

Tema 1. Principios de Máquinas Eléctricas

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Índice

01 Circuito eléctrico y magnético

02 Ferromagnetismo y ciclo de histéresis

03 Pérdidas, índice de carga y rendimiento

 Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios de máquinas eléctricas

- El funcionamiento de las máquinas eléctricas se basa en campos magnéticos.
- Para estudiar las máquinas eléctricas es necesario estudiar los circuitos magnéticos, es decir, saber por dónde circulan los campos magnéticos y cuantificarlos.
- Se pueden establecer analogías entre los circuitos eléctricos y magnéticos.
- Para facilitar el estudio se obtendrán equivalente

Cartagena99

CLÁSES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Circuito eléctrico y magnético

- Se pueden establecer analogías entre los circuitos eléctricos y magnéticos.
- Parámetros equivalentes.

Circuito eléctrico		Circuito magnético	
Símbolo	Nombre	Símbolo	Nombre
$\mathcal{E}$	Fuerza electromotriz [V]	$\mathcal{F}$	Fuerza magnetomotriz [A.v]
J	Densidad de corriente [A/m ²]	B	Inducción [T]
σ	Conductividad [S/m]	μ	Permeabilidad [H/m]
E	Campo eléctrico [V/m]	H	Campo magnético [A.v/m]

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Circuito eléctrico y magnético

- Se pueden establecer equivalencias entre la leyes de los circuitos eléctricos y magnéticos

Circuito eléctrico		Circuito magnético	
Símbolo	Nombre	Símbolo	Nombre
$\sum i = 0$	Primera ley de Kirchoff	$\sum \Phi = 0$	Primera ley de Kirchoff
$\sum e = \sum R \cdot i$	Segunda ley de Kirchoff	$\sum \mathcal{F} = \sum \mathcal{R} \cdot \Phi$	Segunda ley de Kirchoff
$R = l / \sigma \cdot S \text{ } [\Omega]$	Resistencia	$\mathcal{R} = l / \mu \cdot S \text{ } [\text{H}^{-1}]$	Reluctancia
$R_T = \sum R_i$	Resistencias en serie	$\mathcal{R}_T = \sum \mathcal{R}_i$	Reluctancia en serie

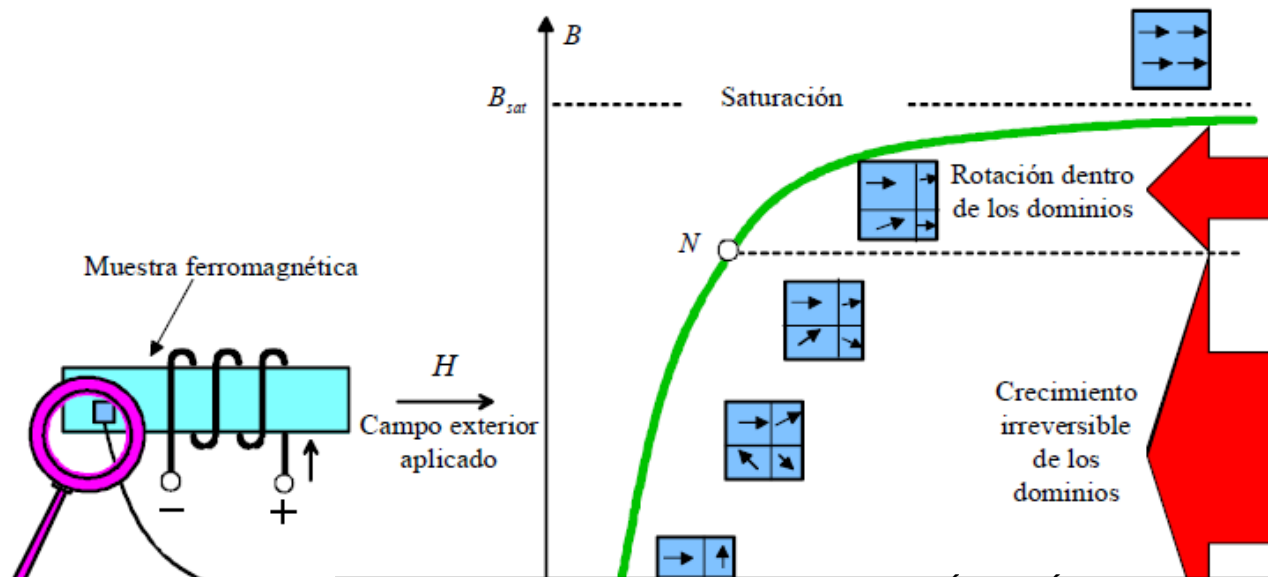
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ferromagnetismo

- **Ferromagnetismo.** Materiales con imanaciones grandes aún en presencia de campos magnéticos débiles



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

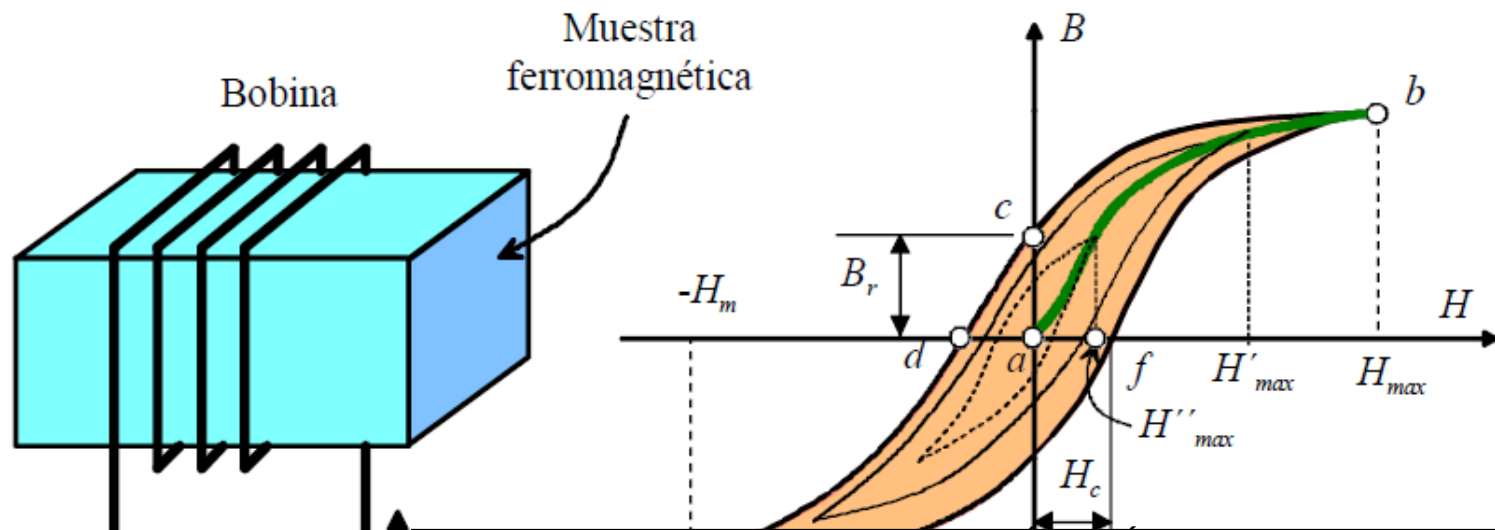
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



