

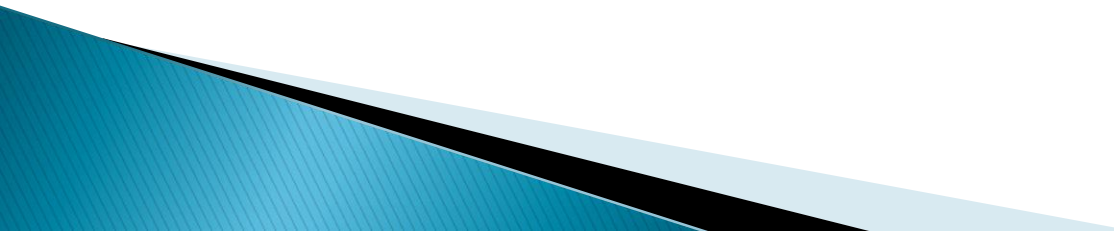
Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Materiales Magnéticos

▶ Principales Características

- Inducción Magnética B
 - Intensidad de Campo Magnético H
 - Permeabilidad μ
 - Susceptibilidad Magnética X_m
 - Histéresis
- 

Materiales Magnéticos

► Inducción Magnética B

- Cantidad de Líneas de Fuerza que atraviesan una superficie de 1cm^2 .
- La superficie es perpendicular al Flujo Magnético ϕ
- $B = \mu * H$ (en el medio magnético)
- Unidad del SI \rightarrow Tesla
- $B_0 = H$ (en el vacío)



Materiales Magnéticos

- Intensidad de Campo Magnético H

- Es el producto que genera una Corriente Eléctrica que atraviesa un devanado.

$$H = \frac{N * I}{l} \left[\frac{A}{m} \right]$$

I = Corriente

l = Longitud

- N → Numero de espiras
- I → Corriente Eléctrica
- l → Longitud del circuito magnético
- Oersted – Unidad de Intensidad de Campo Magnético

$$1 \frac{A}{m} = 0.01257 \text{ Oersted}$$

$$79,57 \frac{A}{m} = 1 \text{ Oersted}$$

Materiales Magnéticos

► Permeabilidad μ

- $\mu = \mu_0 * \mu_r$
- $\mu_0 \rightarrow$ permeabilidad del vacío
- $\mu_r \rightarrow$ permeabilidad relativa con respecto al vacío
- $\mu_r = 1 \rightarrow$ vacío

Materiales Magnéticos

- ▶ **Susceptibilidad Magnética del Medio X_m**
 - Debido a los dipolos magnéticos de los átomos, aparecen momentos magnéticos inducidos.
 - El momento magnético total se denomina.
 - Magnetización M .
 - En un sólido se puede escribir
 - $B = \mu_0 * H + \mu_0 * M$
 - Con M proporcional a H
 - $M = X_m * H$
 - Entonces
 - $\mu = \mu_0 * (1 + X_m)$

Materiales Magnéticos

- Según el Valor X_m los materiales se clasifican como:
 - **Diamagnéticos**
 - X_m es negativa y pequeña comparada con 1
 - $\mu < \mu_0$
 - **A magnéticos**
 - $X_m = 0$
 - $\mu = \mu_0 = 1$
 - **Paramagnéticos**
 - X_m es positiva y apenas mayor que 1
 - $\mu > \mu_0$
 - **Ferromagnéticos**
 - X_m es positiva y mucho mayor que 1
 - $\mu \gg \mu_0$

Materiales Magnéticos

Diamagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Bismuto	0.99983
Plata	0.99998
Plomo	0.999983
Cobre	0.999991
Agua	0.999991

Paramagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Aire	1.0000004
Aluminio	1.00002

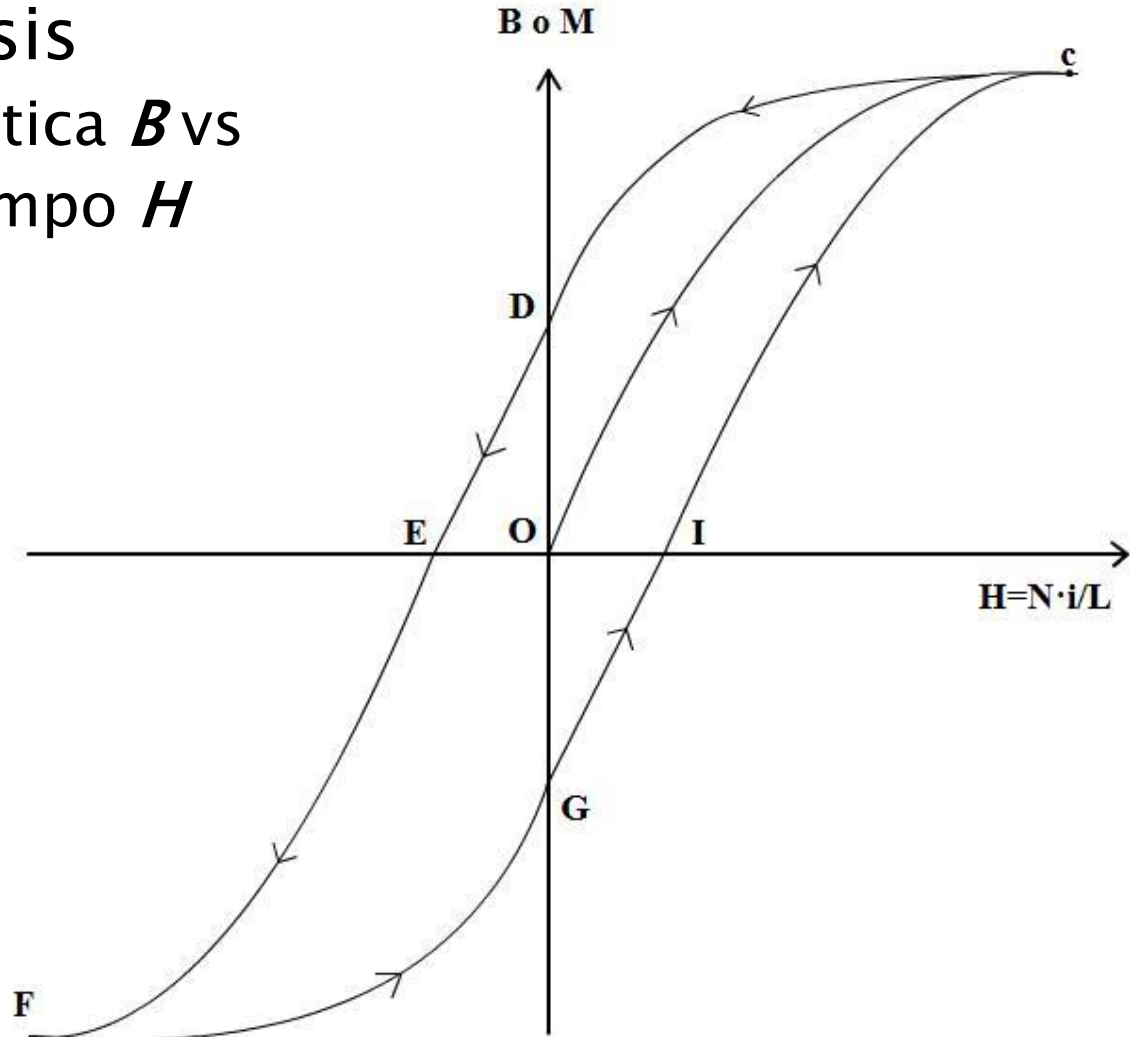
A magnético	Permeabilidad Relativa μ_r
Vacío	1.0000

Materiales Magnéticos

Ferromagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Polvo de Permalloy	130
Cobalto	250
Níquel	600
Ferroxcube 3	1500
Acero Dulce	2000
Hierro con Impurezas	5000
Hierro silicio	7000
Permalloy 78	100.000
Hierro purificado	200.000
Superpermalloy	1.000.000

