

Fig. 3-15 Imán de Alnico con gran flujo de pérdida

7. La figura 3-14 representa el circuito magnético de un disyuntor de... Para iniciar el movimiento de la armadura A cuando la longitud media g... entrehierro es de 2.5 mm se precisa una fuerza de 45 N. En el extremo... de la armadura donde se halla el gozne se tiene un entrehierro de longitud... constante igual a 0.25 mm.

¿Que intensidad deberá tener la corriente que circula por la bobina de... para poner en movimiento la armadura cuando la longitud g del entre... hierro es de 0.25 mm?

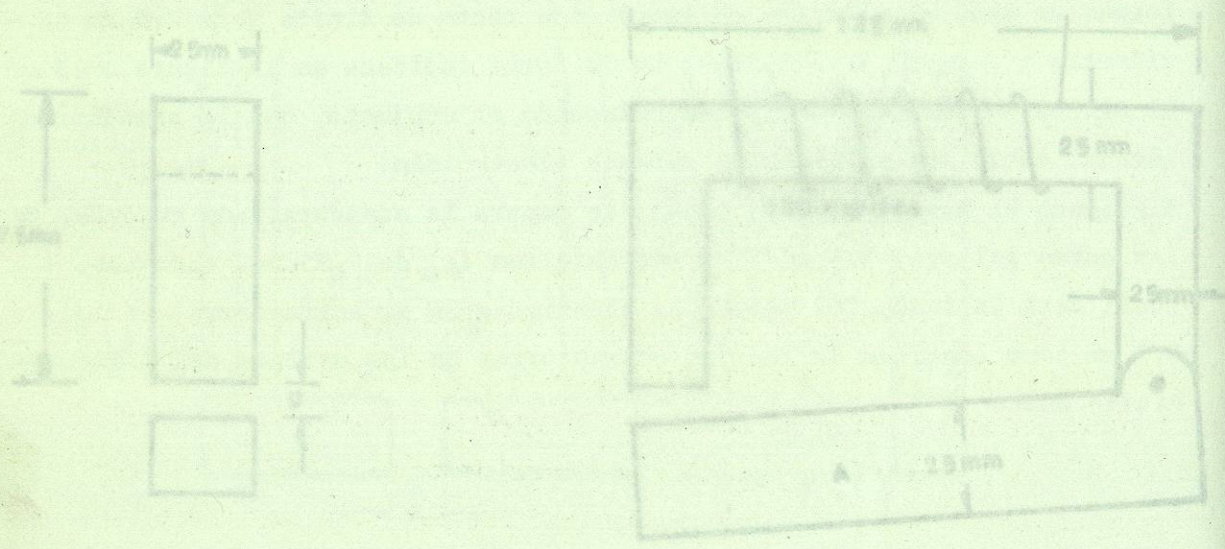


Fig. 3-16 Imán de Relé del problema 7

## CAPITULO 4

pérdidas en núcleos magnéticos que contengan flujos variables con el tiempo.

En los dispositivos magnéticos que trabajan con flujo constante, no se produce calentamiento alguno en los materiales del núcleo. Un electroimán de grúa o un relé accionados por corriente continua, por ejemplo, no tienen casi pérdidas en su circuito magnético a menos que se excite muy frecuentemente. Los inducidos de dinamos y motores de continua, los inducidos de generadores y motores sincrónicos, los motores de inducción (tanto el rotor como el estator), los transformadores de potencia y de audiofrecuencia, las bobinas de choque con núcleo de hierro y los dispositivos accionados por corrientes alternas tienen flujos alternos en sus circuitos magnéticos y estos flujos dan lugar a corrientes que calientan el hierro y acero.

Las pérdidas en el metal se deben a dos causas:

- a) La tendencia del material a conservar su imanación o a oponerse a una variación de imanación, que ocasiona las llamadas pérdidas por histéresis, y
  - b) el calentamiento por efecto Joule que aparece en el material a consecuencia de las corrientes de Foucault que se inducen en él al ser variable el flujo con el tiempo; esto constituye las pérdidas por corrientes de Foucault.
- Las pérdidas por histéresis se deben a la tendencia de la característica B(H) del material de recorrer un lazo cuando se aplica a dicho material un campo magnético cíclico. Es importante distinguir entre histéresis y pérdidas por histéresis. El fenómeno conocido por el nombre de histéresis es el resultado de la propiedad del material de conservar su imanación o de oponerse a una variación del estado magnético. La pérdida por histéresis es la energía convertida en calor a causa del fenómeno de la histéresis y, según suele interpretarse, está asociada solamente a una variación cíclica de fuerza magnetomotriz. Esta interpretación es el resultado de la amplia utilización técnica del material sometido a campos magnéticos cíclicos y de la relativamente gran importancia de los datos de pérdidas representativos de esta forma de utilización. Las pérdidas por corrientes de Foucault están originadas por corrientes en el material magnético, y estas corrientes están producidas por fuerzas electromotrices inducidas por los flujos variables. La suma de las pérdidas por histéresis

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA U.A.N.L.



sis y por corrientes de Foucault recibe el nombre de pérdida total en el núcleo.