Ciclo de histéresis

- Magnetismo o inducción remanente B_r . Campo coercitivo H_c
- Imanes permanentes, materiales alta B_r y alto H_c

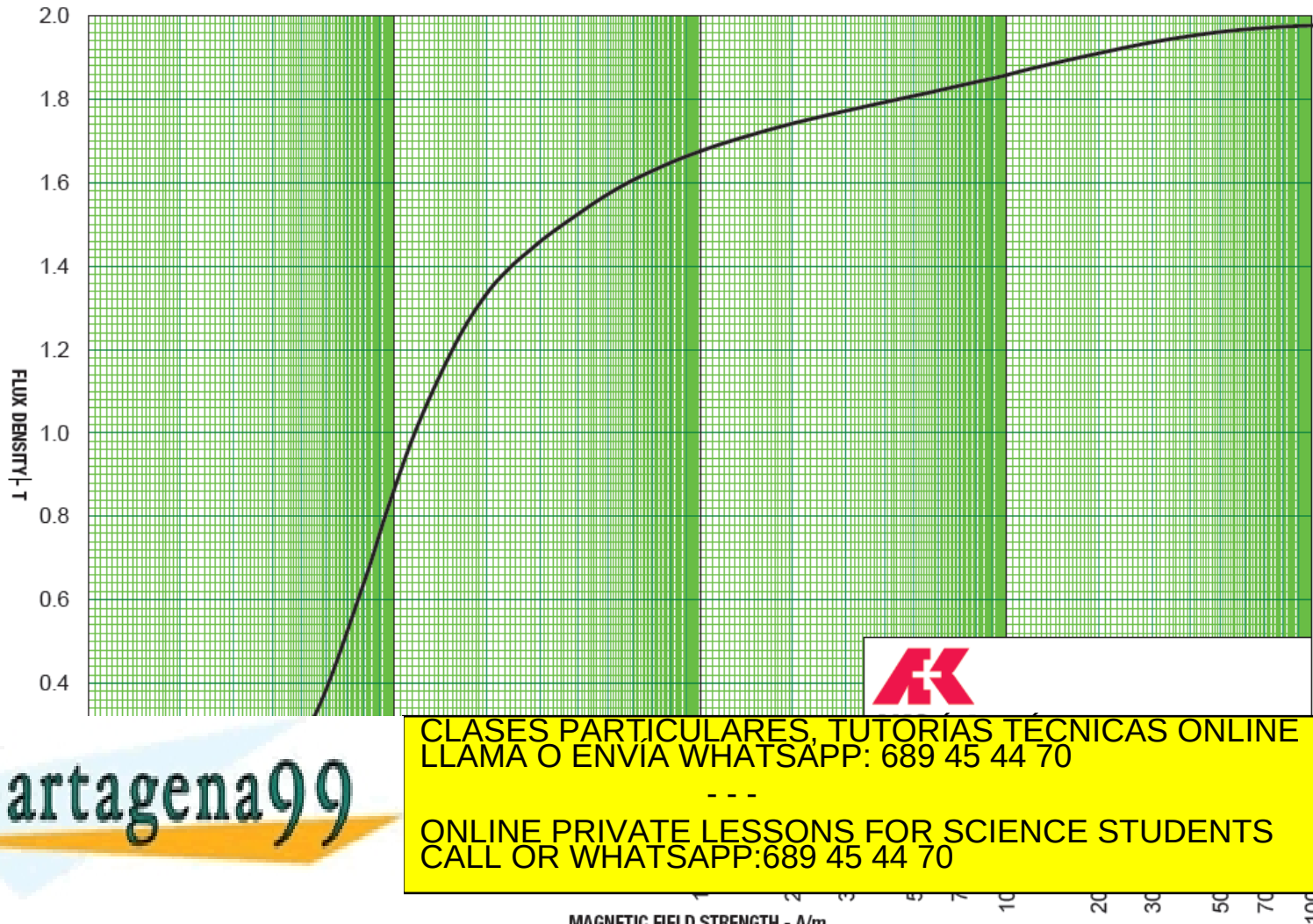


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Ciclo de histéresis

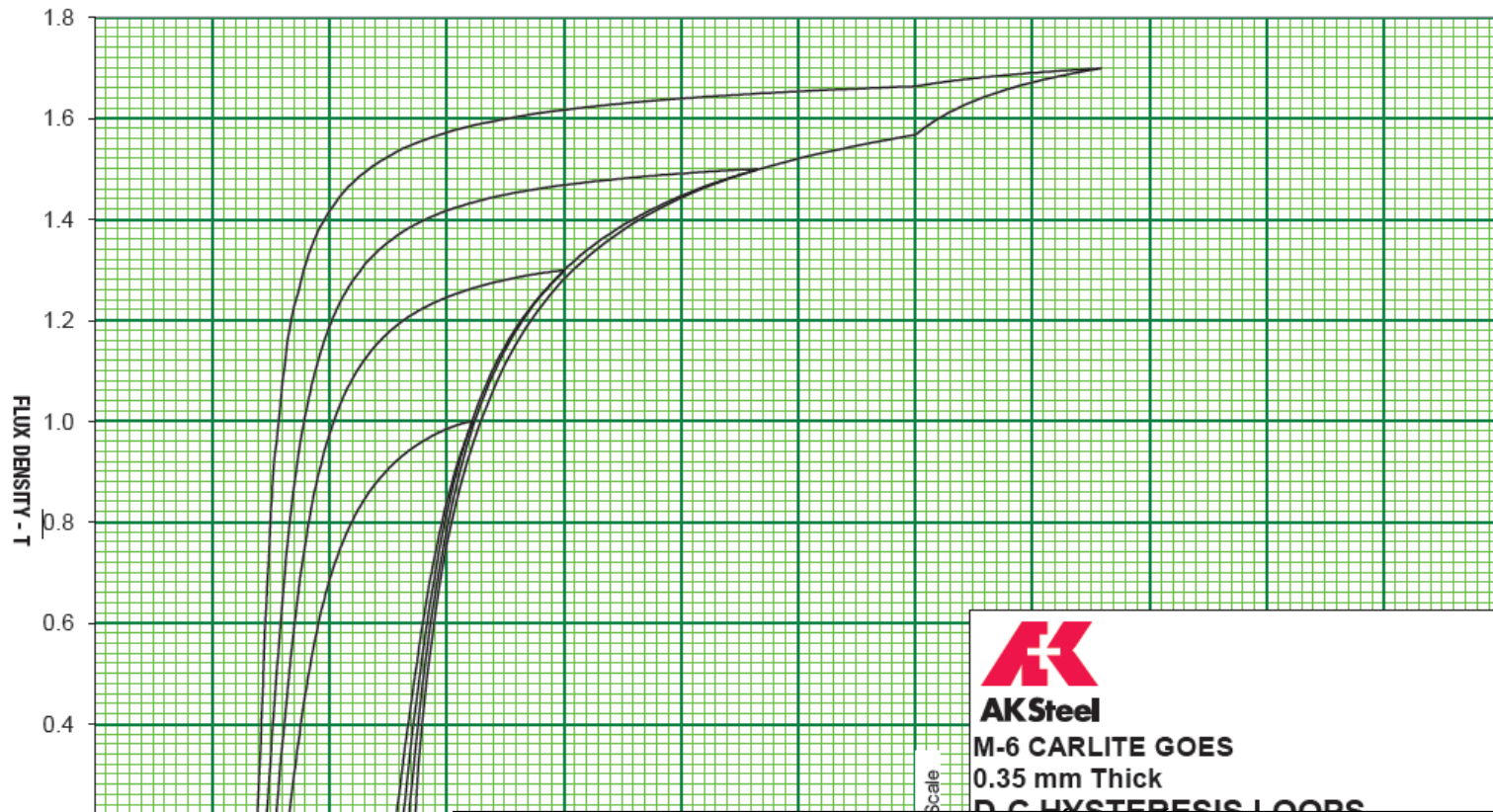


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