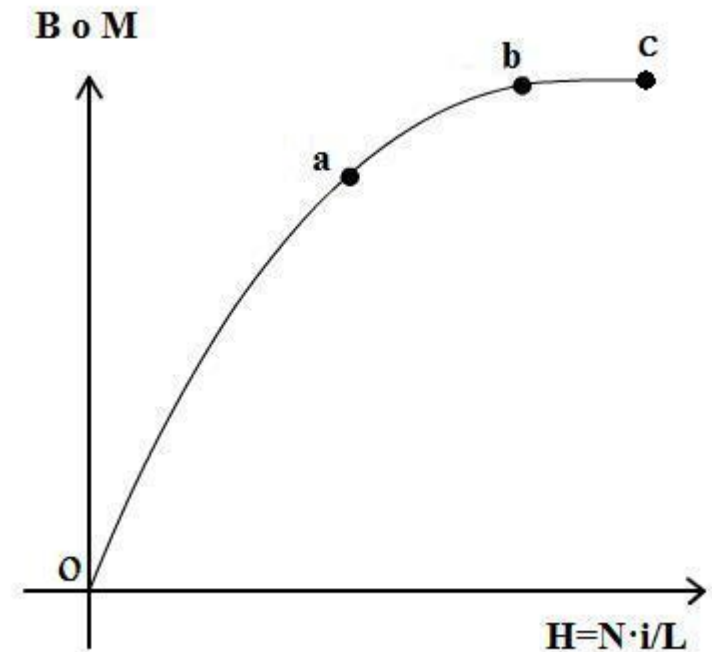
Principales Características

- ▶ Lazo de Histéresis
 - Inducción Magnética B vs
 - Intensidad de campo H



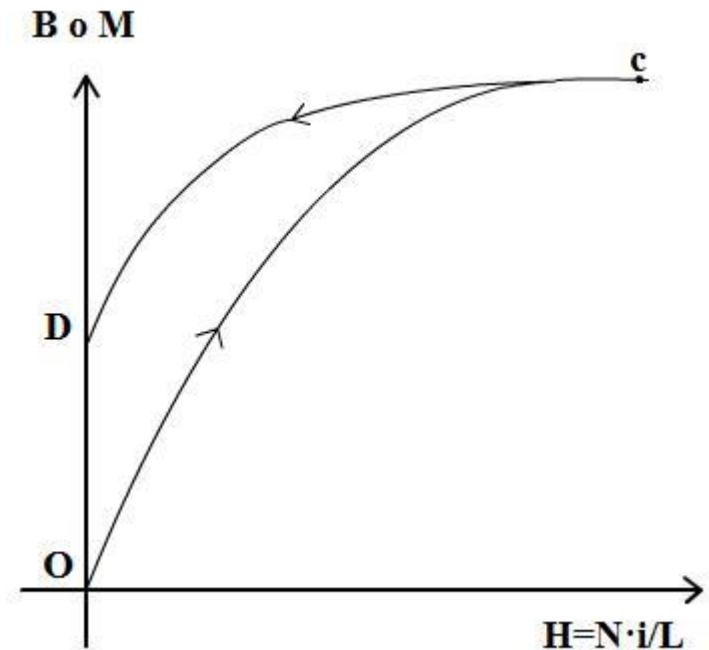
Puntos Principales

- ▶ Suponemos núcleo ferromagnético al que aplicamos un $H \rightarrow$ Surge B .
 - Tramo **0a** \rightarrow Tramo Recto debido a la alta permeabilidad (constante).
 - Tramo **ab** \rightarrow Codo de Saturación
 - Tramo **bc** \rightarrow Material Saturado
 - Como condición de diseño y para aprovechar al máximo el material (mínima sección) se busca trabajar cerca del punto **a**



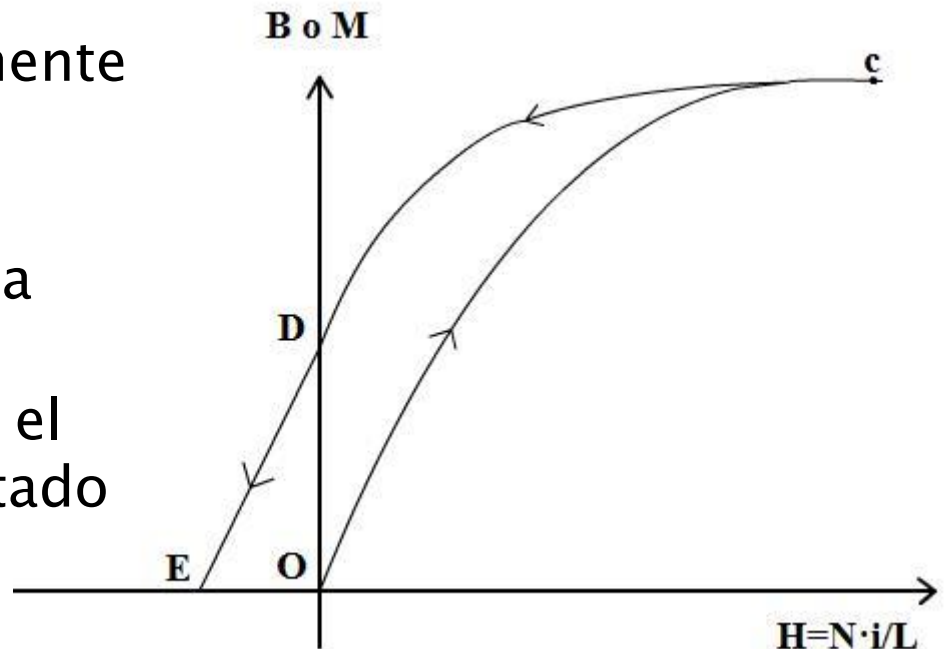
Puntos Principales

- ▶ Al retirar el campo aplicado, el material conserva lo que se denomina Magnetismo Remanente
 - → Tramo OD



