

Curso: Transformadores y Máquinas Eléctricas

CIRCUITOS FERROMAGNÉTICOS EN C.D.

Ing. Sergio A. Morales Hernández

Escuela de Ingeniería Electrónica
Tecnológico de Costa Rica

II Semestre 2020

1 CIRCUITO MAGNÉTICOS REALES

AGENDA

1 CIRCUITO MAGNÉTICOS REALES

2 CÁLCULO PARA MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

AGENDA

- 1 CIRCUITO MAGNÉTICOS REALES
- 2 CÁLCULO PARA MATERIALES FERROMAGNÉTICOS
- 3 EJERCICIO

HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD

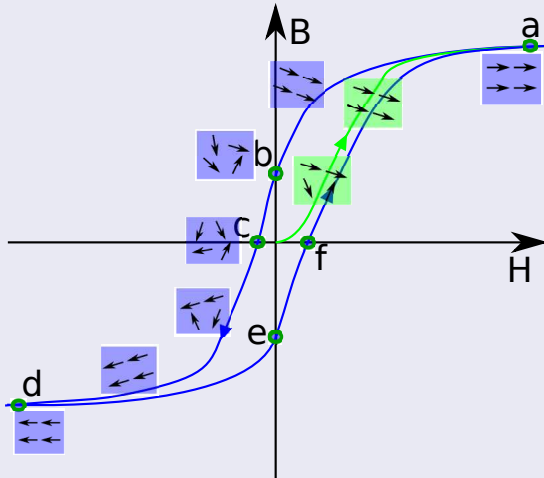
- Si sometemos un circuito ferromagnético a una magnetización cíclica, variando la I en magnitud y dirección, se presentan las siguientes situaciones:

HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD

- Si sometemos un circuito ferromagnético a una magnetización cíclica, variando la I en magnitud y dirección, se presentan las siguientes situaciones:

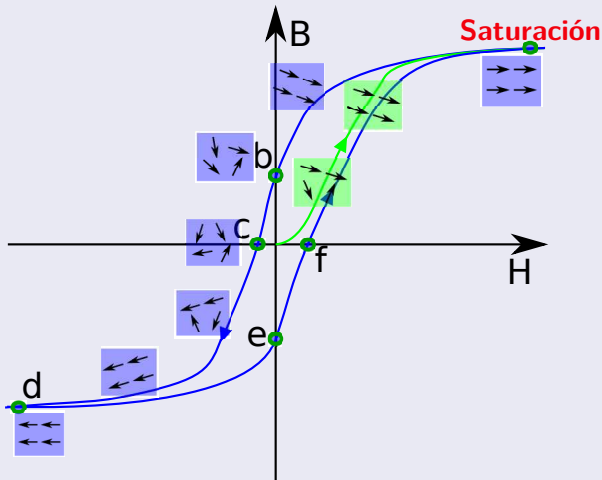
HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD

- Si sometemos un circuito ferromagnético a una magnetización cíclica, variando la I en magnitud y dirección, se presentan las siguientes situaciones:

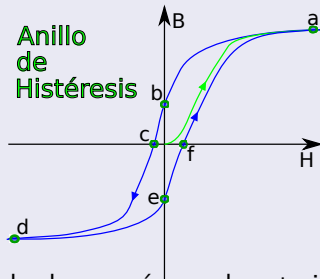


HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD

- Si sometemos un circuito ferromagnético a una magnetización cíclica, variando la I en magnitud y dirección, se presentan las siguientes situaciones:

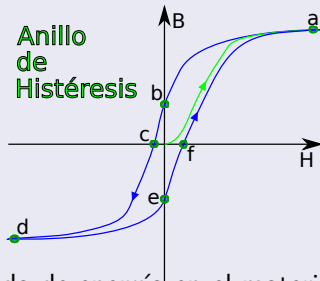


HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD, continuación



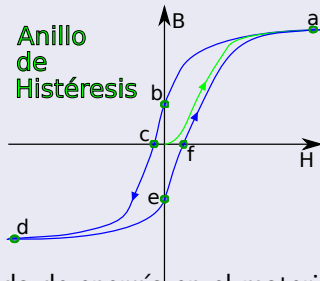
- Representa la pérdida de energía en el material (¿por qué?).
- La remanencia se puede definir como la densidad de flujo que permanece después de quitar la fuente de energía.

HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD, continuación



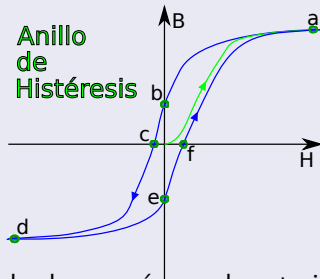
- Representa la pérdida de energía en el material (¿por qué?).
- La remanencia se puede definir como la densidad de flujo que permanece después de quitar la fuente de energía.
- La retentividad se presenta cuando se lleva el material a saturación, \Rightarrow el máximo de la remanencia.

HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD, continuación



- Representa la pérdida de energía en el material (¿por qué?).
- La remanencia se puede definir como la densidad de flujo que permanece después de quitar la fuente de energía.
- La retentividad se presenta cuando se lleva el material a saturación, \Rightarrow el máximo de la remanencia.
- El flujo remanente también se conoce como densidad de flujo residual.

HISTÉRESIS Y RETENTIVIDAD, continuación



- Representa la pérdida de energía en el material (¿por qué?).
- La remanencia se puede definir como la densidad de flujo que permanece después de quitar la fuente de energía.
- La retentividad se presenta cuando se lleva el material a saturación, \Rightarrow el máximo de la remanencia.
- El flujo remanente también se conoce como densidad de flujo residual.
- Coercitividad es la energía utilizada para tener un $CM = 0$.

CONSIDERACIONES INICIALES

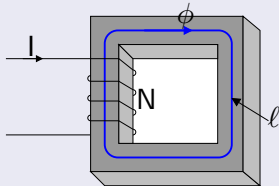
- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:

CONSIDERACIONES INICIALES

- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:

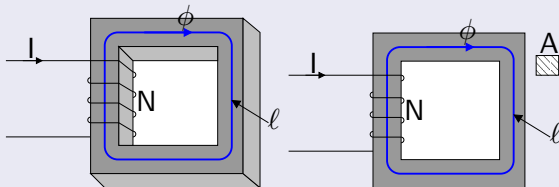
CONSIDERACIONES INICIALES

- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



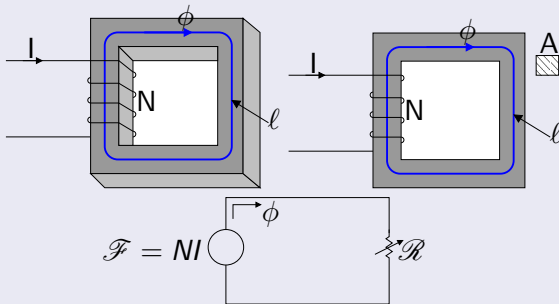
CONSIDERACIONES INICIALES

- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



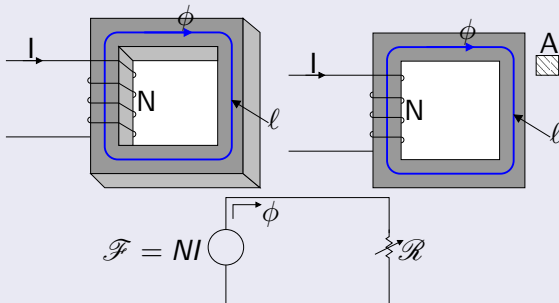
CONSIDERACIONES INICIALES

- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



CONSIDERACIONES INICIALES

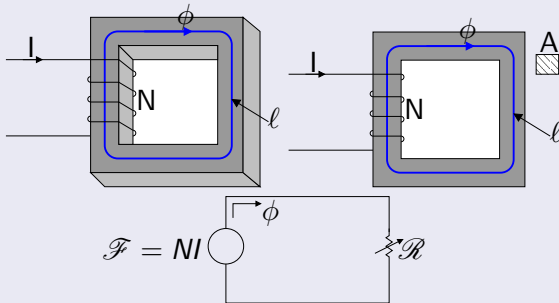
- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



- Pasamos de un circuito tridimensional a uno más simple.