MAGNETIC FIELD STRENGTH - A/m

Ciclo de histéresis



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

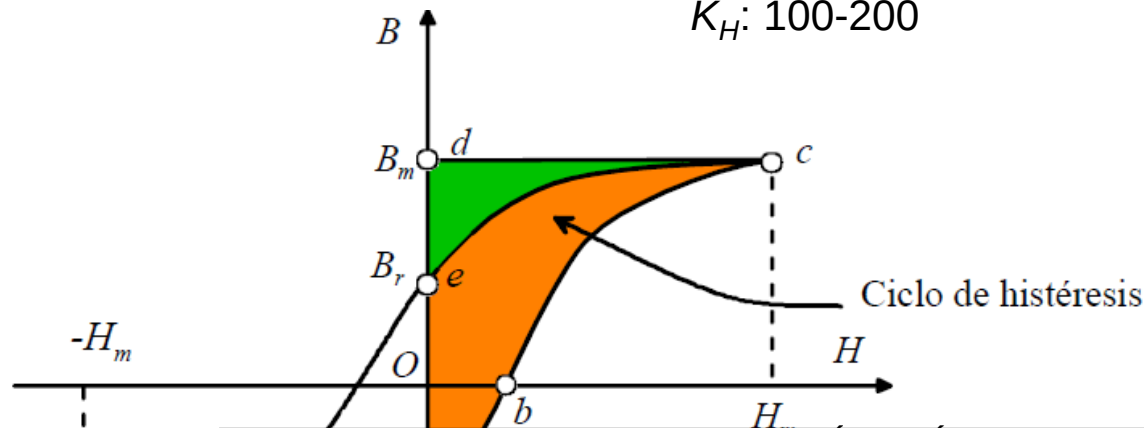
MAGNETIC FIELD STRENGTH - A/m

Pérdidas en materiales ferromagnéticos

- Pérdidas por histéresis. Energía absorbida por el núcleo disipada en forma de calor.