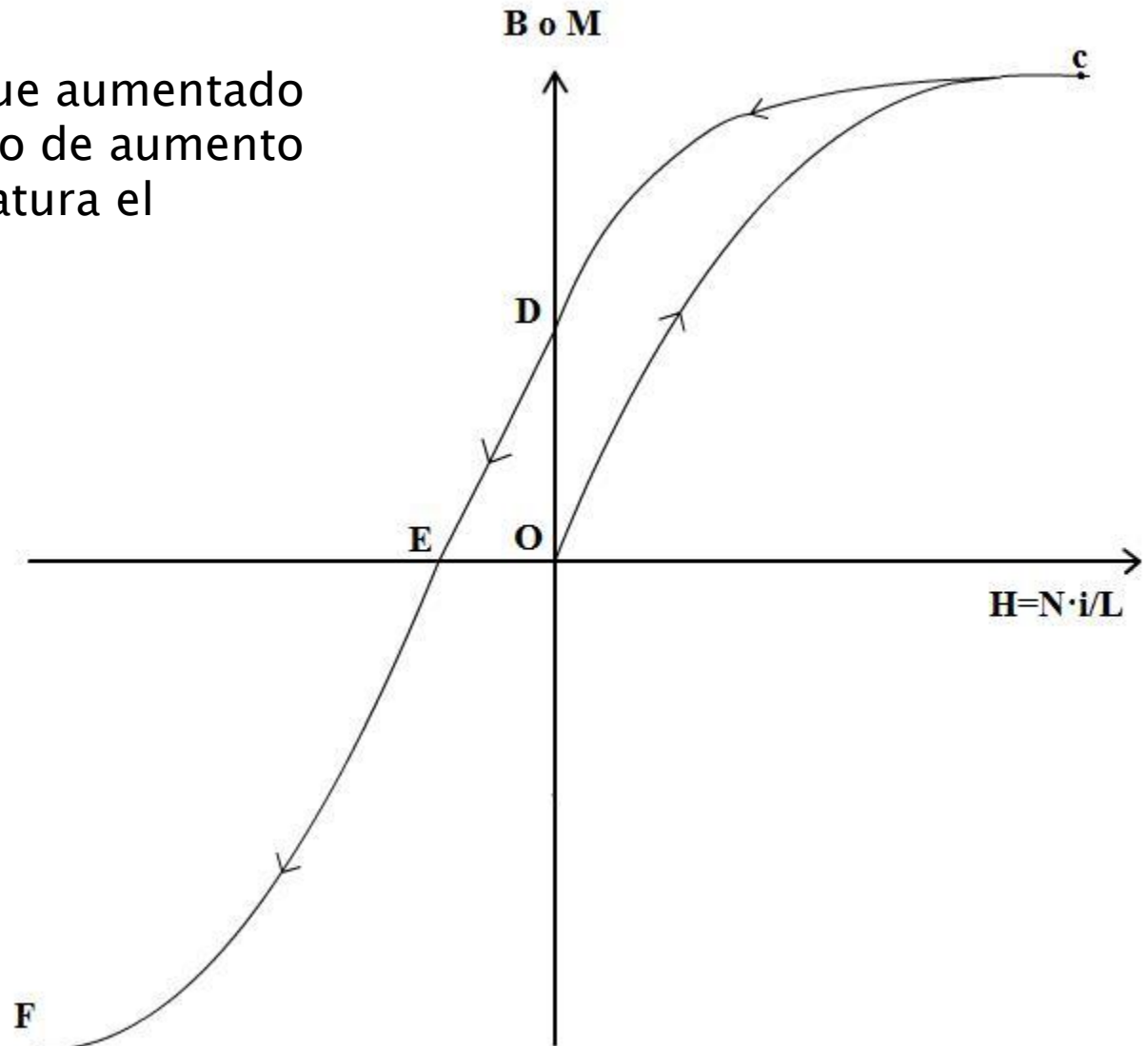
Puntos Principales

- ▶ Todos los materiales ferromagnéticos presentan un cierto grado de magnetismo remanente,
- ▶ Si invierto H se llega al punto E
 - → El magnetismo Remanente se anula.
 - f.m.m = tramo EO .
 - → Este valor se denomina fuerza coercitiva.
 - Si se anula la excitación, el material queda desimantado



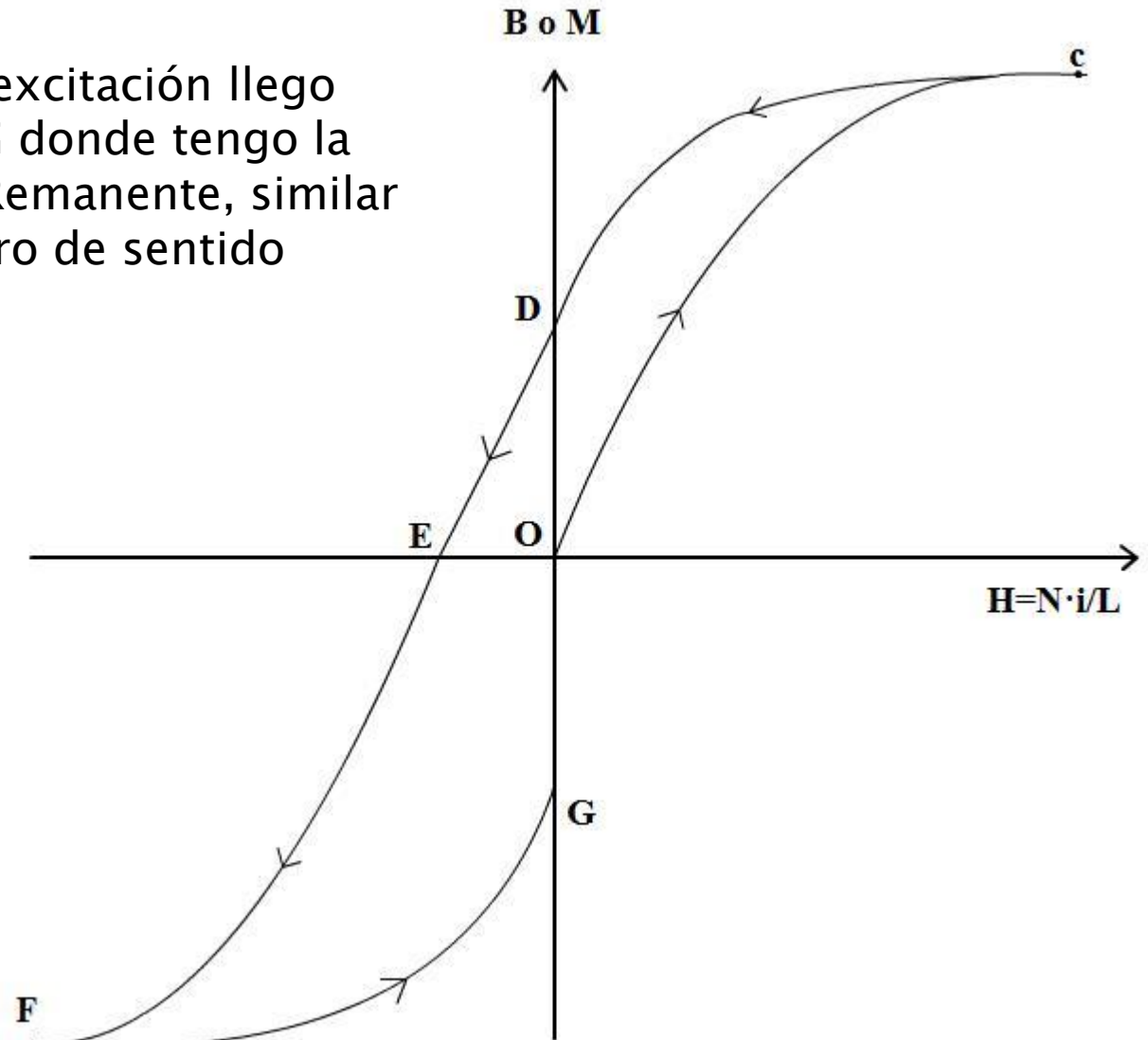
Materiales Magnéticos

- ▶ Si la H invertida sigue aumentando se verifica el proceso de aumento de B hasta que se satura el material.



