1	Direct Current 2.1.1	TCD	
			(Current through Object) Alternating Current 2.1.2	TCA	
			Impulsive Current 2.1.3	TCI	
		Conductor-Bar Current with . . . 2.2	Direct Current 2.2.1	BCD	
			Alternating Current 2.2.2	BCA	
			Impulsive Current 2.2.3	BCI	
		Induced Current with . . . 2.3	Alternating Current 2.3.1	ICA	
Impulsive Current 2.3.2			ICI		
Combination Techniques		For Example: Yoke Magnetisation with Through Current	Direct Current with Alternating Current 1.1.2 2.1.2	YMD TCA	
Demagnetisation Symbol			in conjunction with the other symbols		

TIPOS DE CORRIENTE PARA MAGNETIZAR

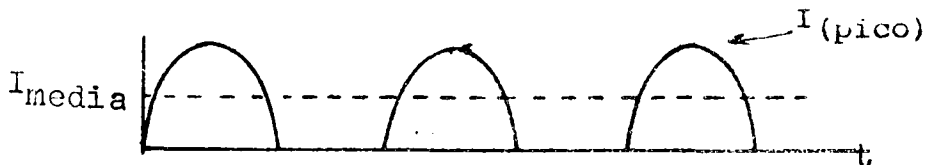
a) Alterna monofásica:

tiene poca penetración, por lo tanto las líneas de fuerza se concentran en la superficie, siendo muy sensible a discontinuidades superficiales. Este tipo de excitación da gran movilidad a las partículas magnéticas.

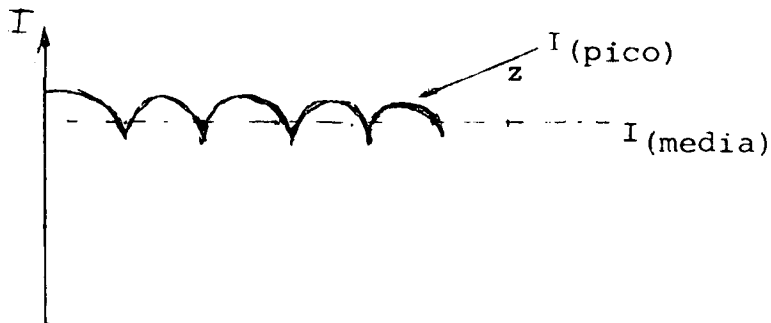


b) Alterna rectificadora de 1/2 onda o continua pulsante:

por ser pulsante otorga gran movilidad a las partículas magnéticas, con lo cual responden mejor a los flujos dispersos



Tiene las mejores cualidades de penetración para defectos sub-superficiales. La densidad de flujo está determinada por la  $I(pico)$ , mientras que el calentamiento es producido por la  $I(media)$ . En esto reside su principal ventaja con respecto a la continua por rectificación de trifásica, ya que esta tiene  $I(pico) \approx I(media)$  con lo cual a igual densidad de flujo tenemos mayor calentamiento.-



DATOS PARA LA MAGNETIZACION1.- Aplicación de polos magnéticos. (ASME-V/Art.7-1974).

a) Imanes permanentes o electroiman excitado por corriente continua.

- Se requiere fuerza portante de 20 kg. como mínimo.

Espacio entre polos de 75 a 150 mm.

b) Electroiman excitado por corriente alterna.

- Se requiere fuerza portante de 5 kg. como mínimo.

Estas técnicas sólo son recomendables para detectar defectos abiertos a la superficie. Para espesores menores que 6 mm. es más apropiado el electroiman excitado por corriente alterna que aquellos excitados por corriente continua o que los imanes permanentes de igual fuerza portante.

2.- Inducción mediante corriente eléctrica.

a) Magnetización circular con puntas de contacto.

- Distancia entre puntas no inferior a 75 mm. ni mayor que 200 mm.

- Si el voltaje a aplicar es mayor que 25 volts (circuito abierto) se aconseja usar contactos de plomo, acero o aluminio para evitar contaminar con cobre el material.

- Corriente de magnetización (ASME-V/Art.7-1974).

Distancia entre Contactos	Espesor del Material	
	20 mm	20 mm
	Amperios	Amperios
75 mm.	270 - 330	300 - 375
100 mm.	360 - 440	400 - 500
125 mm.	450 - 550	500 - 625
150 mm.	540 - 660	600 - 750
175 mm.	630 - 770	700 - 875
200 mm.	720 - 880	800 - 900

Estos valores son considerados apropiados para corriente continua o rectificada en aceros estructurales.

b) Magnetización circular por aplicación de corriente entre extremos o mediante conductor central.