$$P_H = k_H f(\text{vol}) B_m^\alpha$$

Coeficientes de Steinmetz
 α_H : 1,5-2,5 típicamente 1,6
 K_H : 100-200

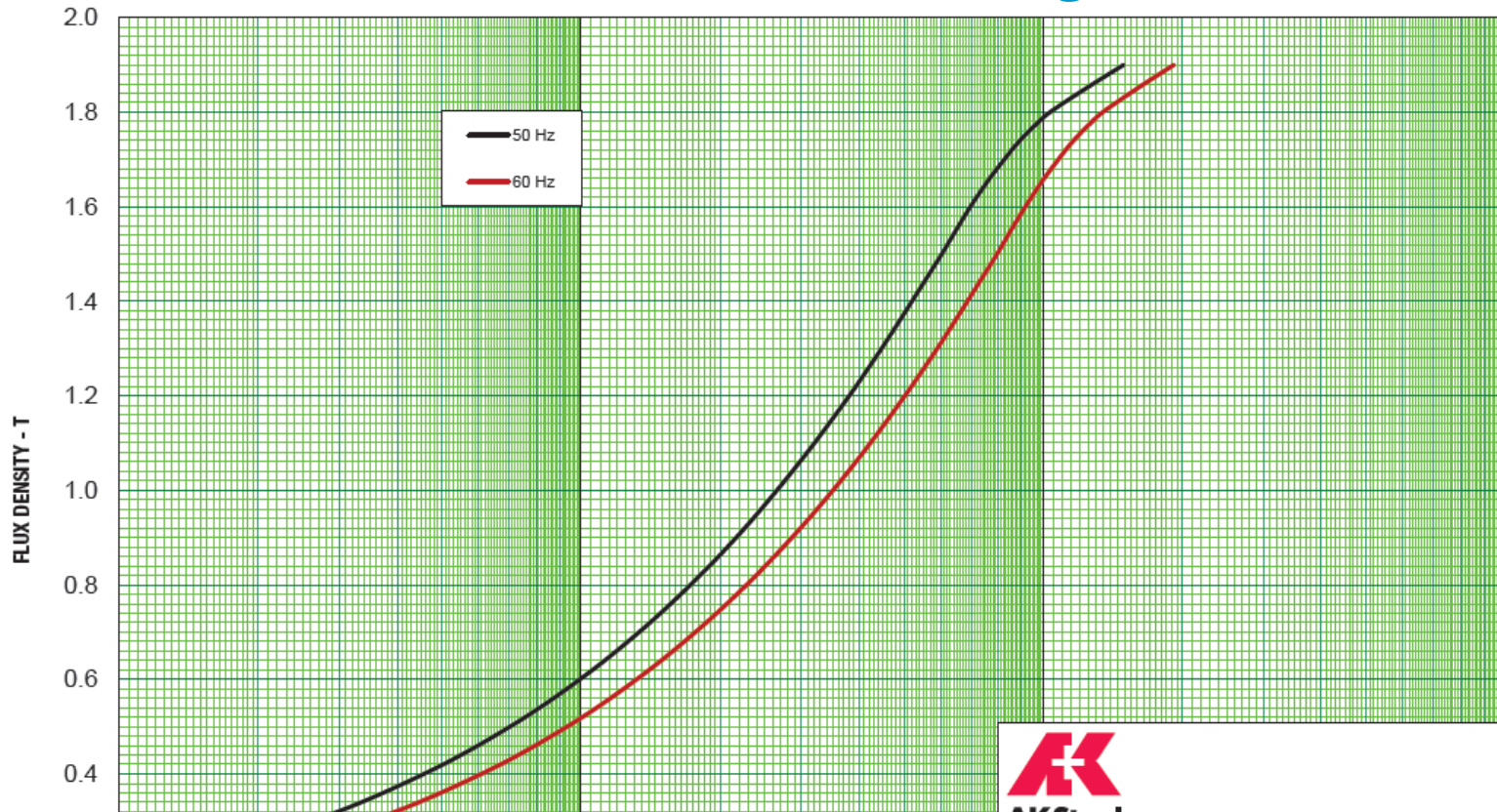


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Pérdidas en materiales ferromagnéticos

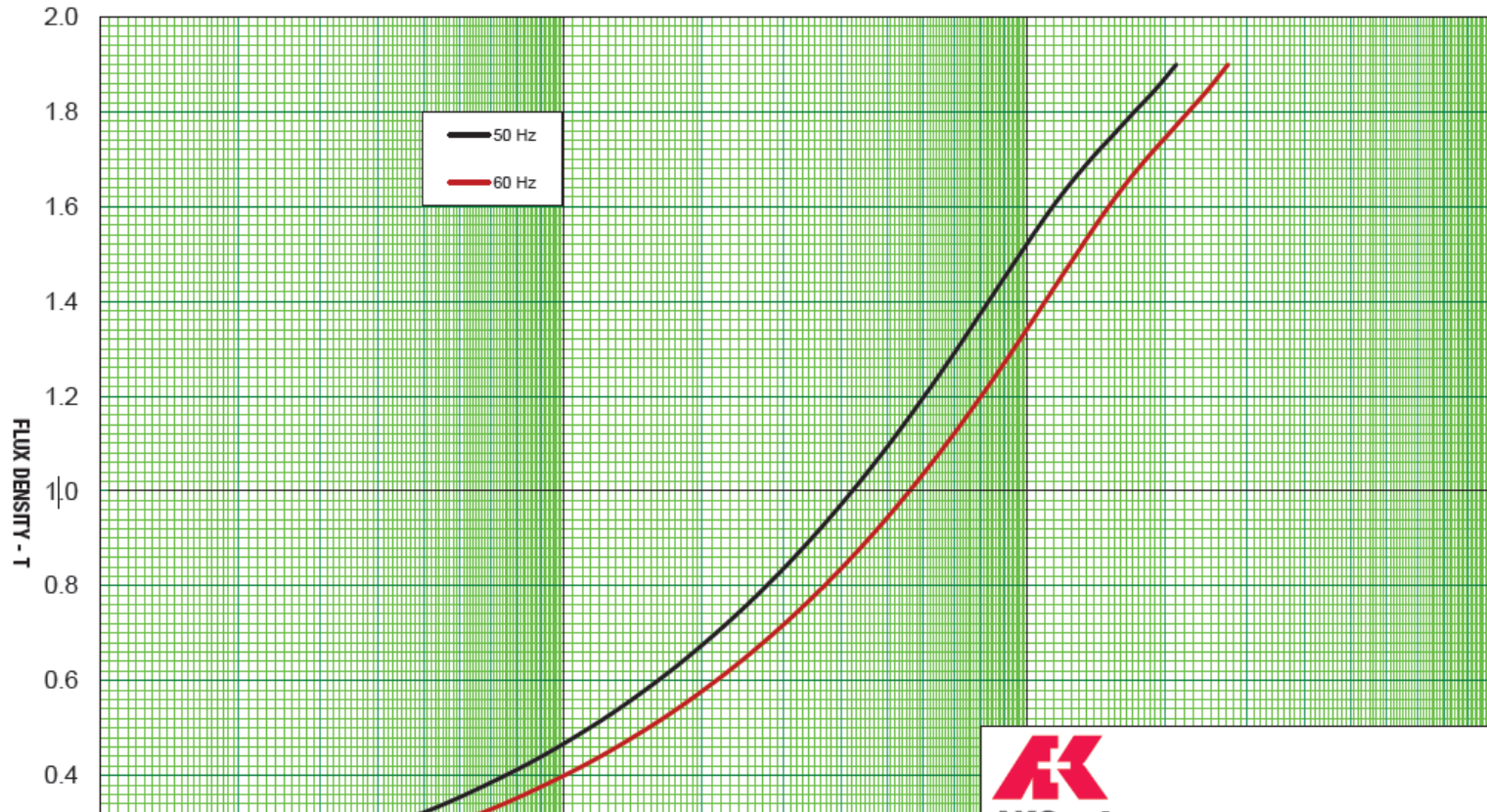


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Pérdidas en materiales ferromagnéticos