CONSIDERACIONES INICIALES

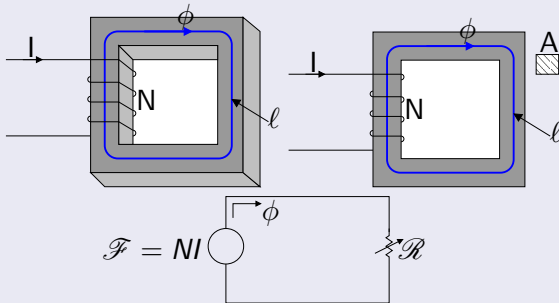
- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



- Pasamos de un circuito tridimensional a uno más simple.
- Suponemos configuraciones geométricas simétricas.

CONSIDERACIONES INICIALES

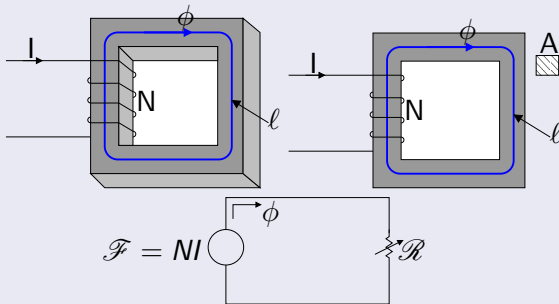
- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



- Pasamos de un circuito tridimensional a uno más simple.
- Suponemos configuraciones geométricas simétricas.
- El flujo se limita a recorrer caminos de alta permeabilidad.

CONSIDERACIONES INICIALES

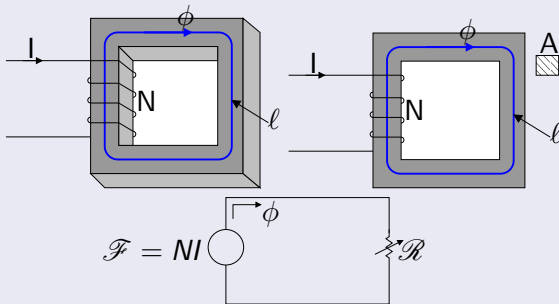
- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



- Pasamos de un circuito tridimensional a uno más simple.
- Suponemos configuraciones geométricas simétricas.
- El flujo se limita a recorrer caminos de alta permeabilidad.
- Núcleo no lineal.

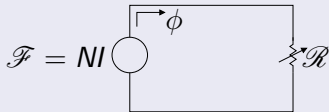
CONSIDERACIONES INICIALES

- Un circuito ferromagnético básico, se puede representar de la siguiente forma:



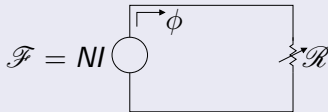
- Pasamos de un circuito tridimensional a uno más simple.
- Suponemos configuraciones geométricas simétricas.
- El flujo se limita a recorrer caminos de alta permeabilidad.
- Núcleo no lineal.
- El aire sirve de “aislante”.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



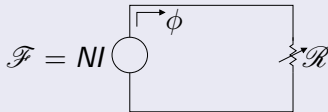
- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



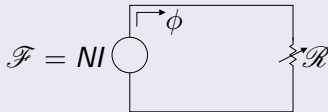
- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



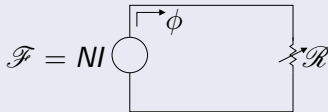
- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.
- La fuerza magnetomotriz tiene 2 componentes

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



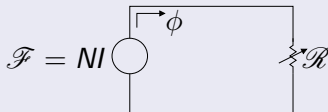
- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.
- La fuerza magnetomotriz tiene 2 componentes
 - $\mathcal{F} = NI$ y

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



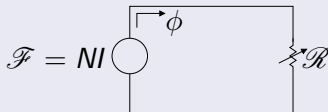
- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.
- La fuerza magnetomotriz tiene 2 componentes
 - $\mathcal{F} = NI$ y
 - $\mathcal{F} = H\ell_m$ (“caídas de tensión” magnéticas).

