Curso: Procesamiento Electrónico de Potencia

CIRCUITOS FERROMAGNÉTICOS EN C.A.

Ing. Sergio A. Morales Hernández

Escuela de Ingeniería Electrónica
Tecnológico de Costa Rica

I Semestre 2021

AGENDA

1. CONSIDERACIONES INICIALES

AGENDA

1. CONSIDERACIONES INICIALES
2. ENERGÍA Y COENERGÍA

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

- A la ecuación (1) le hace falta algo:

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

- A la ecuación (1) le hace falta algo:
- **¡LA LEY DE LENZ!**

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

- A la ecuación (1) le hace falta algo:
- **¡LA LEY DE LENZ!**

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

- A la ecuación (1) le hace falta algo:
- **¡LA LEY DE LENZ!**

$$v(t) = -N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

LEY DE FARADAY

- La Ley de Faraday indica que:

$$v(t) = \frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

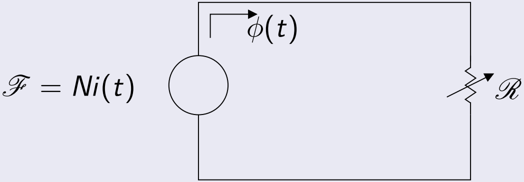
- Y para una bobina con N vueltas:

$$v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

- A la ecuación (1) le hace falta algo:
- **¡LA LEY DE LENZ!**

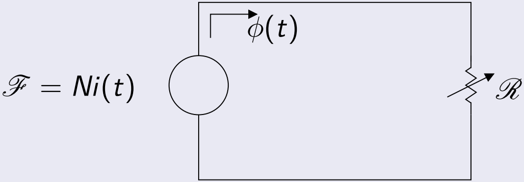
$$v(t) = -N\frac{\mathrm{d}\phi(t)}{\mathrm{d}t}$$

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



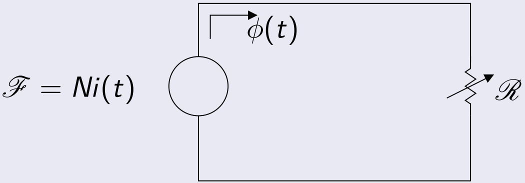
- Tomemos el circuito equivalente para un sistema de una bobina y un solo material ferromagnético.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



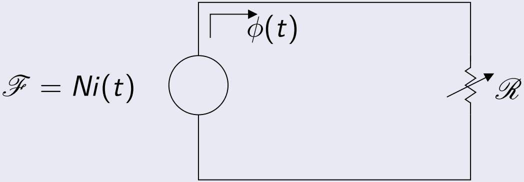
- Tomemos el circuito equivalente para un sistema de una bobina y un solo material ferromagnético.
- La fuente de tensión aplicada ahora es variante en el tiempo, de la forma $v(t) = V_m sen(\omega t)$.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



- Tomemos el circuito equivalente para un sistema de una bobina y un solo material ferromagnético.
- La fuente de tensión aplicada ahora es variante en el tiempo, de la forma $v(t) = V_m sen(\omega t)$.
- Por lo tanto, $\phi(t) = -\phi_m cos(\omega t)$.

CONSIDERACIONES INICIALES, continuación



- Tomemos el circuito equivalente para un sistema de una bobina y un solo material ferromagnético.
- La fuente de tensión aplicada ahora es variante en el tiempo, de la forma $v(t) = V_m sen(\omega t)$.
- Por lo tanto, $\phi(t) = -\phi_m cos(\omega t)$.
- Sin embargo, la corriente de la fuente, no será una senoide, ¿por qué?