Cartagena99

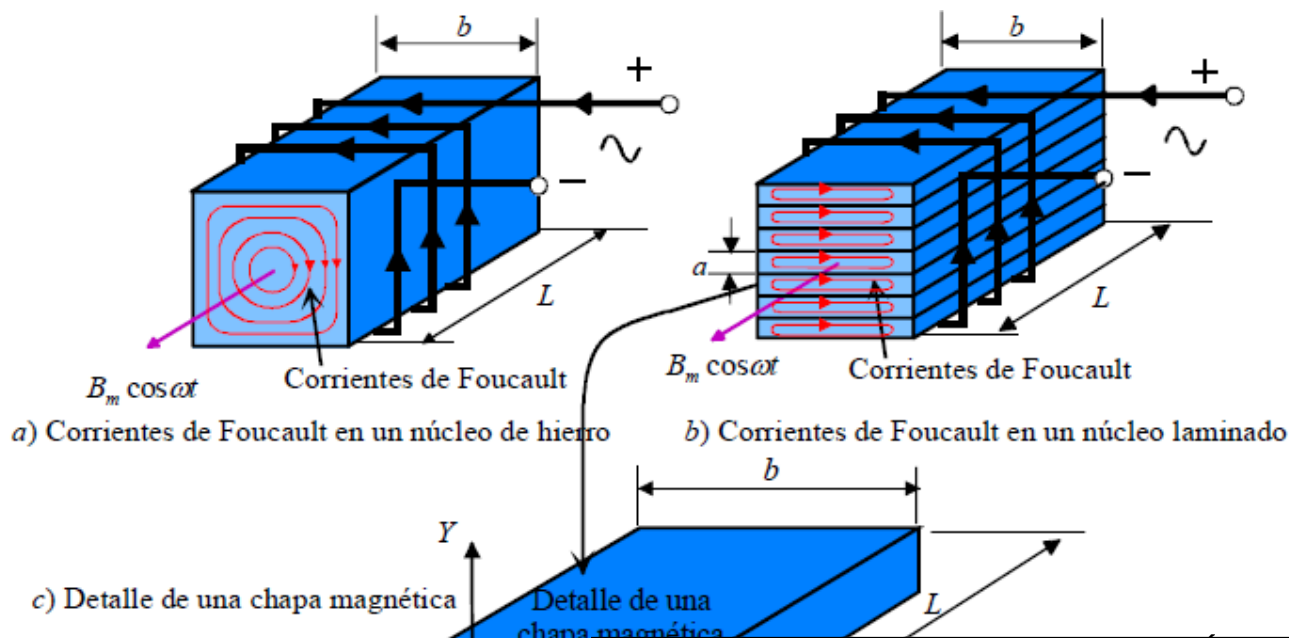
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CORE LOSS - W/kg

Pérdidas en materiales ferromagnéticos

- Pérdidas por corrientes de Foucault (*Eddy currents*)



$$P_F = k_F f^2 B_m^2 a^2 \sigma (\text{vol})$$

↓

$$k_F: \pi^2/6$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Pérdidas en materiales ferromagnéticos

- En máquinas eléctricas se deben emplear materiales magnéticos con ciclos de histéresis estrechos (bajas pérdidas por histéresis)
- El material debe ser de baja conductividad y fabricarse en chapas de pequeño espesor (bajas pérdidas por corrientes de Foucault)
- Pérdidas totales en W/kg para una $B [T]$ y $f [Hz]$ dadas.
- Las chapas magnéticas deben estar aisladas entre sí.

Cartagena99

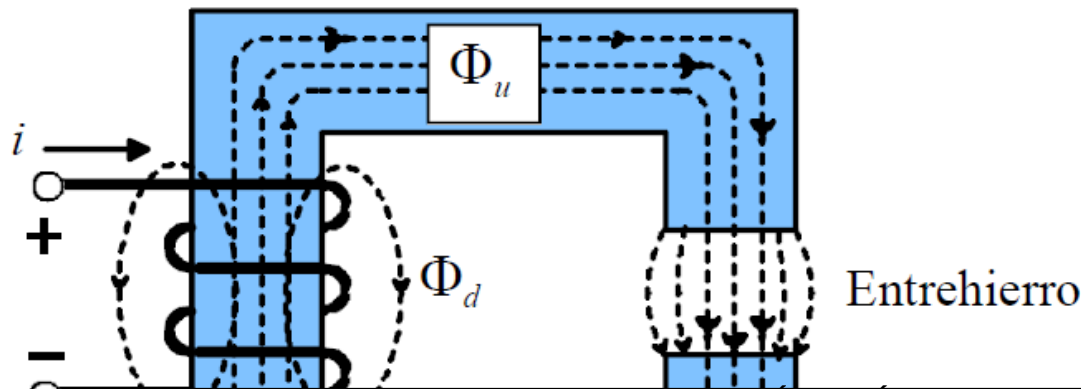
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Dispersión magnética

- El flujo magnético no se confina en el circuito magnético. Flujo de dispersión Φ_d o de Hopkinson.
- El flujo total Φ_t es la suma del flujo útil Φ_u y el de dispersión Φ_d , que puede ser de hasta el 30% del útil.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Potencias nominales

- Potencia asignada (nominal)
 - ✓ Generadores de CC: Vatios (W) en bornes de salida
 - ✓ Generadores de CA: Voltamperios (VA) y f.d.p (0,8) en bornes de salida.
 - ✓ Motores: potencia mecánica disponible en el eje, en Vatios (W)
 - ✓ Transformadores: potencia aparente en bornes del primario o del secundario en Voltamperios (VA)
- Tipo de servicio. Placa de características

