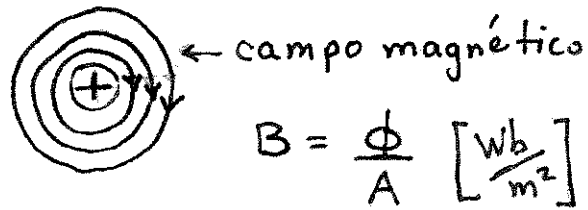


Fundamentos de Transformadores y Máquinas Eléctricas

Dr. Lionel R. Orama Exclusa, PE

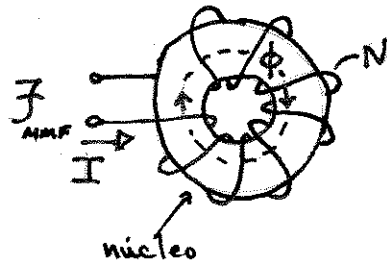
Clase 7

Circuitos Magnéticos



$$B = \frac{\Phi}{A} \left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$$

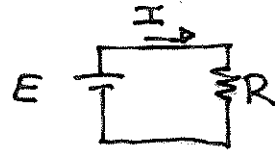
Φ - flujo magnético [Wb]
A - Área de Sección
transversal [m²]



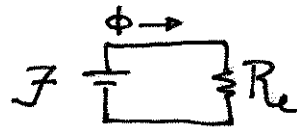
$$\mathcal{F} = N I \quad [\text{A} \cdot \text{t}]$$

$\mathcal{F}$ - fuerza magnetomotriz (MMF)
N - número de vueltas
I - corriente

- Si comparamos con un circuito eléctrico



$$E = RI$$



$$F = R_l \Phi$$

Como una Ley de Ohm para el circuito Magnético

R_l - reluctancia magnética

$$R_l = \frac{l}{\mu A} \left[\frac{A \cdot t}{Wb} \right]$$

μ - permeabilidad

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$$\hookrightarrow \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{Wb}{A \cdot m} \right]$$

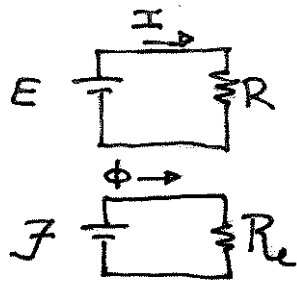
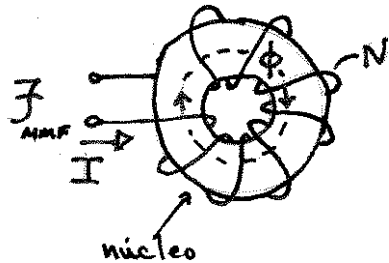
permeabilidad del vacío.

$\hookrightarrow$ permeabilidad relativa del material.

- Aplicando KCL como suma de Flujos (Φ)
KVL como suma de MMF (F)

Se Resuelve como un circuito eléctrico.

Analogía de Circuitos



MMF - EMF
 Flujo - Corriente
 Reluctancia - Resistencia
 densidad de Flujo -
 densidad de Corriente

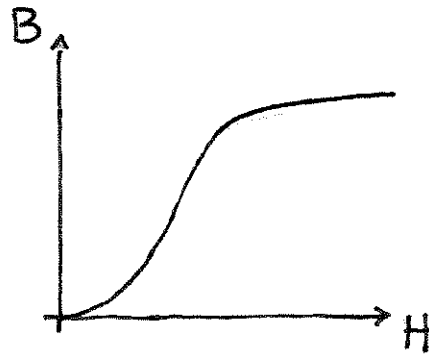
Magnético
 $\mathcal{F}$
 Φ
 R_e
 $B = \frac{\Phi}{A}$

Eléctrico
 E
 I
 R
 $J = \frac{I}{A}$

Curva de Magnetización

- Densidad de Flujo $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\mathcal{F}}{R_0 A} = \frac{\mathcal{F}}{\left(\frac{l}{\mu A}\right)} = \frac{\mu \mathcal{F}}{l}$
- Intensidad de Campo $H = \frac{\mathcal{F}}{l}$

$B = \mu H$ relación entre la densidad de flujo y la intensidad de Campo.



* Depende del material (núcleo)

- Las características magnéticas no son tan lineales como las eléctricas
- Esta no-linealidad crea el fenómeno de Histeréresis