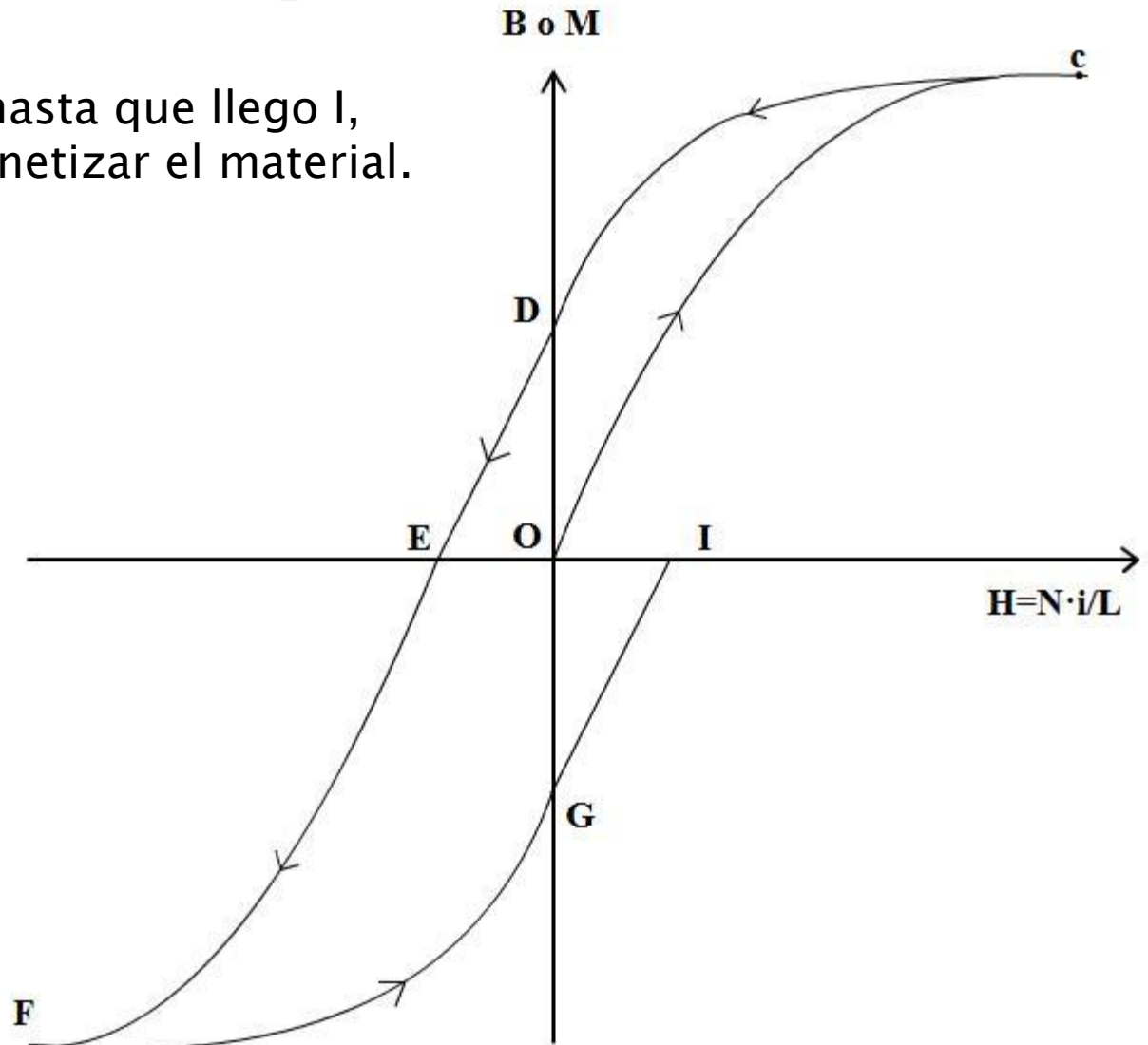
Materiales Magnéticos

- ▶ Si disminuyo la excitación llego hasta el punto G donde tengo la Magnetización Remanente, similar al tramo OD, pero de sentido opuesto.



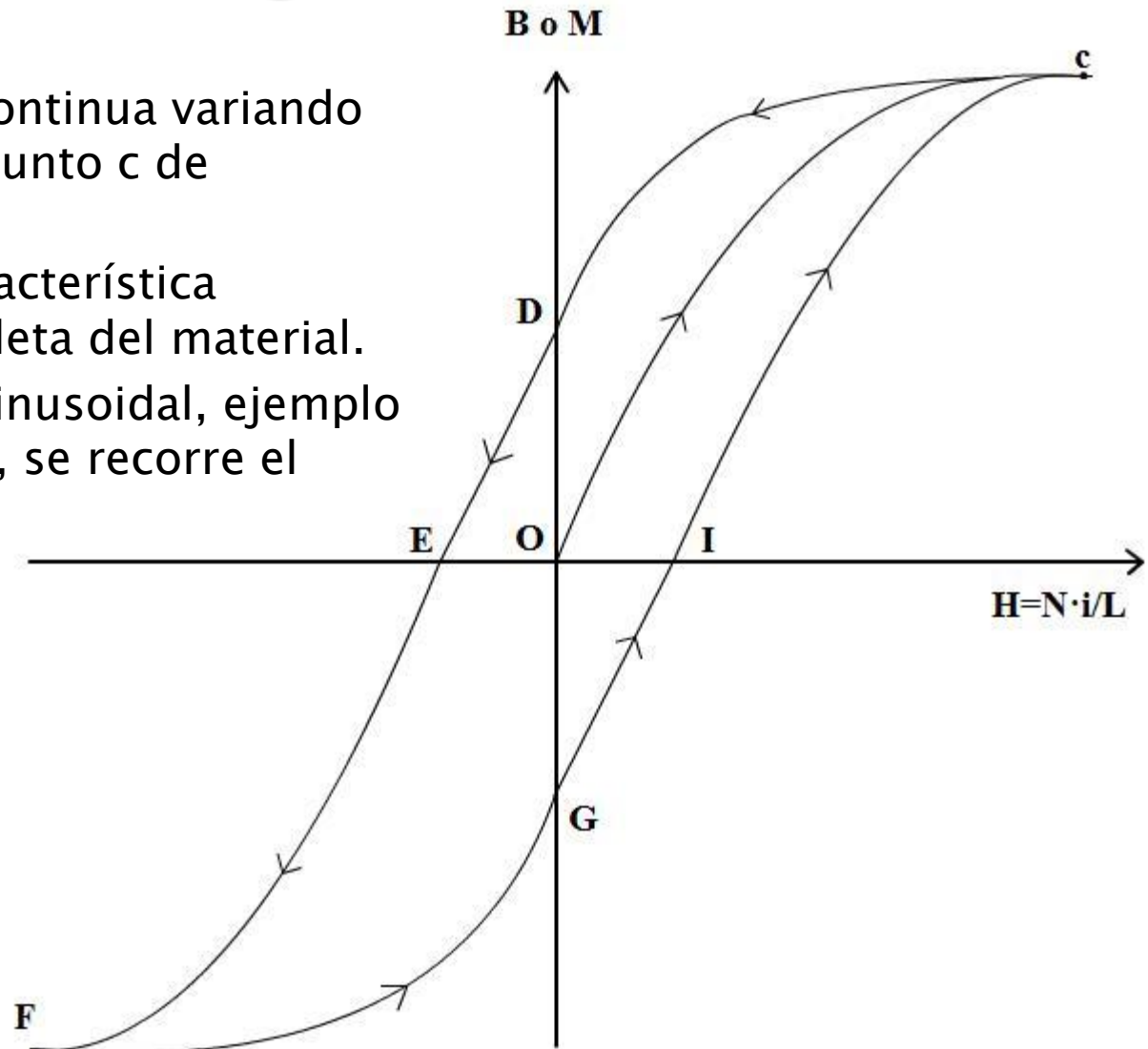
Materiales Magnéticos

- ▶ Si disminuyo H hasta que llego I , consigo desmagnetizar el material.



