

# Histereógrafo con un amplio rango de mediciones de permeabilidad magnética

E. Vega Reyes, J. Portelles Rodríguez y F. Calderón Piñar  
Departamento de Física Aplicada, Facultad de Física, Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se presenta la modificación de un histereógrafo simple, descrito en la literatura, con el propósito de ampliar el rango de medición de los parámetros relacionados con el lazo de histéresis, tales como: fuerza coercitiva, magnetismo remanente permeabilidad relativa.

El equipo construido permite caracterizar ferritas blandas con permeabilidad relativa inicial pequeña o que requieran una gran intensidad de excitación, para alcanzar la saturación en muestras toroidales de pequeñas dimensiones. Se muestran los resultados obtenidos al medir núcleo de ferrita con permeabilidad relativa inicial de 15 y excitación de 1800 A/m.

## ABSTRACT

An improvement of a conventional induction curve tracer is presented with the aim to achieve a wider measurement range of hysteresis loop parameters as coercive force, remanent induction and relative permeability.

The equipment allows the study of soft ferrites with low relative initial permeability or that require a high intensity of excitation field to reach saturation in toroidal small samples. Results are shown for ferrites cores with relative initial permeability of 15 and an excitation field of 2800 A/m.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la caracterización de los materiales magnéticos, como por ejemplo las ferritas, es el de determinar los parámetros que permiten controlar el proceso tecnológico empleado en su elaboración, verificar la reproductibilidad de los mismos y brindar información para su utilización en diferentes aplicaciones.

Existen, en general, dos métodos para obtener los parámetros de los materiales magnéticos: uno emplea técnicas estáticas o de corriente directa y se utiliza fundamentalmente en ferritas duras (imanes permanentes) y el otro, aplicado usualmente en ferritas blandas, usa técnicas dinámicas o de corriente alterna.

La técnica de corriente alterna que se expone posibilita medir los parámetros relacionados con el lazo de histéresis. Estos parámetros son: inducción remanente ( $B_r$ ), fuerza coercitiva ( $H_c$ ) y la curva de permeabilidad relativa ( $\mu_r$ ) contra campo aplicado ( $H$ ), que permite obtener parámetros, tales como la permeabilidad relativa inicial ( $\mu_i$ ), la máxima ( $\mu_m$ ) y el valor de la intensidad de campo ( $H$ ) para la permeabilidad relativa máxima.

La referencia [1] describe un equipo para obtener el lazo de histéresis de ferritas blandas y el mismo propone un método de calibración (mediante una inductancia mutua de valor conocido); es capaz de alcanzar una precisión entre 10 % y 20 %, de acuerdo con la intensidad de campo necesario para saturar el núcleo de ferrita estudiada.

Al caracterizar núcleos toroidales de ferritas blandas con diámetro pequeño y con valor de permeabilidad relativa inicial por debajo de 200, mediante el equipo desarrollado en (1), no es posible obtener resolución adecuada del lazo de histéresis en la pantalla del osciloscopio, debido a dos causas fundamentales: en primer lugar, el número de vueltas en el secundario del transformador de ferrita no es suficiente para obtener el lazo totalmente desplegado en la pantalla, no siendo posible incrementar el número de vueltas a causa de las dimensiones pequeñas del toroide (diámetro exterior 20 mm). En segundo lugar, en el caso de muestras que necesiten una alta intensidad de campo para saturar el material, la resistencia puesta en serie con la bobina excitadora limita notablemente las posibilidades de incrementar la corriente con una fuente de bajo potencial [2].

Este trabajo presenta un histereógrafo, que permite obtener los parámetros antes expuestos del lazo de histéresis, en las ferritas de permeabilidad relativa baja, en toroides de pequeñas dimensiones; es decir, amplía el rango de medición.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

El método de corriente alterna (3), que utiliza un circuito integrador simple, se representa esquemáticamente en la figura 1. Al variar el campo  $H$  con una señal alterna, es posible determinar las propiedades dinámicas del material estudiado.

La intensidad de campo se expresa como  $H = \frac{NI}{l}$ , donde  $N$  es el número de vueltas del primario del núcleo de ferrita,  $I$  es la corriente de excitación y  $l$  es la longitud media del toroide. La expresión antes expuesta depende de las dimensiones del toroide y es necesario multiplicar por un

factor de corrección para obtener una precisión adecuada (1).

Para visualizar la corriente, que crea el campo excitador, en el osciloscopio, se utiliza una resistencia de muestreo  $R_0$ , obteniéndose como resultado que  $U = \frac{\ell R_0}{N} H$  donde  $U$  es la diferencia de potencial a la entrada horizontal del osciloscopio.