- Con corriente continua se aplicarán los siguientes valores (ASME-V/Art.7-1974).

Diametro de la pieza	Amperaje por CM. de diametro (*)
12,5 cm.	250 a 350 A
12,5 a 25 cm.	200 a 250 A
25 cm.	120 a 200 A

\* Se considera el diametro de la mayor sección normal al flujo de corriente

- Con corriente alterna se aplicará entre 200 y 300 Amp. por cada cm. del mayor diametro normal al flujo de corriente.

c) Magnetización longitudinal con bobina o solenoide formado con cable.

- Solamente se obtiene una inspección efectiva si la razón largo sobre diametro (L/D) de la pieza es igual o mayor que 2.
- El área transversal de la pieza no debe ser menor que 1/10 del área de la bobina de magnetización.
- El número de Amper-vuelta requerido es inversamente proporcional a L/D y varía entre

$$\frac{10000}{L/D} \quad \text{y} \quad \frac{30000}{L/D} \quad (\text{ASTM-E138})$$

- Según ASME-V/Art.7-1974 se debe aplicar corriente continua o rectificada calculando el N° de Amper-vuelta de acuerdo a la fórmula:

$$A = \frac{35000}{2+L/D}$$

Para piezas pequeñas a magnetizar en bobinas grandes y para relaciones L/D > 4 se aplicará:

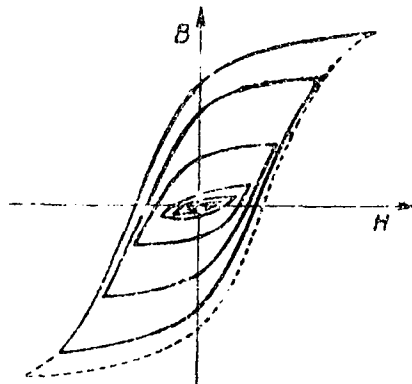
$$A = \frac{45000 \text{ A}}{L/D}$$

- El campo efectivo se extiende hasta 150 o 200 mm. por fuera de ambos extremos de la bobina.

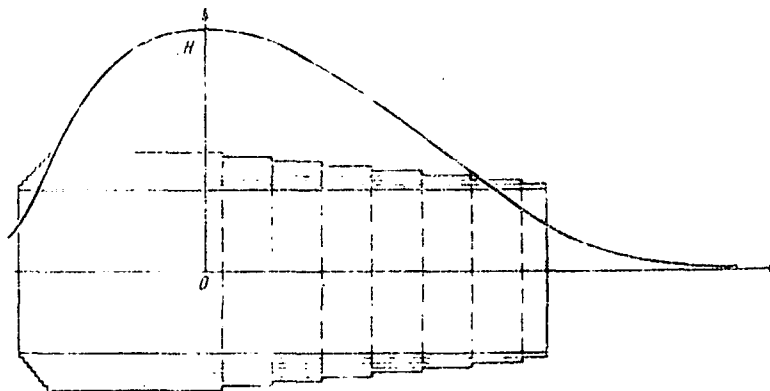
DESMAGNETIZACION:

Suele ser necesario desmagnetizar las piezas una vez inspeccionadas, debido a que el campo magnético residual atrae partículas metálicas ferromagnéticas, por lo tanto si la pieza está sometida a movimiento rotativo o alternativo, esta circunstancia aumentaría el desgaste. Si la pieza debe ser maquinada estas partículas adheridas interfieren en la operación. También pueden molestar para el caso de posteriores soldaduras de arco, pues el campo remanente puede llegar a desviar el arco eléctrico. En otros casos pueden interferir con el uso de instrumentos sensibles a campos magnéticos (aeronáutica p.ej.)