#### 4.1 Pérdida por Histéresis

La aparición de pérdidas por histéresis está íntimamente asociada al fenómeno por el cual una región atravesada por un campo magnético, absorbe energía. Si la región no es el vacío, tan sólo una parte de la energía tomada del circuito eléctrico se almacena y recupera totalmente de la región, al suprimir el campo magnético. El resto de la energía se convierte en calor a causa del trabajo realizado sobre el material en el medio cuando responde a la imanación. En el apartado 4 del capítulo 3 Se vio que cuando la inducción magnética en una región crece de un valor  $B_1$  a otro  $B_2$ , la región absorbe energía. La magnitud de la energía absorbida por unidad de volumen viene dada por la ecuación:

$$w = \int_{B_1}^{B_2} H dB \quad (1)$$

Esta integral es proporcional al área limitada por la curva  $B(H)$  de dicha región, el eje  $B$  y las rectas paralelas al eje  $H$  que representan las constantes  $B_1$  y  $B_2$ , respectivamente. Luego, su valor dependerá de los valores de  $B_1$  y  $B_2$  y de la forma de la curva entre  $B_1$  y  $B_2$ . Si se disminuye la inducción magnética desde un valor dado cualquiera a otro valor menor, el signo algebraico de  $w$  es negativo y la energía será cedida por el material.

El cálculo gráfico de la integral de la ecuación (1) para un ciclo completo de imanación permite determinar la pérdida de energía por ciclo debida a la histéresis magnética.

Como ejemplo del proceso de integración gráfica, vamos a considerar la energía almacenada en el toroide de la figura 10, del capítulo 2. El devanado de excitación está recorrido por una corriente alterna, con lo que el campo magnético se invierte cíclicamente entre los límites  $+H_1$  y  $-H_1$ . La relación entre  $B$  y  $H$  es la indicada por el lazo de histéresis de la figura 4-1. Durante la parte  $ab$  del ciclo, la energía magnética absorbida por el núcleo por unidad de volumen será (utilizando el sistema Giorgi racionalizado).

$$w_1 = \int_{-B_r}^{B_{max}} H dB = \text{área abea indicada así } \text{■} \text{ en la figura 1a.} \quad (2)$$