OTRO DETALLE ADICIONAL

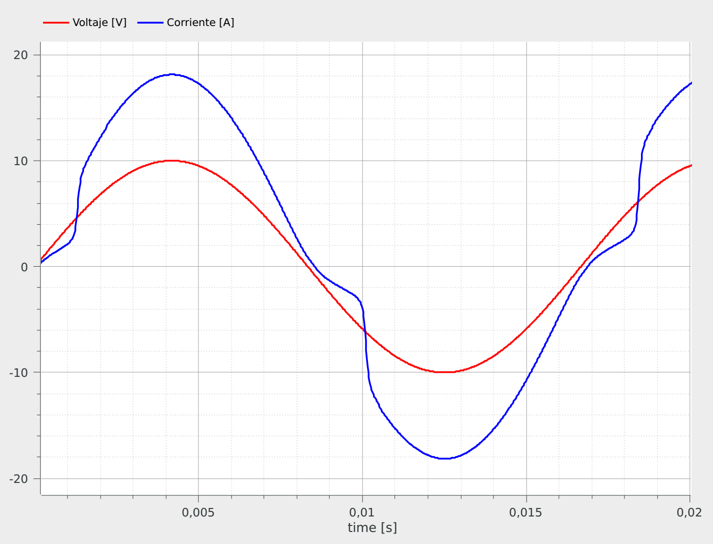


Figura: Formas del voltaje y la corriente en el primario de un trafo real

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.
- Y al final, $\mathrm{d}W = \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$.

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.
- Y al final, $\mathrm{d}W = \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$.
- De la última relación, podemos obtener una representación de la energía:

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.
- Y al final, $\mathrm{d}W = \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$.
- De la última relación, podemos obtener una representación de la energía:

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.
- Y al final, $\mathrm{d}W = \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$.
- De la última relación, podemos obtener una representación de la energía:

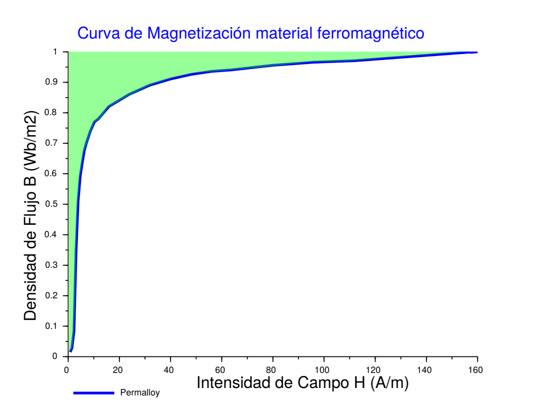
$$W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$$

ENERGÍA Y CONENERGÍA

- Tenemos que $v(t) = N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$ y la potencia instantánea es: $v(t) * i(t)$.
- Además, $p(t) = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}$.
- Sustituyendo, tendríamos que $\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = i(t)N\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$
- Que lo podemos representar como $\mathrm{d}W = Ni(t)\mathrm{d}\phi$.
- Y al final, $\mathrm{d}W = \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$.
- De la última relación, podemos obtener una representación de la energía:
$$W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F}\mathrm{d}\phi$$
- Esta es la energía de magnetización necesaria para establecer un flujo, cuando un circuito ferromagnético es alimentado con CA.

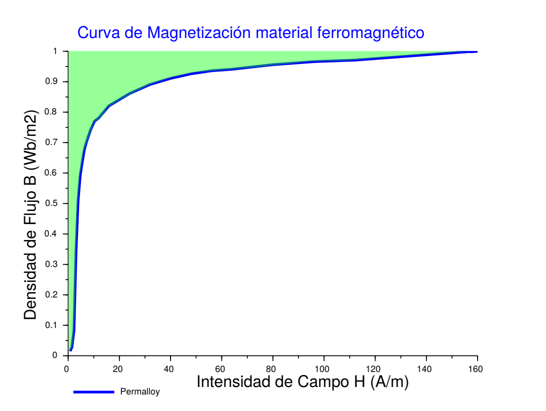
ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- La integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ se puede representar gráficamente así:



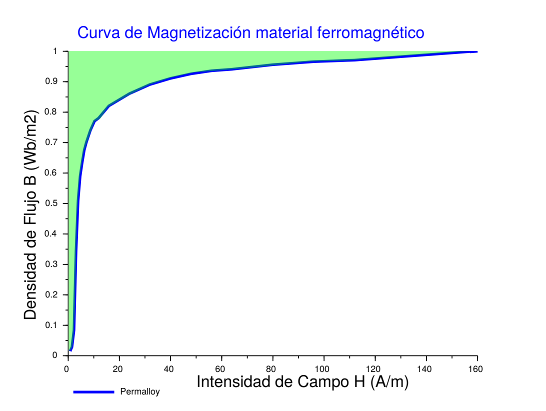
ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- La integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ se puede representar gráficamente así:



ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- La integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ se puede representar gráficamente así:



- Se puede decir que esta es la energía almacenada en el sistema, ¿por qué?

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones.

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones.

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones. ¿Por qué?

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

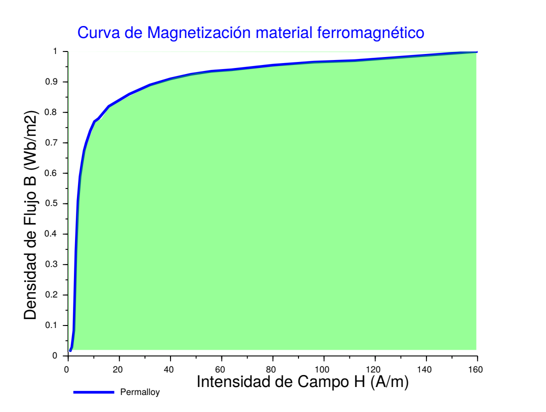
- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones. ¿Por qué?
- Acá es donde se introduce un concepto gráfico, que nos puede ayudar a obtener la energía del sistema: la coenergía.

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

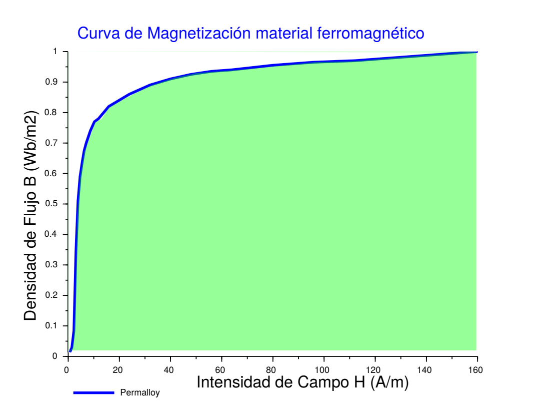
- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones. ¿Por qué?
- Acá es donde se introduce un concepto gráfico, que nos puede ayudar a obtener la energía del sistema: la coenergía.

ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación

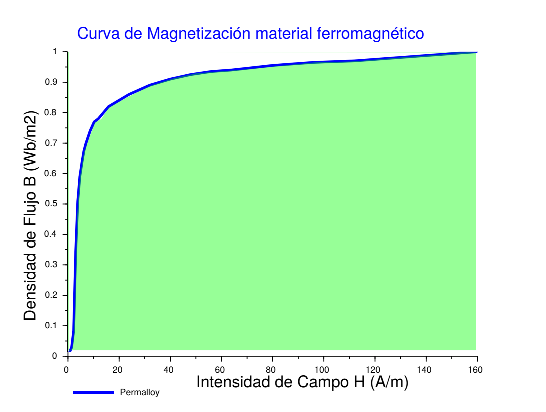
- Sin embargo, calcular la integral $W_\phi = \int_0^{\phi_1} \mathscr{F} \mathrm{d}\phi$ no es fácil, en la mayoría de las ocasiones. ¿Por qué?
- Acá es donde se introduce un concepto gráfico, que nos puede ayudar a obtener la energía del sistema: la coenergía.



ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación



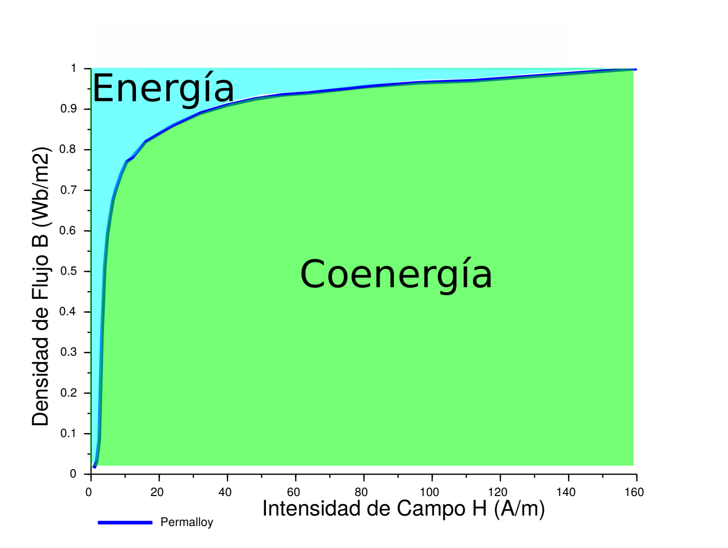
ENERGÍA Y CONENERGÍA, continuación



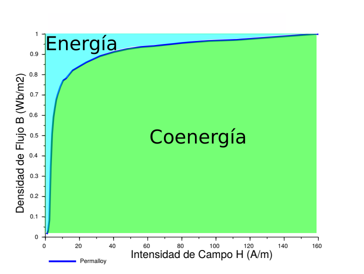
- Esta área se representaría:

$$W'_\phi = \int_0^{\mathscr{F}_1} \phi \mathrm{d}\mathscr{F}, \quad \text{¡y es fácil de calcular!}$$

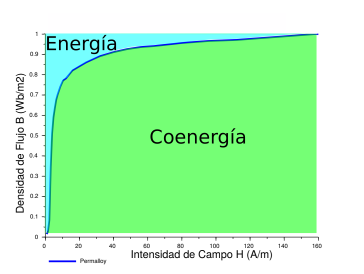
ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación

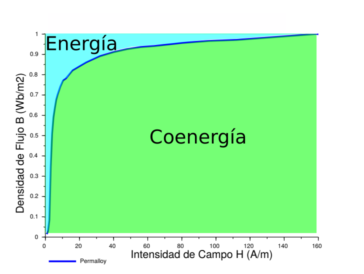


ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



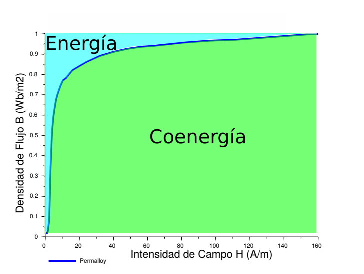
- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

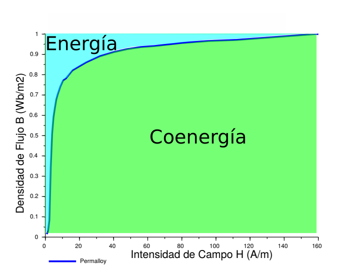
ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

$$W_\phi = \int_0^{B_1} H\ell A\,\mathrm{d}B$$

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación

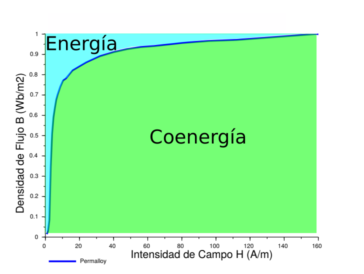


- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

$$W_\phi = \int_0^{B_1} H\ell A\,\mathrm{d}B$$

- Si observamos bien, vemos que tenemos una expresión de volumen, ℓA, la cual nos produce una nueva expresión:

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación

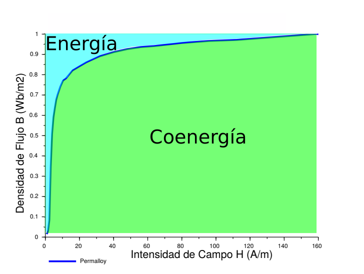


- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

$$W_\phi = \int_0^{B_1} H\ell A\,\mathrm{d}B$$

- Si observamos bien, vemos que tenemos una expresión de volumen, ℓA, la cual nos produce una nueva expresión:

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



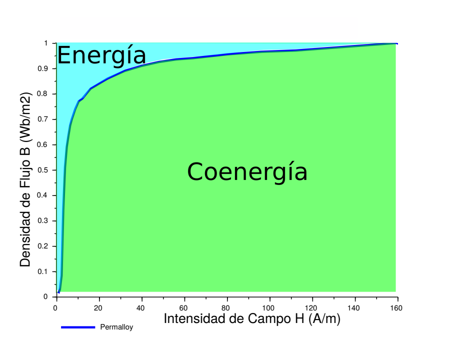
- Si sustituimos $\mathscr{F} = H\ell$ y $\mathrm{d}\phi = A\,\mathrm{d}B$, tendremos

$$W_\phi = \int_0^{B_1} H\ell A\,\mathrm{d}B$$

- Si observamos bien, vemos que tenemos una expresión de volumen, ℓA, la cual nos produce una nueva expresión:

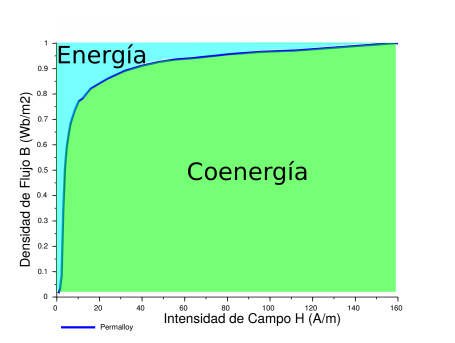
$$w_\phi = \int_0^{B_1} H\,\mathrm{d}B \qquad \text{Densidad de Energía}$$

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



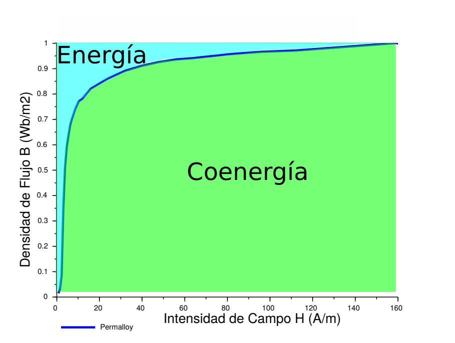
- Podemos hacer la misma relación anterior, y obtener una expresión para la *Densidad de Coenergía*

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



- Podemos hacer la misma relación anterior, y obtener una expresión para la *Densidad de Coenergía*

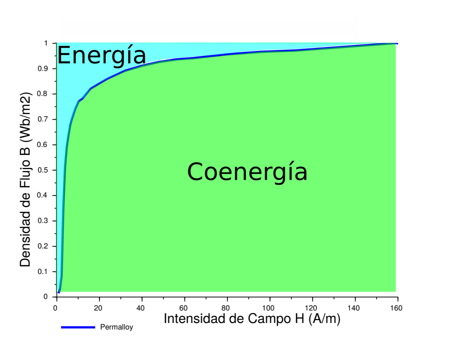
ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



- Podemos hacer la misma relación anterior, y obtener una expresión para la *Densidad de Coenergía*

$$w'_\phi = \int_0^{H_1} B \, \mathrm{d}H$$

ENERGÍA Y COENERGÍA, continuación



- Podemos hacer la misma relación anterior, y obtener una expresión para la *Densidad de Coenergía*

$$w'_\phi = \int_0^{H_1} B \, \mathrm{d}H$$


¡Muchas Gracias!