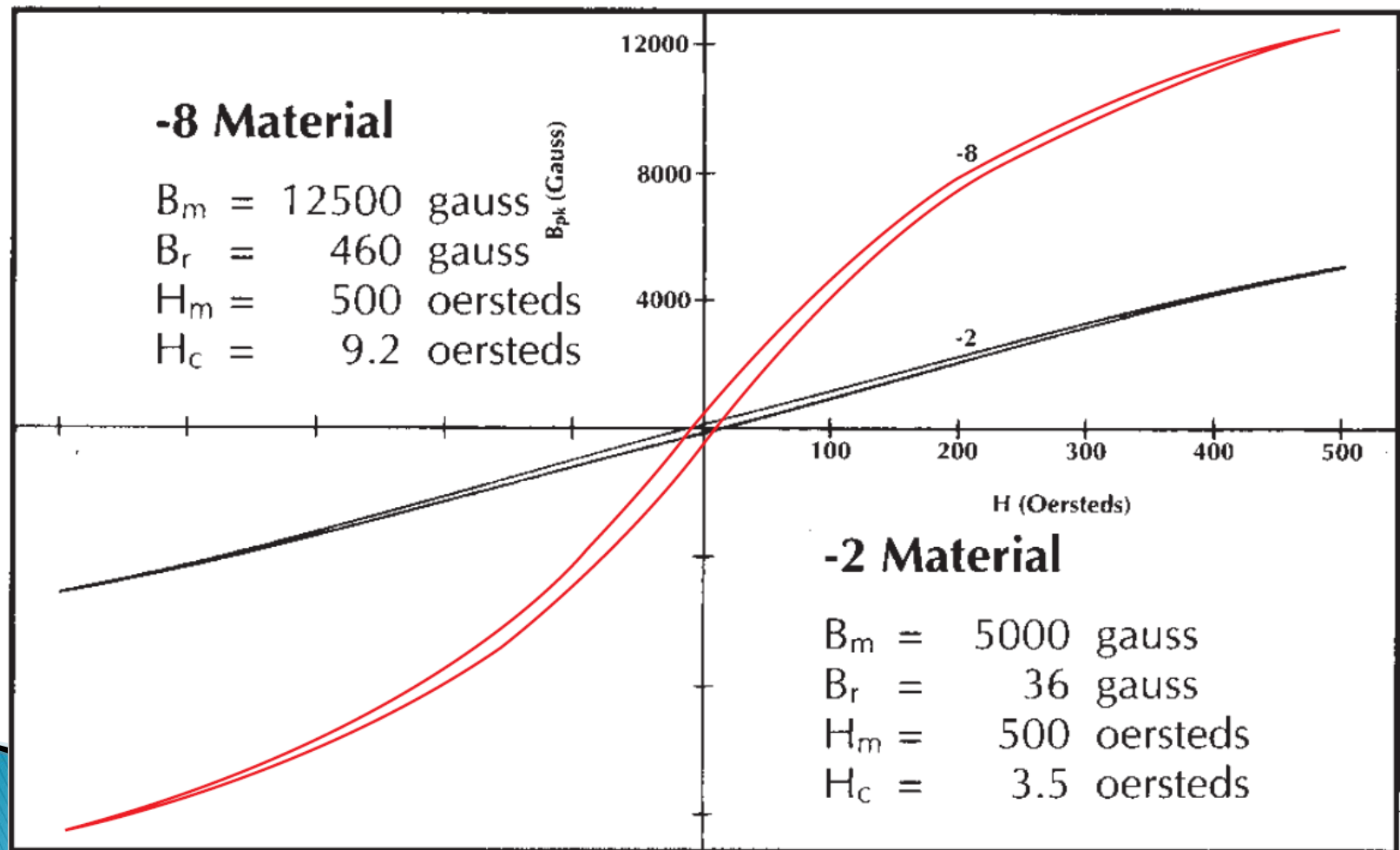
Materiales Magnéticos

- ▶ Si el ciclo de H continua variando puedo llegar al punto c de saturación.
- ▶ Se obtiene la característica magnética completa del material.
- ▶ Con excitación sinusoidal, ejemplo transformadores, se recorre el ciclo completo.



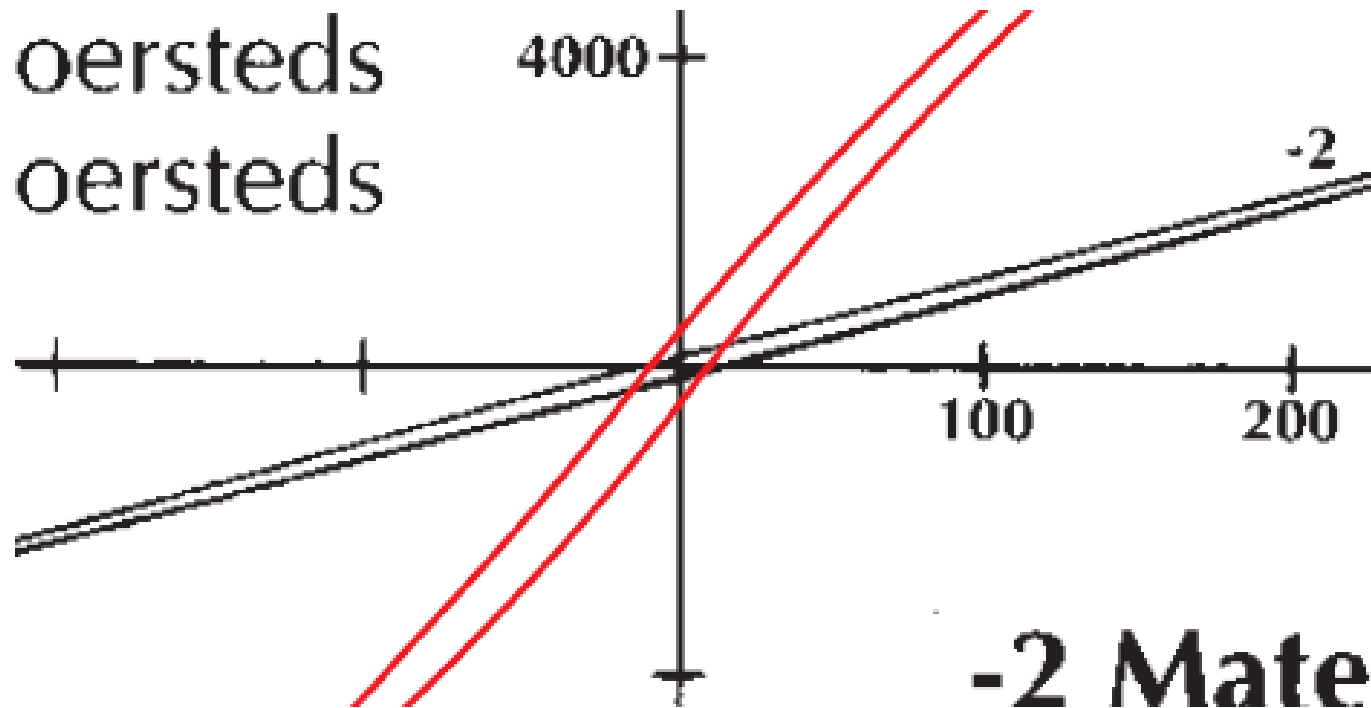
Curva Histéresis – Ejemplo

- ▶ $B_m \rightarrow$ Saturación
- ▶ $B_r \rightarrow$ Magnetismo Remanente
- ▶ $H_m \rightarrow$ Inducción para Saturación
- ▶ $H_c \rightarrow$ Fuerza Coercitiva



Curva Histéresis – Ejemplo

- ▶ $B_m \rightarrow$ Saturación
- ▶ $B_r \rightarrow$ Magnetismo Remanente
- ▶ $H_m \rightarrow$ Inducción para Saturación
- ▶ $H_c \rightarrow$ Fuerza Coercitiva



Materiales de Ejemplo

Material	Características	μ_0	Pérdidas mW/cm ³ 60Hz	Pérdidas mW/cm ³ 50KHz	Aplicación
2	Baja permeabilidad Bajo flujo en AC	10	19	28	Choque Inductor frec \geq 50KHz
8	Baja Pérdida Buena Linealidad con Corriente de Bias Alta Alta frecuencia Alto Costo	35	45	48	DC Choque frec \geq 50KHz

Fuente: micrometals – Iron Powder Cores

Datos Varios



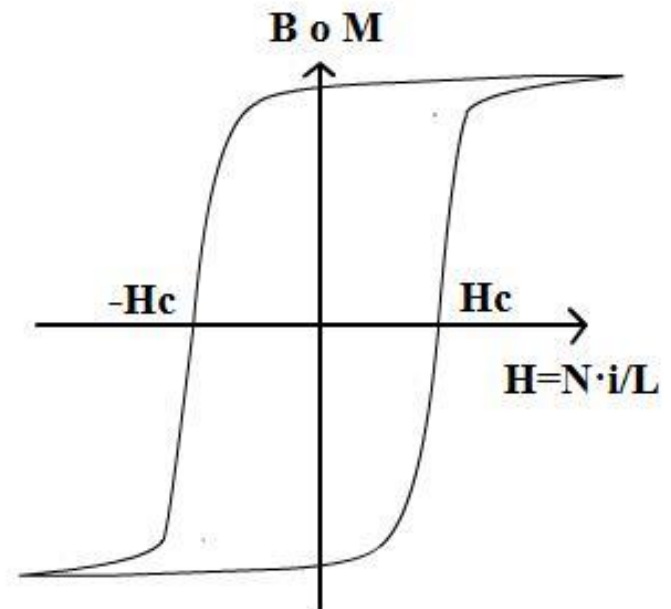
- ▶ Codificación:
- ▶ T30/6 :
 - T: Toroide
 - Diámetro exterior: 30 décimas de pulgadas
 - 6: mezcla de materiales.
 - Color: indica rango de frecuencia