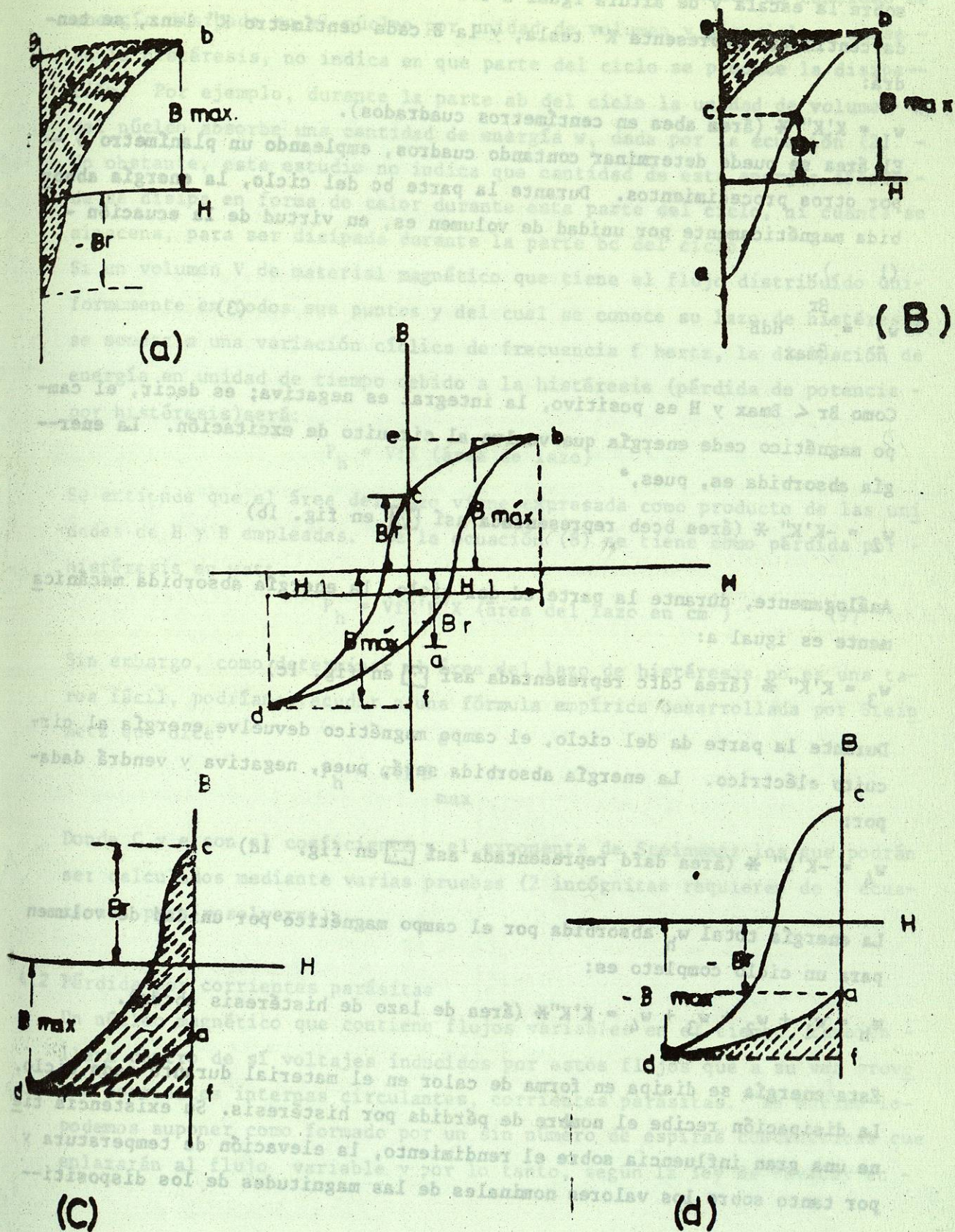


Fig. 4-1. Lazo de Histéresis. Las áreas sombreadas de a) y c) representan la energía absorbida; las de b) y d) la energía devuelta por el acero.



Como unidad de superficie se toma la de un rectángulo de base igual a 1 Tesla sobre la escala y de altura igual a 1 cm. Si la escala de H es tal que cada centímetro representa K' tesla, y la B cada centímetro K'' lenz, se tendrá:

$$w_1 = K'K'' \times (\text{área abea en centímetros cuadrados}).$$

El área se puede determinar contando cuadros, empleando un planímetro o por otros procedimientos. Durante la parte bc del ciclo, la energía absorbida magnéticamente por unidad de volumen es, en virtud de la ecuación --

$$(1) \quad w_2 = \frac{\int_{HdB} Br}{B_{max}} \quad (3)$$

Como  $Br < B_{max}$  y H es positivo, la integral es negativa; es decir, el campo magnético cede energía que vuelve al circuito de excitación. La energía absorbida es, pues, °

$$w_2 = -K'K'' \times (\text{área bceb representada así } \square \text{ en fig. 1b)}$$

Análogamente, durante la parte cd del ciclo, la energía absorbida mecánicamente es igual a:

$$w_3 = K'K'' \times (\text{área cdfc representada así } \square \text{ en fig. 1c)}$$

Durante la parte da del ciclo, el campo magnético devuelve energía al circuito eléctrico. La energía absorbida será, pues, negativa y vendrá dada por:

$$w_4 = -K'K'' \times (\text{área dadf representada así } \square \text{ en fig. 1d)}$$

La energía total  $w_h$  absorbida por el campo magnético por unidad de volumen para un ciclo completo es:

$$w_h = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = K'K'' \times (\text{área de lazo de histéresis abcd}).$$

Esta energía se disipa en forma de calor en el material durante cada ciclo. La disipación recibe el nombre de pérdida por histéresis. Su existencia tiene una gran influencia sobre el rendimiento, la elevación de temperatura y por tanto sobre los valores nominales de las magnitudes de los dispositi--

vos electromagnéticos.

Aún cuando el área de un lazo de histéresis cerrado indica la cantidad de energía disipada en el núcleo por unidad de volumen y por ciclo a causa de la histéresis, no indica en que parte del ciclo se produce la disipación. Por ejemplo, durante la parte ab del ciclo la unidad de volumen del núcleo absorbe una cantidad de energía  $w_1$  dada por la ecuación (2). No obstante, este estudio no indica que cantidad de esta energía absorbida se disipa en forma de calor durante esta parte del ciclo, ni cuanta se almacena, para ser disipada durante la parte bc del ciclo.

Si un volumen V de material magnético que tiene el flujo distribuido uniformemente en todos sus puntos y del cual se conoce su lazo de histéresis se somete a una variación cíclica de frecuencia f hertz, la disipación de energía en unidad de tiempo debido a la histéresis (pérdida de potencia por histéresis) será:

$$P_h = VfX \quad (\text{área de lazo})$$

Se entiende que el área del lazo viene expresada como producto de las unidades de H y B empleadas. De la ecuación (8) se tiene como pérdida por histéresis en watt.

$$P_h = VfK'K''X \quad (\text{área del lazo en cm}^2) \quad (9)$$

Sin embargo, como determinar el área del lazo de histéresis no es una tarea fácil, podríamos acudir a una fórmula empírica desarrollada por Steinmetz que dice:

$$P_h = Cvf^e B_{max}$$

Donde C y e son el coeficiente y el exponente de Steinmetz los que podrán ser calculados mediante varias pruebas (2 incógnitas requieren de 2 ecuaciones para resolverse).

#### 4.2 Pérdida por corrientes parásitas

Un núcleo magnético que contiene flujos variables en el tiempo, también lleva dentro de sí voltajes inducidos por estos flujos que a su vez provocan corrientes internas circulantes, corrientes parásitas. Un núcleo lo podemos suponer como formado por un sin número de espiras concéntricas que enlazarán al flujo variable y por lo tanto, según la ley de Faraday en --