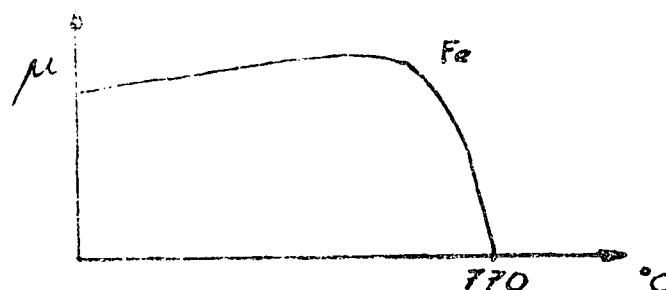
Para desmagnetizar se somete la pieza a un campo magnético alternativo decreciente, en forma continua o por pasos. Este campo puede ser obtenido con la misma bobina que utilizamos para magnetización longitudinal. Excitamos dicha bobina con corriente alterna y pasamos la pieza a través de ella hasta alejarnos de ella (esto sin interrumpir el paso de corriente). Obtenemos así ciclos de histéresis de valor decreciente como se muestra a continuación:



Otra forma de obtener un campo similar al descrito es empleando la bobina de desmagnetización representada abajo, en la cual el arrollamiento es decreciente en un sentido, obteniéndose una gradual disminución de la intensidad de campo. Si la bobina es excitada por corriente alterna se tendrán los ciclos de histéresis descritos



Otra forma de desmagnetizar es elevar la temperatura de la pieza hasta llegar a su punto de Curie, a partir del cual un material ferromagnético pierde totalmente su magnetismo remanente.-




## CAPITULO IV

## PARTICULAS MAGNETICAS

Características y técnicas de aplicación:

Las principales características que deben poseer son: muy baja retentividad y elevada permeabilidad (o sea un ciclo de histéresis muy delgado), tamaño y forma adecuado, baja densidad, elevada movilidad, y muy buena visibilidad o contraste.

Comercialmente se presentan en dos variedades:

a) para observar con luz blanca :  grises  
rojas  
negras  
amarillas

b) para observar con luz negra (  $3650 \text{ \AA}$  ) :— fluorescentes

Las técnicas de aplicación son dos :

a) Técnica seca:

Es más sensible para la detección de discontinuidades subsuperficiales.

Se la utiliza para piezas grandes de difícil manejo y es adecuada para la detección con equipos de magnetización portátiles.

Es sumamente importante para esta técnica, que la superficie a inspeccionar este limpia y seca.

Normalmente se la aplica cuando se utiliza para magnetizar puntas, yugo o bobina

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1º) Aplicamos la corriente de magnetización .
- 2º) Espolvoreamos las partículas magnéticas.
- 3º) Quitamos soplando suavemente el exceso de partículas, mientras se aplica la corriente para no borrar accidentalmente alguna indicación.

4º) Suspendemos la circulación de corriente.

5º) Analizamos las indicaciones.

A continuación podemos ver la inspección de una soldadura, mediante esta técnica.



b) Técnica húmeda:

Las partículas se aplican en suspensión en aceite liviano, kerosene, agua u otro vehículo con punto de ignición no inferior a 60 °C.

Las partículas magnéticas para preparar el baño suelen venir en forma de polvo, pasta o concentrados líquidos.

También se comercializa el baño preparado en forma de aerosol, en dos variantes:

a) partículas rojas

b) partículas fluorescentes

Esta técnica es más sensible para la detección de discontinuidades superficiales; es más utilizada para ensayar piezas pequeñas o ser aplicada en procesos de automatización.

Presenta una muy buena movilidad de las partículas,

para lo cuál se utilizan vehículos de baja viscosidad.

Normalmente se utiliza esta técnica cuando se magnetiza entre cabezas (magnetización circular).

Se procede de la siguiente manera:

- 1º) Se baña toda la superficie de la pieza con las partículas magnéticas en suspensión.
- 2º) Se aplica la corriente en el instante en que suspendemos el baño, para evitar que la fuerza del chorro del baño lave alguna indicación.
- 3º) Se suspende la circulación de corriente.
- 4º) Se analizan las indicaciones.

En la preparación del baño es de suma importancia la concentración del mismo, o sea la relación entre el volumen de partículas magnéticas y el volumen de líquido. Estas concentraciones están fijadas en la norma ASTM E-138-63.

Una concentración muy baja disminuye la sensibilidad del ensayo, y una concentración muy elevada puede enmascarar la indicación de los defectos.

Para esta técnica de ensayo es fundamental la limpieza de los componentes del equipo, y la concentración del baño.