La fuerza electromotriz inducida ( $E$ ) en los extremos del secundario depende de la variación del flujo magnético ( $\phi$ ),  $|E| = \frac{d\phi}{dt}$ . Este flujo se representa por  $\phi = N, SB$ , siendo  $N$ , el número de vueltas en el secundario y  $S$  la sección transversal del núcleo troidal. Para obtener la inducción magnética se integra la fuerza electromotriz inducida utilizando un sistema resistencia-capacitor como integrador simple. La diferencia de potencial entre los extremos del capacitor  $U_c$ , es función de la inducción magnética;  $U_c = \frac{N_1 S}{RC} B$  y se conecta a la entrada vertical del osciloscopio. De esta manera, con ambos potenciales se obtiene una figura cerrada: el lazo de histéresis.

La calibración del equipo es importante pues determina el error introducido en la medición.

El método desarrollado en (1) utiliza una inductancia mutua ( $M$ ) de valor conocido y se fundamenta en la obtención de la relación del valor máximo de la intensidad de campo y de la inducción magnética en función de la corriente máxima en el primario del núcleo de ferrita y esta relación permanece constante, por lo que es factible de independizar la intensidad de campo y la inducción magnética de dicha corriente y calibrar los valores máximos de  $H$  y de  $B$  por divisiones en cada escala. Una vez hecha la calibración no se puede variar la ganancia pero sí la corriente de excitación.

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CONSTRUIDO

---

El equipo se puede dividir en tres etapas: generadora, de medición y de visualización, figura 2.

La etapa generadora tiene la función de excitar el primario del transformador de ferrita bajo medición. Se utiliza una fuente de bajo voltaje a la frecuencia de la red comercial, formada por un autotransformador variable acoplado a otro transformador reductor capaz de entregar 5A a una tensión de 8 V.

A partir de la figura se observa fácilmente que la resistencia  $R_0$  limita el valor de la corriente máxima que circula por la bobina excitadora del núcleo toroidal, por esta razón, la disminución del valor de la resistencia de muestreo  $R_0$  es ventajosa cuando se desea alcanzar alta corriente a partir de condiciones dadas en la salida del transformador reductor.

Colateralmente, puede evitar efectos indeseables, tal como la variación de la corriente debido al calentamiento de la resistencia por efecto Joule.

La etapa de medición comprende dos bloques:

El bloque I corresponde a la intensidad del campo y su salida se conecta al eje horizontal del osciloscopio mientras que el bloque II se relaciona a la inducción magnética y su salida se representa en el eje vertical.

El bloque I al disminuir la resistencia de muestreo  $R_0$ , se tiene que amplificar la señal para lo cual se utiliza un amplificador operacional ( $A_1$ ) con ganancia variable en forma discreta y continua.

Del esquema eléctrico se obtiene la ganancia al considerar el amplificador operacional como ideal (4).

$$G = \frac{R_2}{R_1} \left[ 1 + \frac{R_3}{R_4} \right]$$

Con la condición que:  $R_2 > R_1$   
 $R_3 > R_4$

Esta configuración posibilita variar la ganancia mediante la resistencia  $R_4$ , esta ganancia puede ajustarse entre 40-100, la misma es factible de variarse para otros rangos de medición.

El amplificador operacional ( $A_2$ ) se utiliza en una configuración de desfaseador (5) que sirve para compensar cualquier desfase introducido entre la señal de referencia (primario del transformador de ferrita) y la señal integrada, producto de diferentes causas, por ejemplo, aunque la resistencia  $R_6$  se escoge de pequeño valor para que el desfase sea mínimo, al agregar el amplificador  $A_1$ , es probable que se introduzca un desfase indeseable capaz de deformar el lazo de histéresis y por lo tanto, los parámetros obtenidos no son correctos (6). También el circuito integrador utilizado puede aumentar el desfase.

El esquema mostrado tiene las siguientes ventajas, en primer lugar la fase se ajusta entre  $\pm 15$  grados (para el presente trabajo) a la frecuencia utilizada mediante el potenciómetro doble  $R$  y en segundo lugar mantiene la diferencia de potencial de salida del desfaseador constante para variaciones de  $R$ . Tiene el inconveniente que la ganancia es inferior a la unidad.