3 Ⓢ Mot. 1LA7096-4AA11				
UD 0609/70322582-68				
IP 55	90L	IM B5	IEC/EN 60034	Th.Cl.F

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

32144	6401	SF 1.1
-------	------	--------

Cartagena99

Pérdidas en máquinas eléctricas

- Pérdidas eléctricas en los devanados. Pérdidas en el Cu P_{Cu} por efecto Joule. Dependen del material

$$P_{Cu} = \sum R_j i_j^2 = \sum \rho_j J_j^2 \cdot (vol)$$

- Pérdidas eléctricas en el hierro P_{Fe} . Histéresis y Foucault. Dependen del material

$$P_{Fe} = P_H + P_F = (k_H f B_m^\alpha + k_F f^2 B_m^2 a^2 \sigma) \cdot vol$$

- Pérdidas mecánicas P_{mec} en máquina rotativas
 - ✓ Rozamiento de **rodamientos y cojinetes**. Dependen del material
 - ✓ Fricción de escobillas. Dependen del material.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Pérdidas en máquinas eléctricas

- Pérdidas **fijas**. Independientes de la potencia manejada por la máquina.

$$P_f = P_{Fe} + P_m$$

- Pérdidas **variables**. Dependen de la potencia

$$P_v = P_{Cu}$$

Consecuencias:

- Calor generado en la máquina.
- Temperatura de régimen.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Rendimiento

- Rendimiento **!!! Sólo de la potencia activa!!!!**

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{Total}}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{útil}} + P_{\text{pérdidas}}}$$

- Para máquinas eléctricas

✓ $P_{\text{útil}} = V \cdot I \cos \varphi = S \cos \varphi$

✓ $P_{\text{pérdidas}} = P_f + P_v$

$$P_{\text{pérdidas}} = P_{Fe} + P_{Cu} + P_{mec} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_f = P_{Fe} + P_{mec} \\ P_v = P_{Cu} = R \cdot I^2 = R \cdot \left(\frac{S}{V} \right)^2 \end{array} \right. \Rightarrow P_v = bS^2$$

$$P_{\text{pérdidas}} = P_f + bS^2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Rendimiento

- Rendimiento decrece si el f.d. p. decrece.
- Rendimiento máximo, para un f.d. p. determinado:

$$\left. \frac{\partial \eta}{\partial S} \right]_{\cos \varphi = cte} = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{P_f - bS^2}{(S \cos \varphi + P_f + bS^2)^2} = 0$$

Pérdidas fijas igual a pérdidas variables

$$P_f = bS^2 \quad S_{\eta \text{máx.}} = \sqrt{\frac{P_f}{b}}$$

- Factor de utilización o índice de carga **C**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Conversión de energía en sistemas magnéticos

- Un campo magnético almacena energía o capacidad de realizar un trabajo, es decir, de aplicar una fuerza mecánica en las estructuras asociadas con él. **“Un imán atrae a un trozo de hierro”**.
- En máquinas eléctricas se deben emplear materiales magnéticos con especiales características. Ciclos de histéresis estrechos (bajas pérdidas por histéresis), baja conductividad y fabricarse en chapas de pequeño espesor (bajas pérdidas por corrientes de Foucault). Las chapas

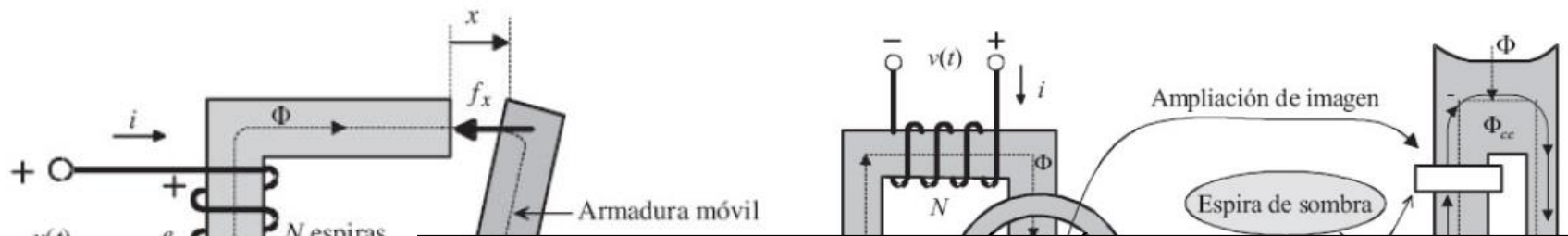
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Conversión de energía en sistemas magnéticos

- Movimiento de **traslación**
- El sentido de la fuerza tiende a reducir la reluctancia $\mathcal{R}$ y por tanto a reducir el entrehierro (el imán atrae al hierro)
- Electroimanes. Grúas, relés y contactores (relé trifásico)
 - ✓ En CC el flujo es constante y la fuerza también
 - ✓ En CA el flujo es senoidal y la fuerza también. Vibraciones.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

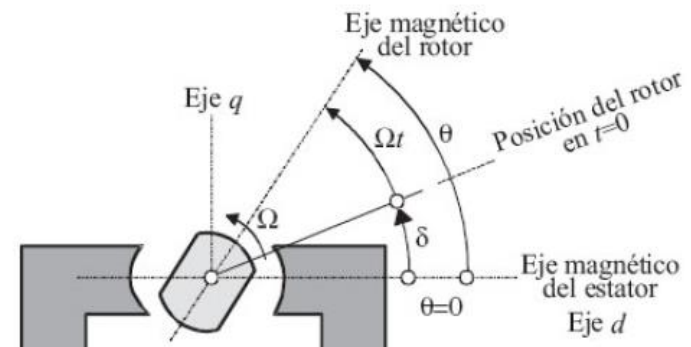
Cartagena99

Armadura fija

Conversión de energía en sistemas magnéticos

- Movimiento de **rotación**. La energía se transforma en par de giro
- El sentido del par tiende a reducir la reluctancia $\mathcal{R}$ y por tanto a alinear los ejes magnéticos de rotor y estátor. Motor de reluctancia.