Los pasos a seguir para la preparación del baño son los siguientes :

- 1º) Antes de preparar el nuevo baño, limpiar todos los componentes del equipo de bombeo y el tanque.
- 2º) Llenar el tanque con el vehículo recomendado por el fabricante para el tipo de partículas utilizadas.
- 3º) Pesar o medir la cantidad de partículas

en un recipiente limpio. Las cantidades típicas son :

45gr. de partículas no-fluorescentes cada

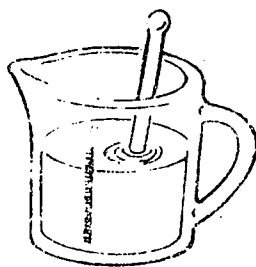
4 litros de aceite liviano.

7gr. de partículas fluorescentes cada

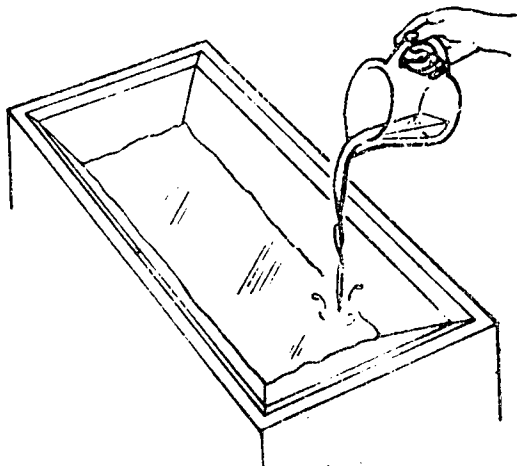
4 litros de aceite liviano.



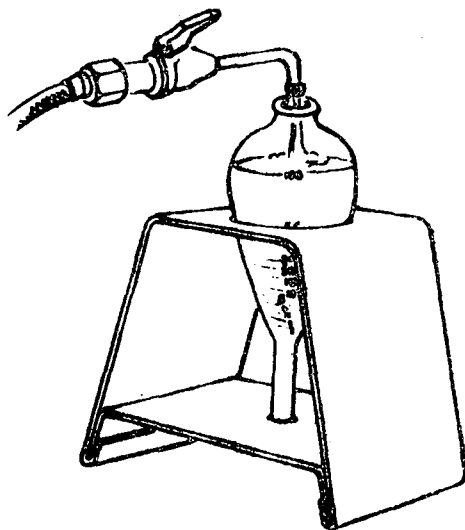
- 4º) Añadir una pequeña cantidad de aceite a las partículas, y mezclar vigorosamente.



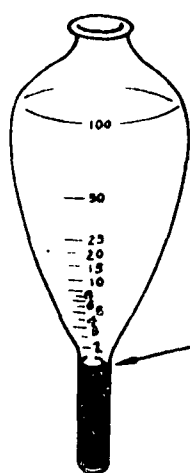
- 5º) Volcar el contenido del recipiente en el tanque con aceite y conectar la bomba de recirculación hasta asegurar una completa distribución de las partículas en el baño.



6°) Llenar con el baño el tubo de centrifuga hasta enrasar con la indicación de 100 cc.

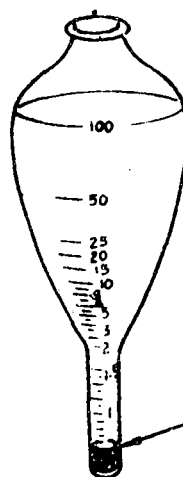


7°). Dejar decantar en un lugar libre de vibraciones durante treinta minutos.



NO-FLUORESCENTE

1,5 a 2 c.c.



FLUORESCENTE

0,2 a 0,4 c.c.

8°) Verificar el volumen de partículas acumuladas en el fondo del tubo. Para partículas coloreadas debe haber entre 1,5 y 2 cc. Para partículas fluorescentes debe haber entre 0,2 y 0,4 cc.

Si la lectura es mayor, añadir vehículo. Si es menor se deben añadir partículas al baño.

Esta verificación debe hacerse todos los días, antes de comenzar a trabajar.-

## CAPITULO V

Ventajas con respecto al método de líquidos penetrantes:

- 1º) Es más rápido.
- 2º) No son necesarias limpiezas sofisticadas, ni preparaciones especiales de la superficie.
- 3º) Puede detectar discontinuidades superficiales aún bajo delgadas capas plásticas o esmaltes.
- 4º) Puede detectar ciertas discontinuidades sub-superficiales.

