

## Ciclo de Histéresis

José Manuel Alarcón    Miguel Albaladejo

Laboratorio de Electromagnetismo, Universidad de Murcia

Presentado el 7 de Junio 2004



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias







# Introducción

- ὑστέρησις, *retraso, quedar atrás*
- Fenómeno **magnético** producido por la no linealidad entre el campo magnético **B** y la excitación magnética **H**.

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

### Contenidos

#### Introducción

Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

#### Sistema experimental

Resultados y análisis

#### Conclusiones

#### Referencias



# Introducción

- *ὑστέρησις*, *retraso*, *quedar atrás*
- Fenómeno **magnético** producido por la no linealidad entre el campo magnético **B** y la excitación magnética **H**.
- Se produce en materiales **ferromagnéticos**.

Contenidos

**Introducción**

Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

# Introducción

- *ὑστέρησις*, *retraso*, *quedar atrás*
- Fenómeno **magnético** producido por la no linealidad entre el campo magnético **B** y la excitación magnética **H**.
- Se produce en materiales **ferromagnéticos**.
- **Permeabilidad magnética** altamente variable.

# Introducción

- *ὑστέρησις*, *retraso*, *quedar atrás*
- Fenómeno **magnético** producido por la no linealidad entre el campo magnético **B** y la excitación magnética **H**.
- Se produce en materiales **ferromagnéticos**.
- **Permeabilidad magnética** altamente variable.
- Magnetización **M** permanente o, al menos, duradera.

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

### Contenidos

#### Introducción

Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

#### Sistema experimental

Resultados y análisis

#### Conclusiones

#### Referencias



# Paramagnetismo, Diamagnetismo y Ferromagnetismo

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Relación general (definición)

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

**Ferromagnetismo**

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Paramagnetismo, Diamagnetismo y Ferromagnetismo

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Relación general (definición)

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

Materiales paramagnéticos, diamagnéticos

$$\mathbf{M} = \chi_M \mathbf{H} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad \text{con} \quad \mu = \mu_0 (1 + \chi_M)$$

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

**Ferromagnetismo**

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Paramagnetismo, Diamagnetismo y Ferromagnetismo

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

**Ferromagnetismo**

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

Relación general (definición)

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

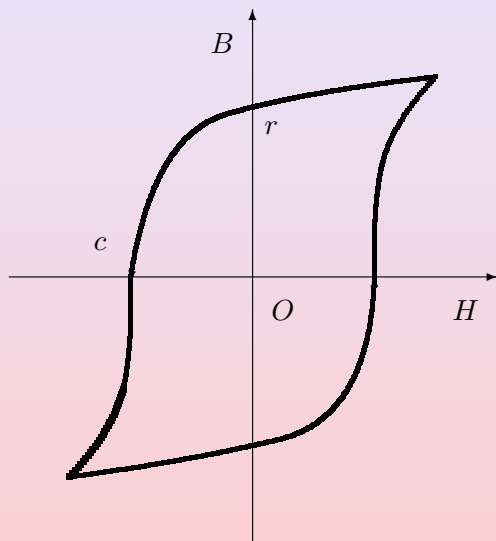
Materiales paramagnéticos, diamagnéticos

$$\mathbf{M} = \chi_M \mathbf{H} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad \text{con} \quad \mu = \mu_0 (1 + \chi_M)$$

Materiales ferromagnéticos

$$\mathbf{M} \neq \chi_M \mathbf{H} \Rightarrow \mathbf{B} = \mu(\mathbf{H}) \mathbf{H} \quad \text{luego} \quad \mu(H) = \frac{B}{H}$$

# Histéresis



- $B_r$ : remanencia
- $H_c$ : fuerza coercitiva

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

**Histéresis**

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

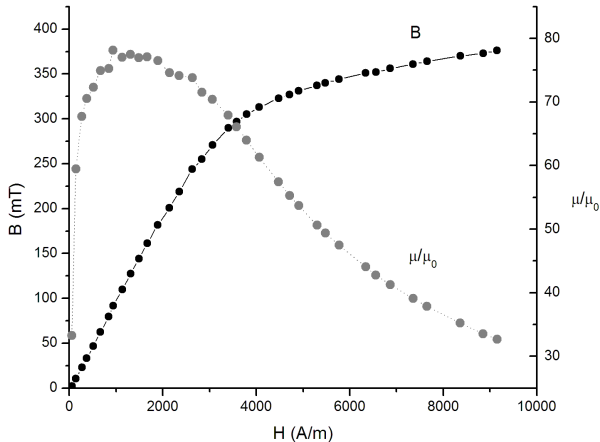
Referencias



# Primera imanación

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

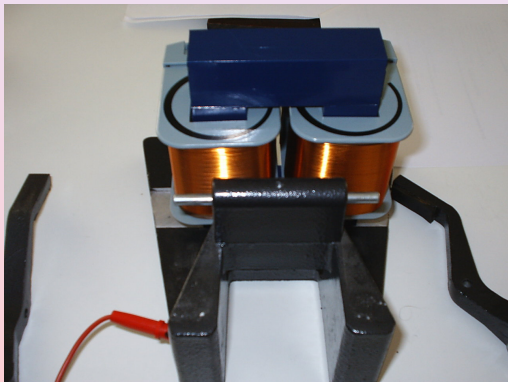


# ¿Qué queremos caracterizar?

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Núcleos de hierro  $\Rightarrow$  sobre bobinas del circuito