Mezcla	1er. Color	2do. Color	Frecuencia
0	Marron	Gris	50 - 300 Mhz
1	Azul	Gris	0,5 - 50 Mhz
2	Rojo	Gris	1 - 30 Mhz
3	Gris	Gris	0,03 - 1 Mhz
6	Amarillo	Gris	2 - 50 Mhz
7	Blanco	Gris	1 - 20 Mhz
10	Negro	Gris	10 -100 Mhz
12	Verde	Blanco	20 -200 Mhz
15	Rojo	Blanco	0,1- 3 Mhz
17	Azul	Amarillo	20 - 200 Mhz
22	Verde	Naranja	20 - 200 Mhz



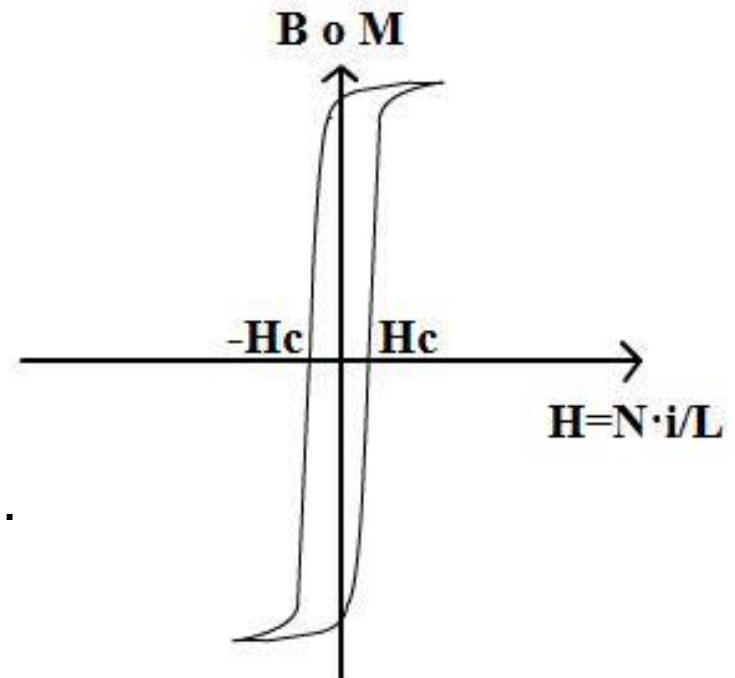
Materiales Magnéticos DUROS

- ▶ Se caracterizan por una alta fuerza coercitiva H_c y una alta inducción magnética remanente B_r .
- ▶ Estos materiales cuando se imantan, son difíciles de desimantar.
- ▶ Se utilizan para fabricar imanes artificiales.



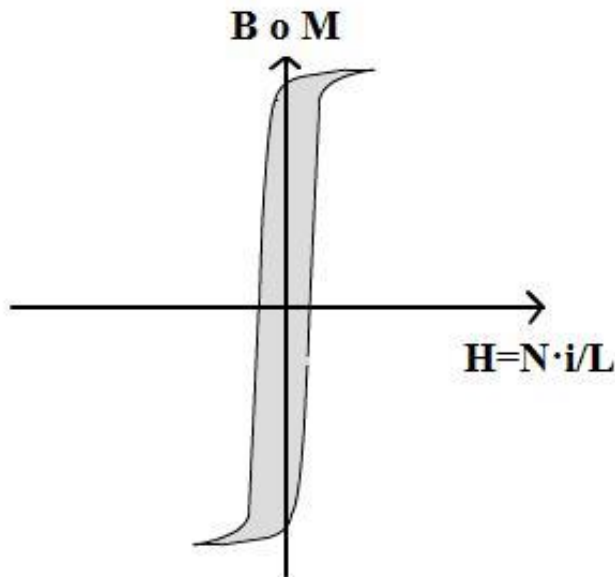
Materiales Magnéticos BLANDOS


- ▶ Se imantan y desimantan fácilmente
- ▶ Presentan curvas de histéresis de apariencia estrecha
- ▶ Bajos valores de fuerza coercitiva (H_c) y alta saturación
- ▶ Tienen permeabilidades magnéticas altas
- ▶ Se usan en núcleos para transformadores, motores, generadores.

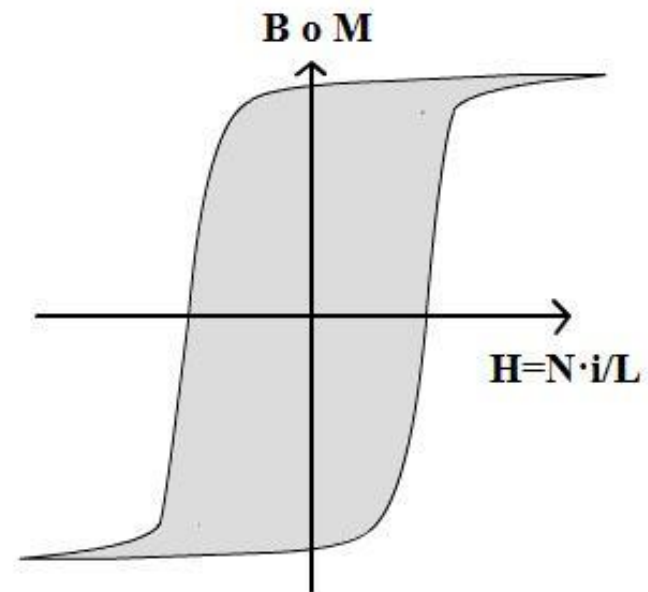



Perdidas por HISTERESIS

- ▶ El proceso de magnetización y desmagnetización descrito anteriormente provoca calentamientos → disipación de energía.
- ▶ Magnitud de Pérdidas → área encerrada por el contorno del ciclo de histéresis



 Area Pérdidas



 Area Pérdidas

Perdidas por HISTERESIS

- ▶ Para el cálculo de la pérdida se utiliza la fórmula:

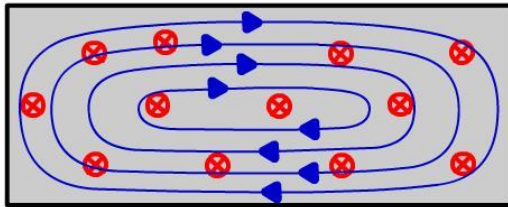
$$Ph = Kh \cdot f \cdot B_{max}^n$$

- ▶ $Ph \rightarrow$ Pérdidas [W/m^2]
- ▶ $f \rightarrow$ frecuencia de la señal de excitación
- ▶ $Kh \rightarrow$ Constante que depende del material
 - 0.001 \rightarrow Acero al silicio
 - 0.03 \rightarrow Acero fundido duro
- ▶ $B_{max} \rightarrow$ Inducción máxima
- ▶ $n = 1.6$
 - $B < 1T$
- ▶ $n > 2$
 - $B > 1T$

Perdidas por FOUCAULT


- ▶ Las pérdidas de Foucault se deben a las corrientes inducidas sobre el material ferromagnético como consecuencia de estar sometido a un campo magnético variable con el tiempo.