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.
- La fuerza magnetomotriz tiene 2 componentes
 - $\mathcal{F} = NI$ y
 - $\mathcal{F} = H\ell_m$ (“caídas de tensión” magnéticas).
- Si el núcleo tiene diferentes materiales, $\mathcal{F} = NI = \sum_{i=1}^n H_i \ell_{m_i}$ (LVK).

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



- La relación $\phi = BA$ es válida en cualquier área transversal, donde ϕ se puede considerar uniforme.
- La ℓ_m para la trayectoria del flujo se puede considerar como la ℓ_m del material ferromagnético.
- La fuerza magnetomotriz tiene 2 componentes
 - $\mathcal{F} = NI$ y
 - $\mathcal{F} = H\ell_m$ (“caídas de tensión” magnéticas).
- Si el núcleo tiene diferentes materiales, $\mathcal{F} = NI = \sum_{i=1}^n H_i \ell_{m_i}$ (LVK).
- La suma algebraica de 2 potenciales magnéticos alrededor de una trayectoria cerrada es igual a 0.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación

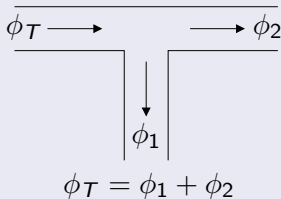
- El número de líneas de flujo que entran por un área transversal es igual al número de líneas que salen de ella (LCK).

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación

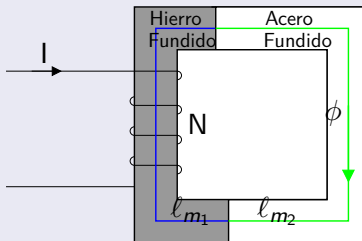
- El número de líneas de flujo que entran por un área transversal es igual al número de líneas que salen de ella (LCK).

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación

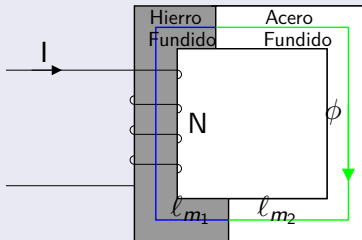
- El número de líneas de flujo que entran por un área transversal es igual al número de líneas que salen de ella (LCK).



EJERCICIO CON 2 MATERIALES

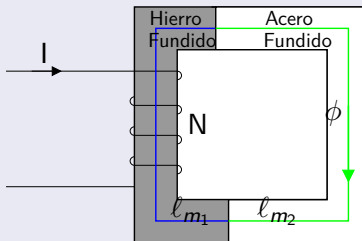


EJERCICIO CON 2 MATERIALES

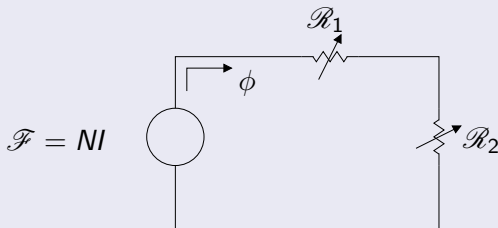


Su circuito equivalente sería:

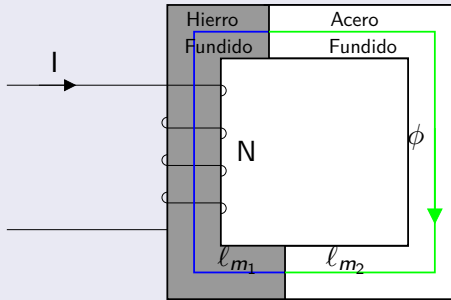
EJERCICIO CON 2 MATERIALES



Su circuito equivalente sería:

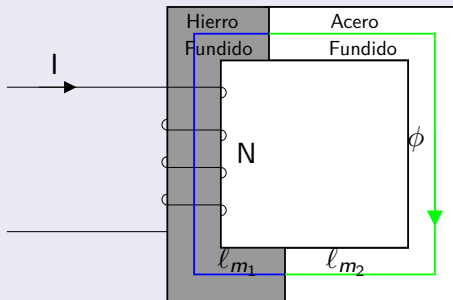


EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



- Los datos del problema son:

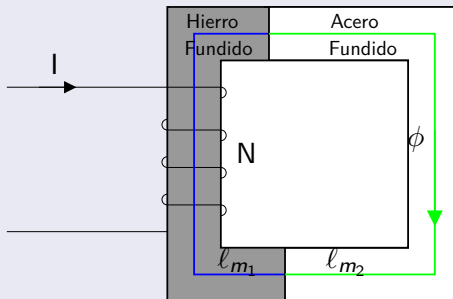
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



• Los datos del problema son:

- $\ell_{m1} = 0,2m$.

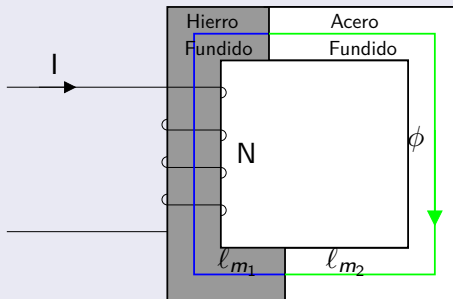
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



• Los datos del problema son:

- $\ell_{m1} = 0,2m$.
- $\ell_{m2} = 0,4m$.

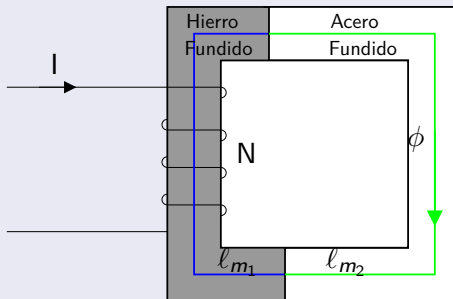
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



• Los datos del problema son:

- $\ell_{m1} = 0,2m$.
- $\ell_{m2} = 0,4m$.
- $A_1 = A_2 = 0,0015m^2$.

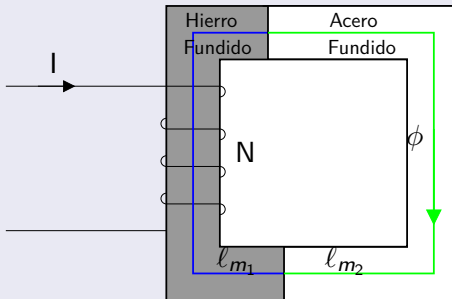
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



• Los datos del problema son:

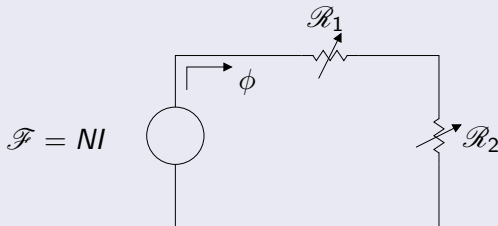
- $\ell_{m1} = 0,2m$.
- $\ell_{m2} = 0,4m$.
- $A_1 = A_2 = 0,0015m^2$.
- $N = 100$ vueltas.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



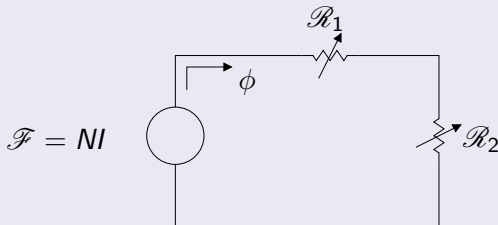
- Los datos del problema son:
 - $\ell_{m_1} = 0,2m$.
 - $\ell_{m_2} = 0,4m$.
 - $A_1 = A_2 = 0,0015m^2$.
 - $N = 100$ vueltas.
- Calcule la corriente necesaria para producir un $\phi = 1,5 \times 10^{-4}$ Wb.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



- Solución:

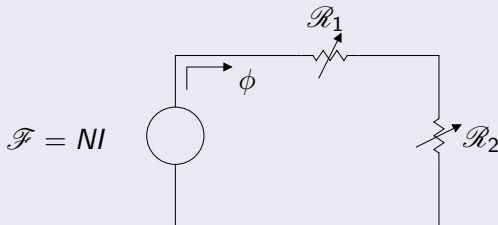
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



- Solución:

- Como los dos materiales le ofrecen un camino en “serie” al flujo, y debido a que ambos materiales tienen la misma área, tenemos $B_1 = B_2$.