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

**Sistema experimental**

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Caracterización experimental

Caracterizar los núcleos de hierro  $\Rightarrow$  medir  $B$  y  $H$

Usamos dos tipos de circuitos para medir la **histéresis**:

## Punto a punto – Teslámetro – Corriente continua

- Teslámetro (mide  $B$ )  $\Rightarrow$  Introducir *sonda Hall*  $\Rightarrow$  aparece un *gap* (hueco)
- Es largo y tedioso
- Permite medir curva de primera imanación

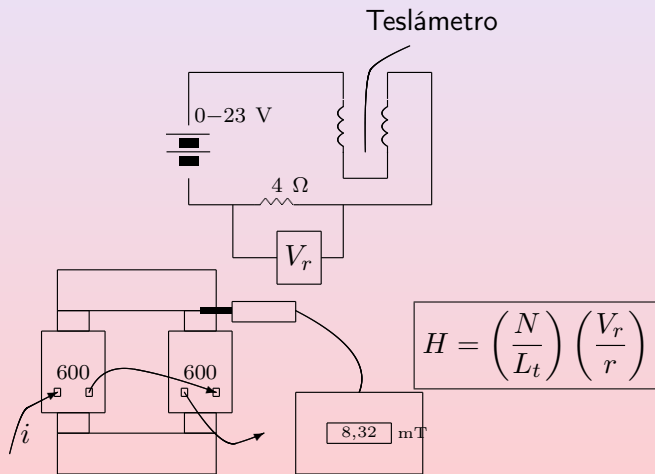
## Circuito integrador – Osciloscopio – Corriente alterna

- No hace falta *sonda Hall*  $\Rightarrow$  no hay *gap*
- Es rápido y directo
- No se puede medir la curva de primera imanación

# Ciclo de histéresis punto a punto con teslámetro

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

**Sistema experimental**

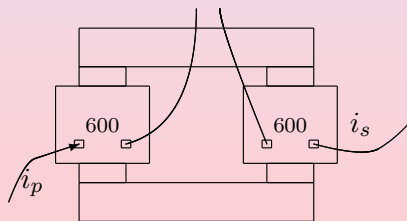
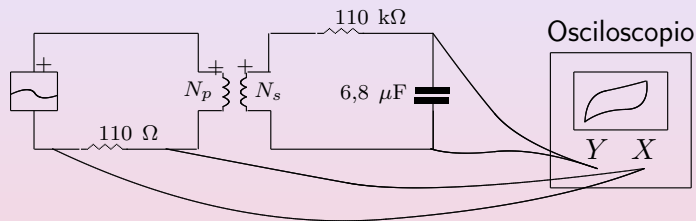
Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Ciclo de histéresis con circuito integrador y osciloscopio



$$H = \left( \frac{N}{L_t} \right) \left( \frac{V_r}{r} \right)$$

$$V_c = \frac{N_s A}{RC} B$$

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

# Circuito con teslámetro

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

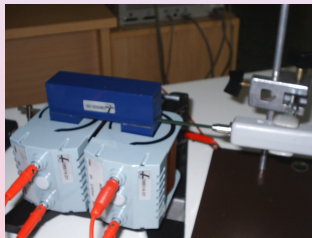
Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

**Sistema experimental**

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Curvas de primera imanación: Hierro plateado

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

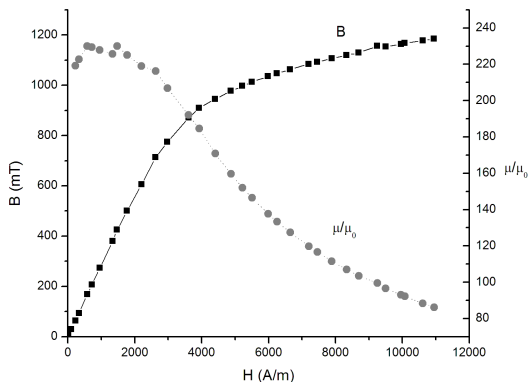
Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Análisis primera imanación núcleo plateado

- El material se imana muy rápidamente hasta un valor de  $H$  de 2000 A/m  $\Rightarrow$  cociente  $\mu/\mu_0$
- No llega a la saturación, aunque se puede visualizar una tendencia de decrecimiento suave