Si el amplificador operacional se considera ideal, se obtiene la relación siguiente:

$$K(\omega) = \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{|1 - j\frac{X}{3}|}{|1 + j\frac{X}{3}|}$$

donde:

$$X = \omega RC - \frac{1}{\omega RC}$$

$$R_5 = 5R_6 \quad |K(\omega)| = \frac{1}{5}$$

$$\arg K(\omega) = -2 \arctan \frac{X}{3}$$

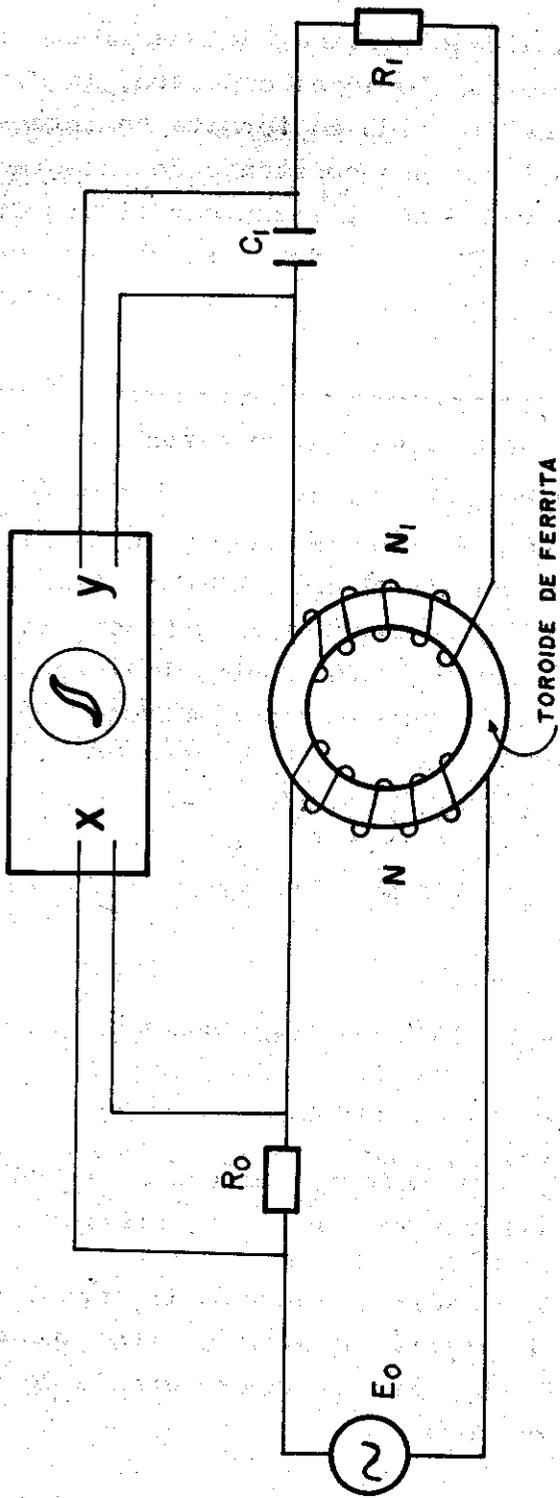


FIG.1 - DIAGRAMA PARA OBTENER EL LAZO DE HISTÉRESIS POR EL MÉTODO DE CORRIENTE ALTERNA..-



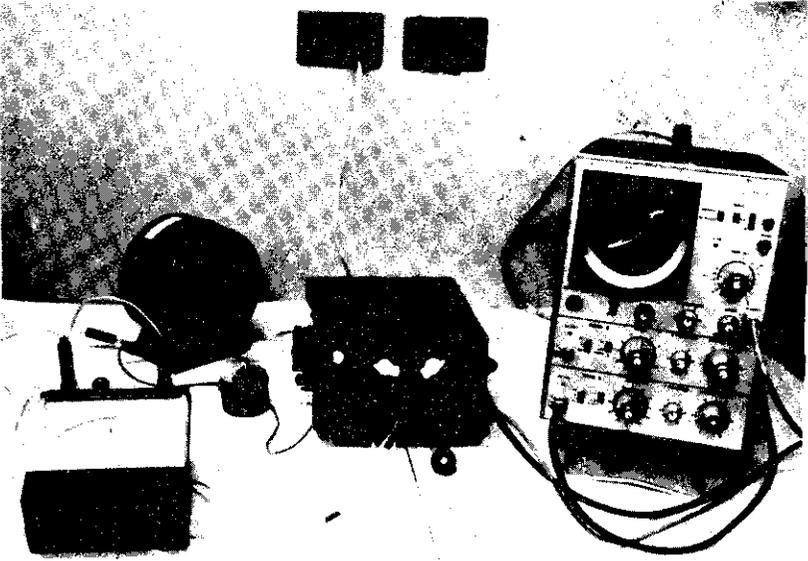
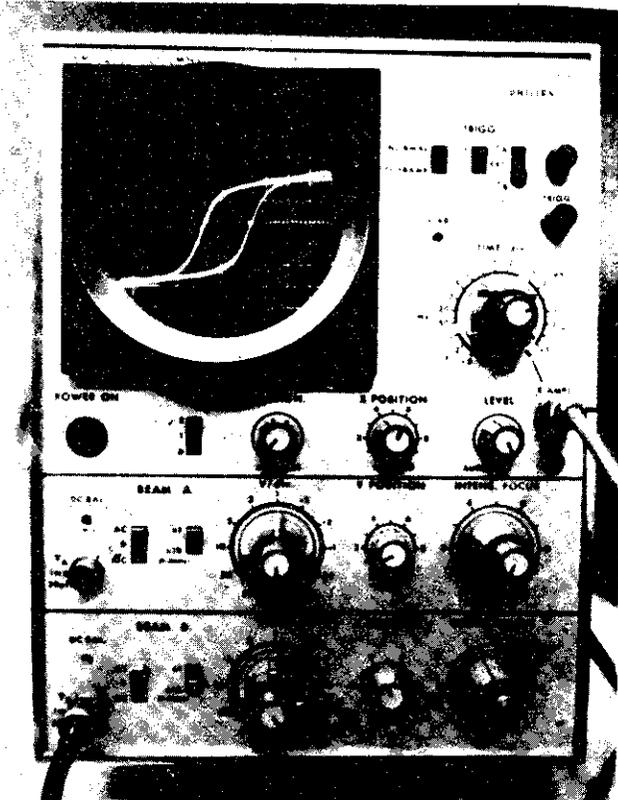