- ✓ En CC el rotor tiende a la posición de mínima reluctancia (horizontal)
- ✓ Si se mueve el rotor con un motor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Tipos de máquinas eléctricas

- **Estáticas. Transformadores.** Transforman las magnitudes de la **energía eléctrica** de entrada dándolas modificadas a la salida.
- **Rotativas**
 - ✓ **Generadores.** Una **energía mecánica** mueve una bobina dentro de un campo magnético que induce una f.e.m ($\mathcal{V}$) que aplicada a un circuito produce una corriente (**energía eléctrica**). El campo que produce esa corriente se opone al movimiento, equilibrando la energía mecánica aportada.
 - ✓ **Motores.** Se aplica una corriente (**energía eléctrica**) en una bobina

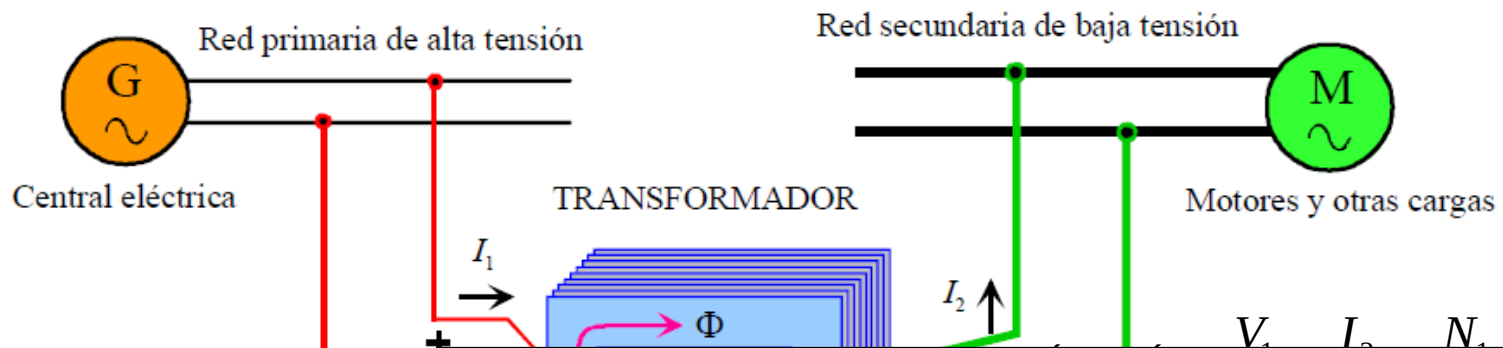
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Máquinas eléctricas estáticas

- Un **transformador** es una máquina estática en la que se conecta una fuente de **CA** de frecuencia f_1 a un devanado inductor (primario) y entrega energía eléctrica de CA de frecuencia f_2 a un circuito conectado al inducido (secundario)



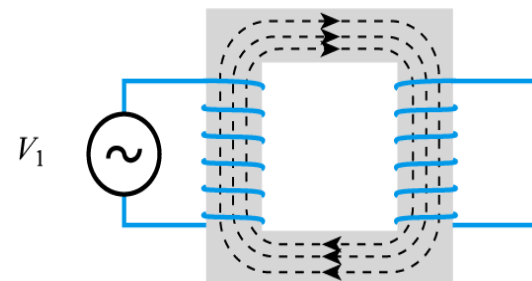
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

V_1 I_1 N_1

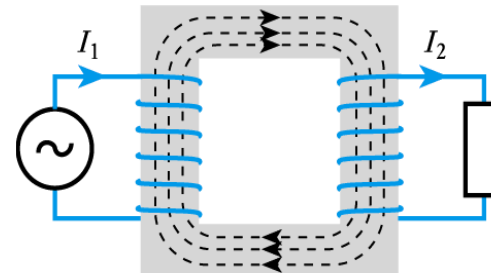
V_2 I_2 N_2

Máquinas eléctricas estáticas



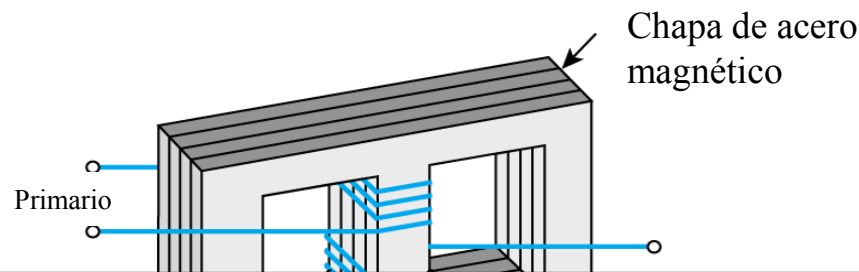
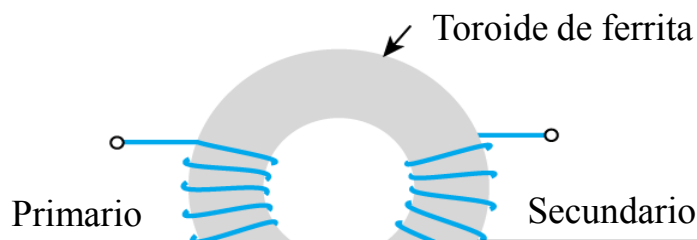
Transformador en vacío
(sin carga)

$$V_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} V_1$$



Transformador con
carga

$$V_2 \Rightarrow V_1 i_1 = V_2 i_2$$



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

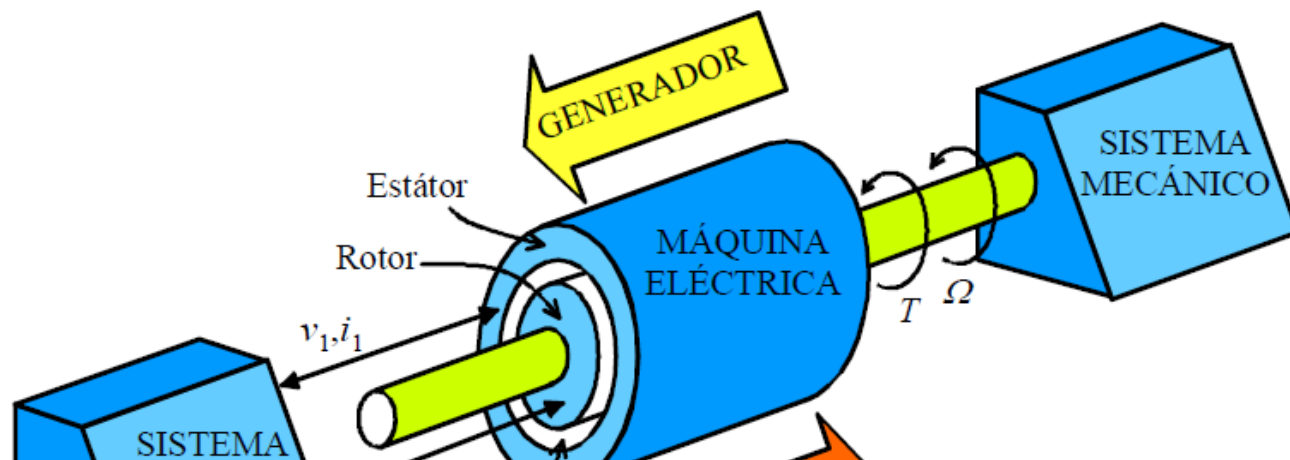
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

toroide de ferrita

acero magnético

Máquinas eléctricas rotativas

- El campo magnético existente en el **entrehierro** es el medio de acoplamiento entre el sistema eléctrico y el mecánico
- Devanado inductor e inducido