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

# Curvas de primera imanación: Hierro azul

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

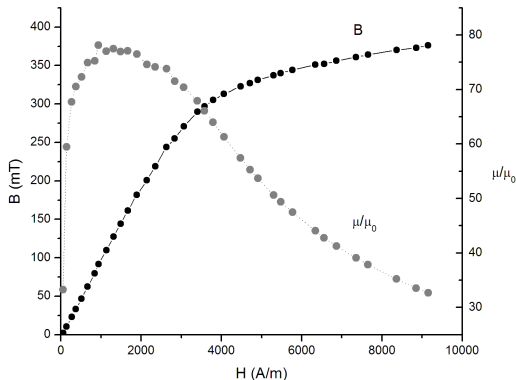
Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Análisis primera imanación núcleo azul

- El núcleo azul no responde tan rápidamente al campo imanante aunque está más próximo a la saturación que el núcleo plateado.
- Permeabilidad, para esa primera zona, menor que la del núcleo plateado.

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Comparación de ambos núcleos

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

## Más imanación

Teniendo en cuenta que han sido sometidos al mismo campo  $H$ , se produce más imanación para el núcleo plateado que para el azul.

## Más unidades imanables

Así pues, el núcleo plateado posee más unidades imanables que el núcleo azul.

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

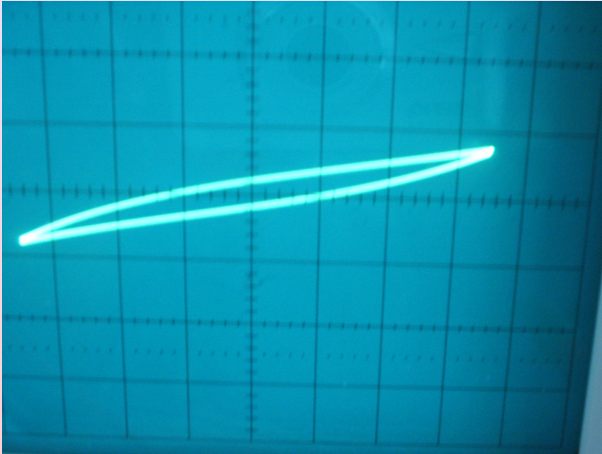
Referencias



# Efecto del *gap* (hueco): CON *gap*

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

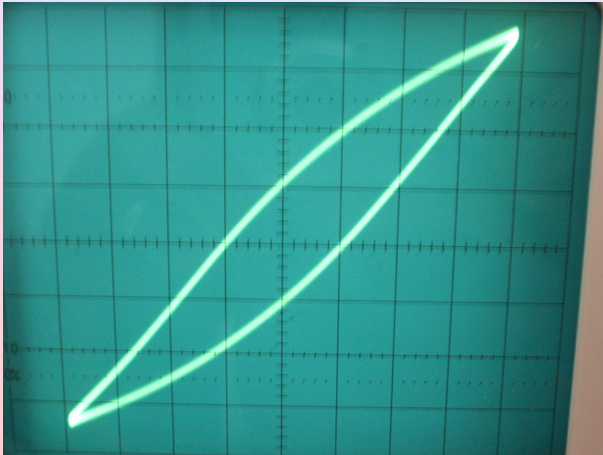
Referencias



# Efecto del *gap* (hueco): SIN *gap*

CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo



Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Conclusiones

## Aumento de flujo magnético

Núcleo plateado es mucho mejor para aumentar el flujo magnético de un circuito de corriente  $\Rightarrow$  Elevada permeabilidad magnética en comparación con el azul

## Uso como Imán permanente

Núcleo plateado también es mejor para utilizarlo como imán permanente. Pero esto es debido a que su remanencia es mas elevada

## Ejemplo $\Rightarrow$ Construir un electroimán

Sería mejor hacerlo con el núcleo plateado que con el azul, porque necesitaría de una menor excitación magnética (y por lo tanto aportar menos trabajo) para producir un campo magnético dado

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico

Ferromagnetismo

Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias



# Conclusión final

## Conclusión final

Lo importante es que con el ciclo de histéresis podemos saber que material nos conviene más a la hora de realizar una aplicación determinada

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

Sistema experimental






Resultados y análisis

**Conclusiones**

Referencias



# Referencias

-  Reitz, J.R. et al., *Fundamentos de la Teoría Electromagnética*, Addison-Wesley, 1996
-  Kraus, J.D., *Electromagnetismo*, McGraw-Hill, 1986
-  Zahn, M., *Electromagnetic Field Theory*, Wiley, 1979.
-  Jackson, J.D., *Classical Electrodynamics*, Wiley, 1962
-  Neff, H.P., *Introductory Electromagnetics*, Wiley, 1991

## CICLO DE HISTÉRESIS

José Manuel Alarcón,  
Miguel Albaladejo

Contenidos

Introducción

Preámbulo teórico  
Ferromagnetismo  
Histéresis

Sistema experimental

Resultados y análisis

Conclusiones

Referencias