Figura 3. Montaje del equipo



Oscilograma del Lazo de Histeresis de la muestra de Ni-Cu.

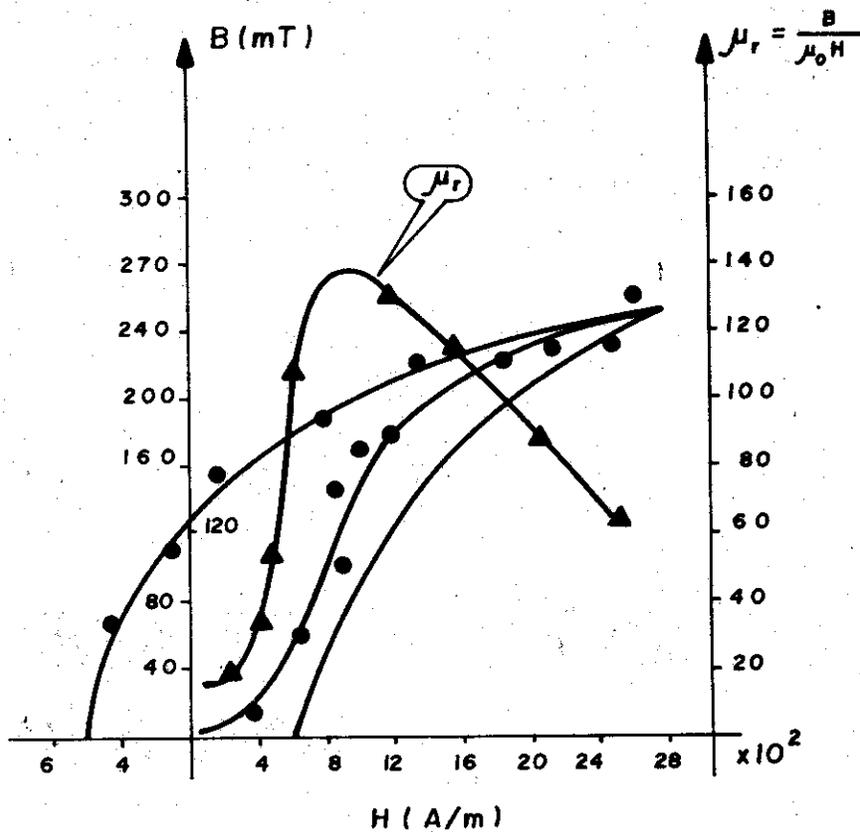


FIG.5 - CURVAS DE B vs H y  $\mu_r$  vs H  
PARA MUESTRA DE Ni-Cu

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) González Arias, A. y F. González-Quevedo Rodríguez  
Medición del Lazo de Histéresis. Método con corriente Alterna a 60Hz". Revista Cubana de Física. (en proceso de publicación)
- (2) González Arias, A. y F. González-Quevedo Rodríguez  
Dpto. Física Aplicada, Universidad de La Habana (comunicación privada).
- (3) Oguey, H.T.  
Alternating Current Magnetic Measurement. Magnetism and Metallurgy (Berkowitz, editor) volumen 1, 190-196, 1969.
- (4) Millman, J. and C.C. Halkias  
Integrated Electronics-Analog and Digital circuits and systems. Cap. 15 pag. 537-568, 1972.
- (5) Stout, D.F.  
Handbook of Operational Amplifier Circuit Design. Cap. 26, pag. 26-1 26-7, 1976.
- (6) Idem (3)  
pag. 209-230.

Recibido: 5 de marzo de 1985