Desventajas:

- 1º) Los materiales no-magnéticos no pueden ser testeados con este método (Al, Mg, Cu, Pb, Ti, bronce, aceros austeníticos, etc.)
- 2º) El campo magnético debe interseptar las discontinuidades en una dirección dada, por lo tanto el operador debe conocer su posible ubicación o efectuar más de un ensayo por pieza.
- 3º) Las excesivas corrientes que son necesarias para magnetizar piezas grandes.
- 4º) La desmagnetización que puede ser necesaria con posterioridad al ensayo.
- 5º) El calentamiento localizado y quemado de la superficie de la pieza cuando se utilizan puntas con elevada circulación de corriente.

Precauciones a tener en cuenta:

- 1º) Los arcos eléctricos que aparecen debido al mal contacto entre las puntas y la pieza cuando circulan corrientes elevadas: por lo tanto no usar en áreas explosivas.
- 2º) Los aceites y pastas utilizados afectan la piel. Para uso continuo de estos productos emplear guantes o cremas protectoras
- 3º) Las partículas magnéticas utilizadas en el método seco no son tóxicas, pero en lo posible debe evitarse su inhalación usando máscaras.
- 4º) En caso de emplear luz negra, poner los filtros adecuados. No enfocarla directamente sobre los ojos ni usarla sobre superficies reflectantes.

## ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS

### DATOS PARA LA MAGNETIZACION

#### 1.- Aplicación de polos magnéticos. (ASME-V/Art.7-1974).

##### a) Imanes permanentes o electroiman excitado por corriente continua.

- Se requiere fuerza portante de 20 kg. como mínimo.

Espacio entre polos de 75 a 150 mm.

##### b) Electroiman excitado por corriente alterna.

- Se requiere fuerza portante de 5 kg. como mínimo.

Estas técnicas sólo son recomendables para detectar defectos abiertos a la superficie. Para espesores menores que 6 mm. es más apropiado el electroiman excitado por corriente alterna que aquellos excitados por corriente continua o que los imanes permanentes de igual fuerza portante.

#### 2.- Inducción mediante corriente eléctrica.

##### a) Magnetización circular con puntas de contacto.

- Distancia entre puntas no inferior a 75 mm. ni mayor que 200 mm.

- Si el voltaje a aplicar es mayor que 25 volts (circuito abierto) se aconseja usar contactos de plomo, acero o aluminio para evitar contaminar con cobre el material.

- Corriente de magnetización (ASME-V/Art.7-1974).

Distancia entre Contactos	Espesor del Material	
	20 mm	20 mm
	Amperios	Amperios
75 mm.	270 - 330	300 - 375
100 mm.	360 - 440	400 - 500
125 mm.	450 - 550	500 - 625
150 mm.	540 - 660	600 - 750
175 mm.	630 - 770	700 - 875
200 mm.	720 - 880	800 - 900

Estos valores son considerados apropiados para corriente continua o rectificada en aceros estructurales.

b) Magnetización circular por aplicación de corriente entre extremos o mediante conductor central.

- Con corriente continua se aplicarán los siguientes valores (ASME-V/Art.7-1974).

Diametro de la pieza	Amperaje por CM. de diametro (*)
12,5 cm.	250 a 350 A
12,5 a 25 cm.	200 a 250 A
25 cm.	120 a 200 A

\* Se considera el diametro de la mayor sección normal al flujo de corriente

- Con corriente alterna se aplicará entre 200 y 300 Amp. por cada cm. del mayor diametro normal al flujo de corriente.

c) Magnetización longitudinal con bobina o solenoide formado con cable.

- Solamente se obtiene una inspección efectiva si la razón largo sobre diametro (L/D) de la pieza es igual o mayor que 2.
- El área transversal de la pieza no debe ser menor que 1/10 del área de la bobina de magnetización.
- El número de Amper-vuelta requerido es inversamente proporcional a L/D y varía entre

$$\frac{10000}{L/D} \quad \text{y} \quad \frac{30000}{L/D} \quad (\text{ASTM-E138})$$

- Según ASME-V/Art.7-1974 se debe aplicar corriente continua o rectificada calculando el N° de Amper-vuelta de acuerdo a la fórmula:

$$A = \frac{35000}{2+L/D}$$

Para piezas pequeñas a magnetizar en bobinas grandes y para relaciones L/D  $\geq 4$  se aplicará:

$$A = \frac{45000 A}{L/D}$$

- El campo efectivo se extiende hasta 150 o 200 mm. por fuera de ambos extremos de la bobina.