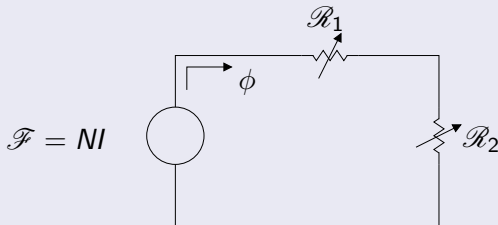
EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



• Solución:

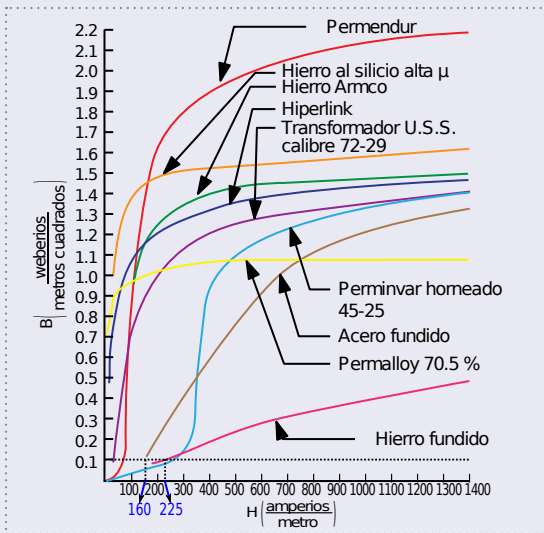
- Como los dos materiales le ofrecen un camino en “serie” al flujo, y debido a que ambos materiales tienen la misma área, tenemos $B_1 = B_2$.
- $B = \frac{\phi}{A} = 0,1 \text{ Wb/m}^2$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



- Solución:
 - Como los dos materiales le ofrecen un camino en “serie” al flujo, y debido a que ambos materiales tienen la misma área, tenemos $B_1 = B_2$.
 - $B = \frac{\phi}{A} = 0,1 \text{ Wb/m}^2$.
- Con este dato, se debe utilizar las curvas de magnetización de los materiales, para obtener el valor de H .

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación



$$B = 0,1 \text{ Wb/m}^2 \Rightarrow H_2 = 160, H_1 = 225 \text{ AV/m}$$

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.
 - $\mathcal{F} = NI = 160 * 0,4 + 225 * 0,2$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.
 - $\mathcal{F} = NI = 160 * 0,4 + 225 * 0,2$.
 - $\mathcal{F} = NI = 109 \text{ Av}$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.
 - $\mathcal{F} = NI = 160 * 0,4 + 225 * 0,2$.
 - $\mathcal{F} = NI = 109 \text{ Av}$.
 - $I = 1,09 \text{ A}$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.
 - $\mathcal{F} = NI = 160 * 0,4 + 225 * 0,2$.
 - $\mathcal{F} = NI = 109 \text{ Av}$.
 - $I = 1,09 \text{ A}$.

EJERCICIO CON 2 MATERIALES, continuación

- Con $H_2 = 160$ (acero fundido) y $H_1 = 225$ (hierro fundido), tenemos
 - $\mathcal{F} = NI = H_1 \ell_{m_1} + H_2 \ell_{m_2}$.
 - $\mathcal{F} = NI = 160 * 0,4 + 225 * 0,2$.
 - $\mathcal{F} = NI = 109 \text{ Av}$.
 - $I = 1,09 \text{ A}$.

Cambio de materiales

Realicen ahora el mismo desarrollo pero para los materiales *Casting cast Iron* y *Steel st3*. Usen la aplicación elaborada por el egresado Luis León <https://lleon95.github.io/appHB/> y comparen.

¡Muchas Gracias!