$$P_f = K_f \cdot f^2 \cdot B_{max}^2$$



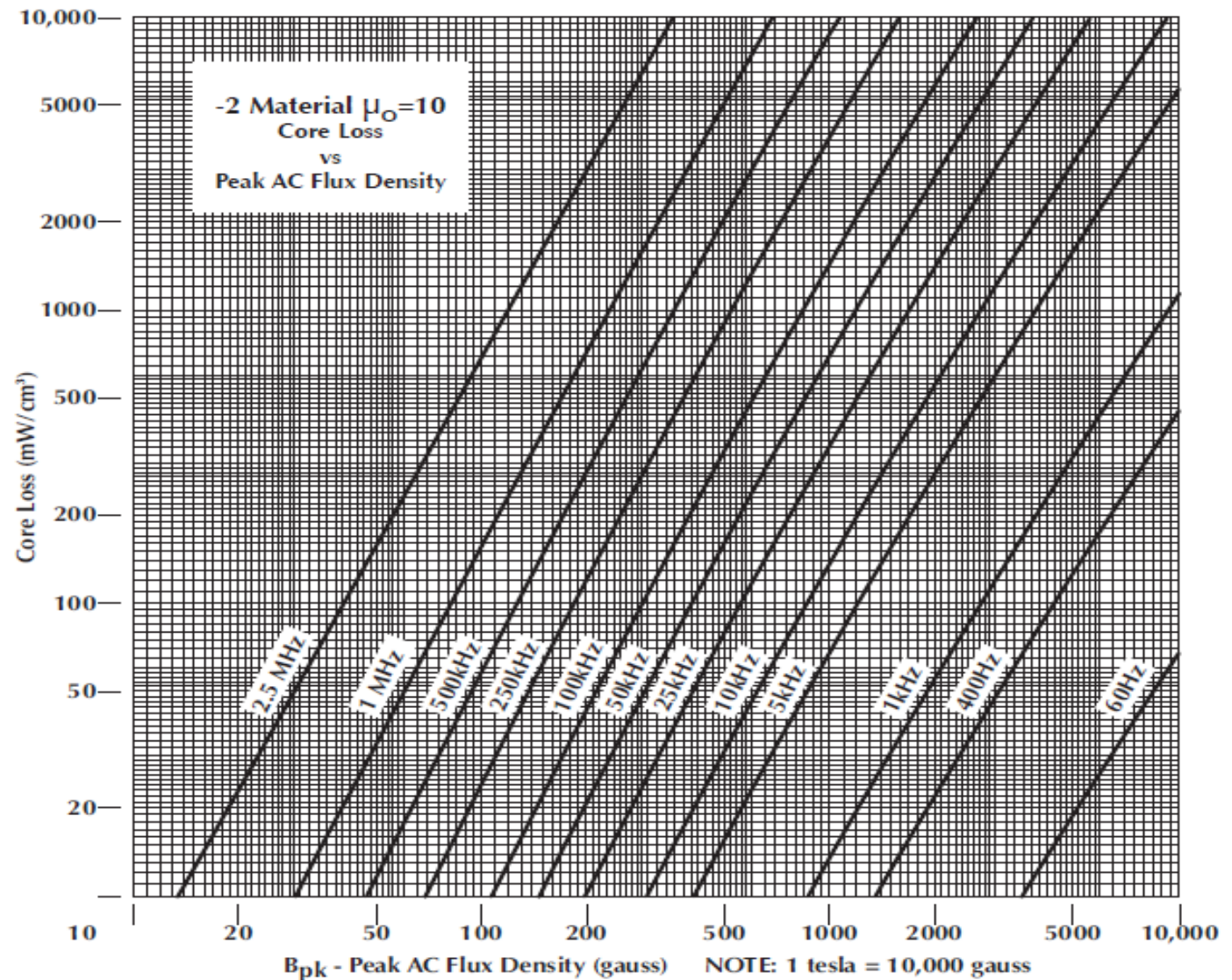
 Núcleo ferromagnético.

 Corrientes inducidas.

 Campo magnético.

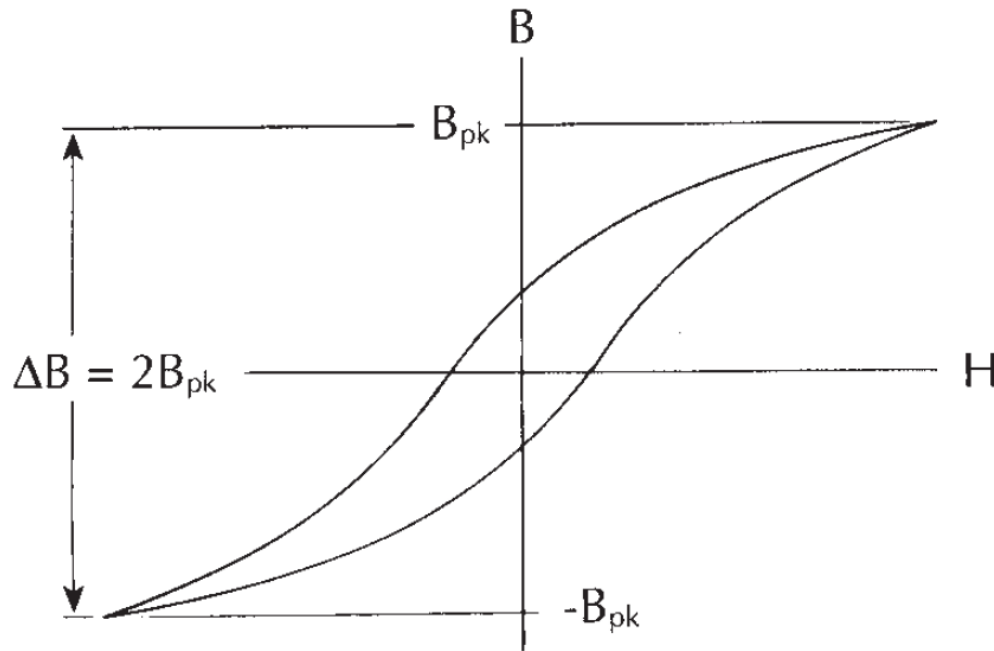
- K_f es una constante proporcionada por el fabricante
- f es la frecuencia a la que trabajará el circuito magnético
- B_{max} la inducción máxima que se puede presentar.

Pérdidas Totales



Perdidas Totales

- Determino B_{pk} , según el modo de trabajo.

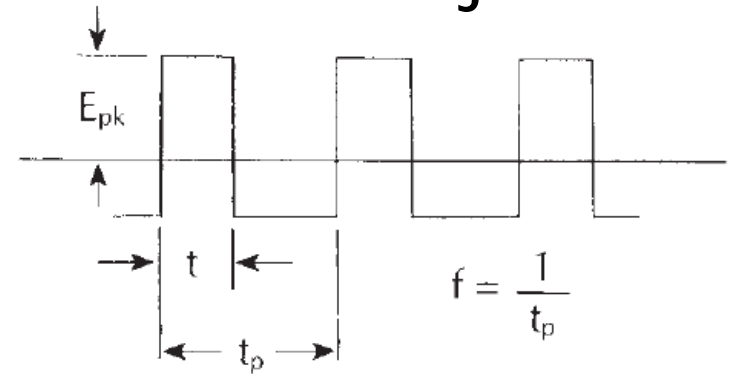
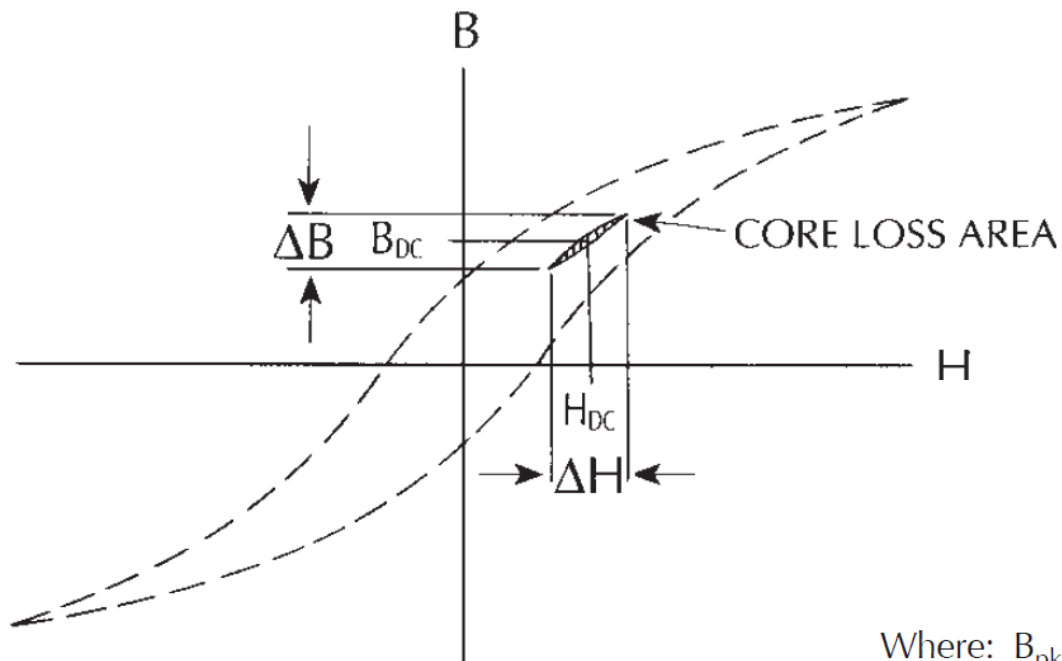


$$B_{pk} = \frac{E_{rms} \cdot 10^8}{4.44 \cdot A \cdot N \cdot f}$$

B_{pk}	Peak AC flux density (gauss)
E_{rms}	RMS AC voltage (volts)
A	Cross-sectional area (cm ²)
N	Number of turns
f	frequency (hertz)