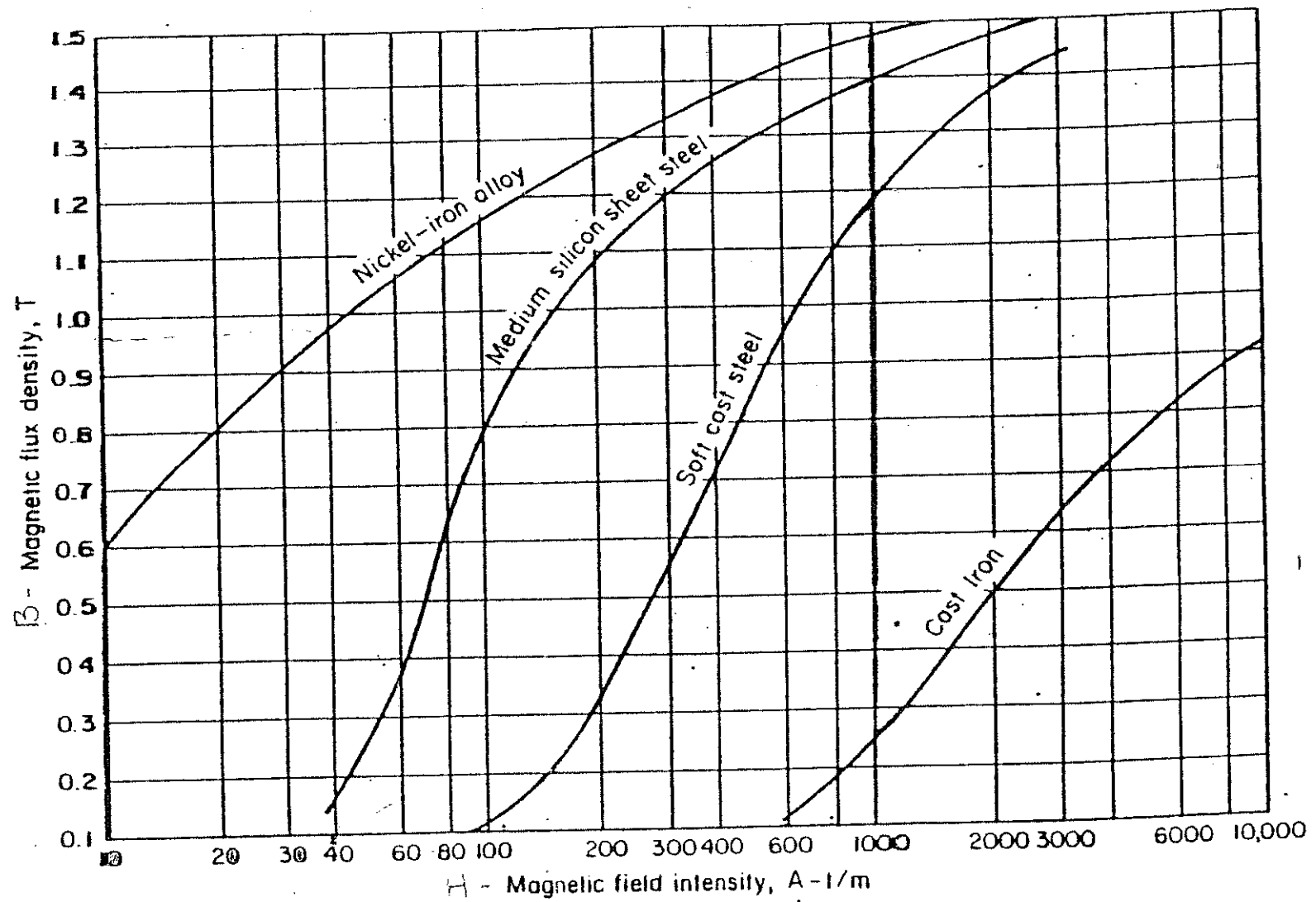
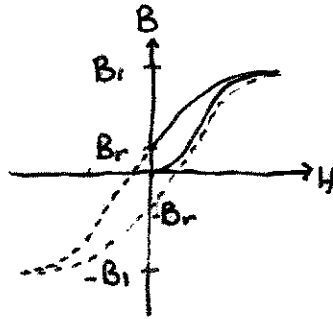


Figure 1-10 Magnetization curves of typical ferromagnetic materials.

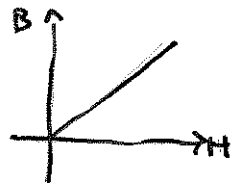
Curva de Magnetización



Fenómeno de Histeresis -

- Cuando se expone un material ferromagnético a una $\mathcal{F}$, se magnetiza
- al remover la $\mathcal{F}$ el material mantiene un remanente de la magnetización.

- El aire es el único material que tiene una relación lineal



$$H_{\text{aire}} = 313 B_{\text{aire}} \left[\frac{\text{A} \cdot \text{t}}{\text{in}} \right]$$

Unidades

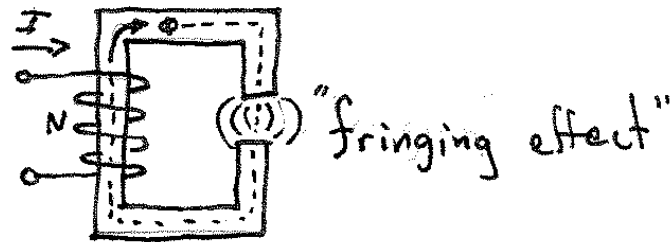
• Unidades

	SI		"U.S. Customary"
$\mathcal{F}$	$[A \cdot t]$		$[A \cdot t]$
Φ	$[Wb]$	$(1 Wb = 10^8 L)$	$[Líneas]$
B	$[\frac{Wb}{m^2}]$	$(1 \frac{Wb}{m^2} = 645 \frac{L}{in^2})$	$[L/in^2]$
H	$[\frac{A \cdot t}{m}]$	$(1 \frac{A \cdot t}{m} = .0254 \frac{A \cdot t}{in})$	$[\frac{A \cdot t}{in}]$
μ_0	$4\pi \times 10^{-7} [\frac{Wb}{A \cdot t \cdot m}]$		$3.19 [\frac{L}{A \cdot t \cdot in}]$

$$\left(1 T = 1 \frac{Wb}{m^2} \right)$$

Efecto de Disperción

- Si tenemos :



En el espacio de aire por donde pasa el flujo (Φ) ("air gap"), el flujo se expande

Ley de Faraday

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

e - potencia eléctrica (voltaje)
 $\frac{d\phi}{dt}$ - razón de cambio del flujo

N - número de Vueltas

* El voltaje es inducido por la razón de cambio del flujo magnético

$$e = N \frac{d\phi}{di} \cdot \frac{di}{dt} \quad \text{si} \quad L = N \frac{d\phi}{di} \quad \text{inductancia [H]}$$

$$e = L \frac{di}{dt}$$

voltaje en el inductor,
según definido en Circuitos

* Si la permeabilidad es constante,
$$L = N \frac{\phi}{i}$$