Perdidas Totales

- Determino B_{pk}, según el modo de trabajo.



$$B_{pk} = \frac{E_{pk} \cdot t \cdot 10^8}{2 A N} = \frac{L \cdot \Delta I \cdot 10^8}{2 A N}$$

Where: B_{pk}

E_{pk}

t

L

ΔI

A

N

Peak AC flux density (gauss)

Peak voltage across coil during "t" (volts)

Time of applied voltage (seconds)


Inductance (Henries)

Peak to peak ripple current (amps)

Cross-sectional area (cm²)

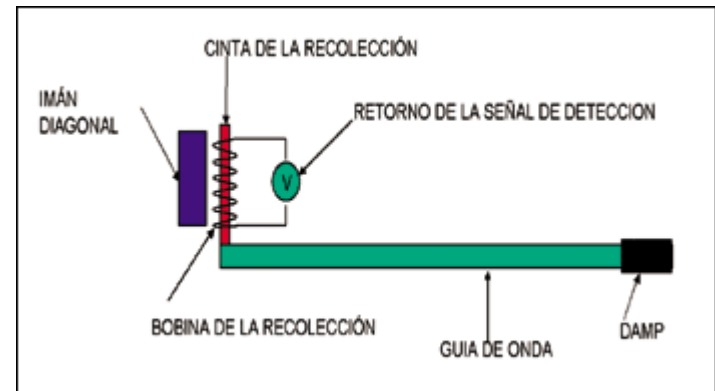
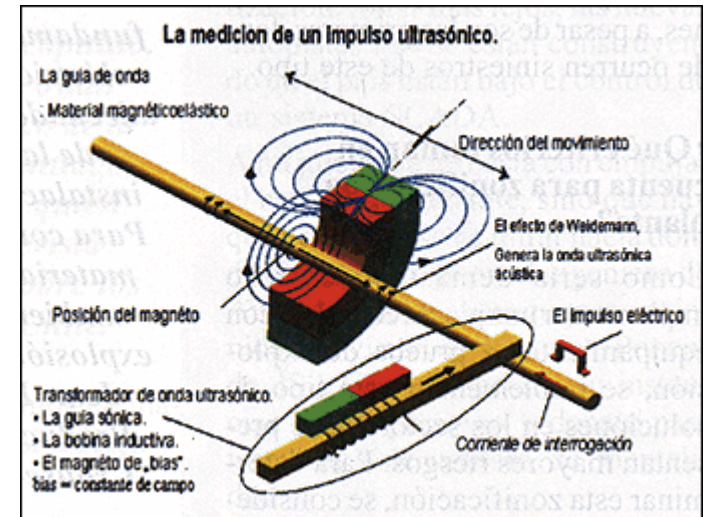
Number of turns

Magnetoestricción

- ▶ Es la propiedad de los materiales magnéticos, o ferromagnéticos que hace que estos cambien de forma al encontrarse en presencia de un campo magnético.
 - ▶ Un ejemplo son: las vibraciones en forma de sonido son causadas por la frecuencia de las fluctuaciones del campo, en motores y transformadores.
 - ▶ Para generar electricidad se utiliza la magnetoestricción inversa.
 - ▶ Se emplea el fenómeno en sensores.
- 

Magnetoestricción

- ▶ Se envía un pulso eléctrico en una guía de ondas.
- ▶ El imán que indica el nivel genera torsión sobre la guía (efecto Weidemann).
- ▶ La torsión provoca un pulso sónico que viaja en sentido opuesto.
- ▶ Con electrónica se mide el tiempo entre el pulso emitido y el pulso sónico.



Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos continuos (DC)
 - Hierro Puro.
 - Gran permeabilidad y elevada inducción de saturación.
 - Hierro Electrolítico
 - Hierro sueco
 - $\mu_r \rightarrow 5500$
 - Hierro Armco
 - $\mu_r \rightarrow 7000$
 - Aplicaciones
 - Altavoces
 - Relés
 - Expansiones polares de aparatos de medida

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro
 - Aumentar su resistividad mediante aleaciones.
 - Se usa laminado.
 - Elevadas pérdidas por corrientes parásitas.
 - Aleaciones de hierro-silicio
 - Se adiciona hierro silicio.
 - Laminación en frío orienta los cristales.
 - Grano orientado → Aumenta la permeabilidad en la dirección del laminado.
 - El valor indicado de pérdidas en W/Kg es para una Inducción de 1Wb/m^2 y a 50Hz.

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Elevada permeabilidad.
 - Bajas pérdidas por inducción para inducciones de pequeño valor.
 - Grano orientado.
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 75% a 80% de níquel.
 - Permalloy C y Mumetal – Superpermalloy
 - Permeabilidad elevada
 - Saturación con baja f.m.m.
 - Bajas pérdidas
 - Resistividad elevada
 - Alto costo

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 50% de níquel.
 - Permalloy B, Hipernik , Permenomrm 5000Z
 - Permeabilidad Elevada
 - Saturación con valores medios de f.m.m
 - Reducidas pérdidas
 - Resistividad Media
 - Costo Elevado
 - 30% de níquel.
 - Permalloy D y Rhometal

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 30% de níquel.
 - Permalloy D y Rhometal
 - Permeabilidad Elevada
 - Saturación con valores bajos de f.m.m
 - Reducidas pérdidas
 - Resistividad Media
 - Costo Bajo

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Usos Aleaciones de Hierro – Níquel
 - 75 – 80% de níquel
 - Transformadores de banda ancha
 - Piezas magnéticas para instrumentos de hierro móvil
 - 50%
 - Relés de alterna y continua para corrientes débiles.
 - 30%
 - Transformadores de alimentación
 - Motores
 - Generadores

Materiales Usuales

- ▶ Para Núcleos magnéticos de polvo
 - Para uso en audiofrecuencia o RF.
 - Hierro en polvo
 - Núcleos
 - Elevada $\mu \rightarrow 150$ a 200
 - Alto valor de Q
- ▶ Ferritas
 - Sustancias no metálicas
 - Baja Conductividad \rightarrow Bajas pérdidas por Foucault
 - Composición $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3\text{MO}$
 - MO \rightarrow Cu, Mg, Ni, Fe o Zn
 - Para cortar \rightarrow Marcar como si fuese vidrio y luego aplicar fuerza.

Materiales Usuales

- ▶ Para imanes permanentes
 - Deben tener una elevada tensión interna
 - Endurecimiento por temple.
 - Agregando aluminio y níquel
 - Alni – Alnico $\rightarrow B^*H = 10.000$ a 17.000
 - Alcomax – Ticonal $\rightarrow B^*H = 50.000$ (sometido a campo magnético intenso al enfriar).
- ▶ Ferritas para imanes permanentes
 - Oxido de hierro y cobalto.
 - Vectolite
 - Ferroxdure
 - Magnadur