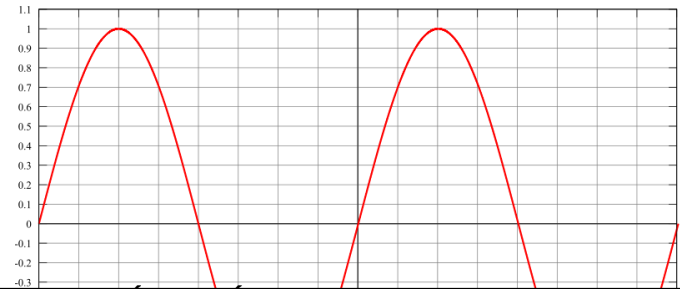
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Máquinas eléctricas rotativas

- Un par de polos magnéticos (imán) que gira (rotor) con velocidad angular constante ω_g genera un campo magnético sinusoidal de frecuencia ω visto desde un punto fijo en su entorno (estátor)
- En una espira fija respecto de los polos que giran se induce una tensión sinusoidal, debido al campo magnético variable



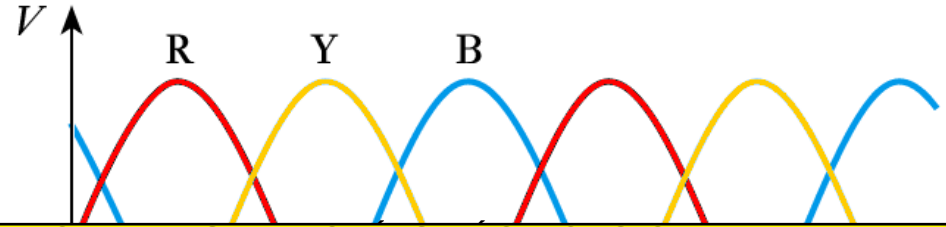
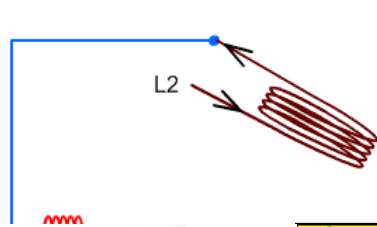
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Máquinas eléctricas rotativas

- Si existen p pares de polos (p imanes) girando con velocidad angular constante ω_g , se induce una tensión sinusoidal (fase) de frecuencia $\omega = p \cdot \omega_g$
- Si existen n espiras (o bobinas) colocadas con un ángulo determinado φ_g entre ellas, se genera un sistema de tensiones polifásico de igual frecuencia, y desfase eléctrico entre ellas de $\varphi = p \cdot \varphi_g$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

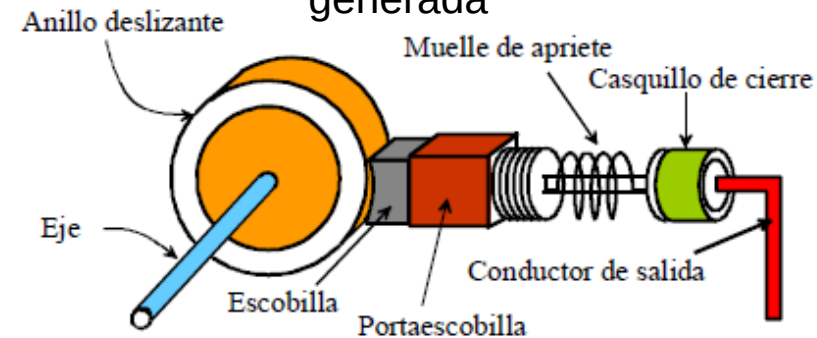
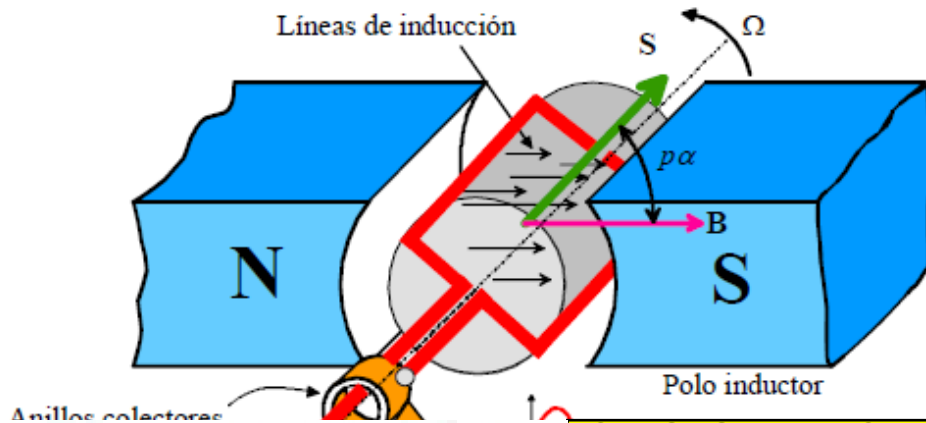
Cartagena99

Máquinas eléctricas rotativas

- Para recoger o aportar energía eléctrica al rotor se emplean **colectores**.
- Colector de anillos para máquinas de **CA**.

$$e = -\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}[BS \cos(p\phi_g)] \Rightarrow f = \frac{n \cdot p}{60} \Rightarrow$$

p: pares de polos
n: r.p.m. de giro
 ϕ_g : ángulo geométrico
f: frecuencia de la f.e.m generada



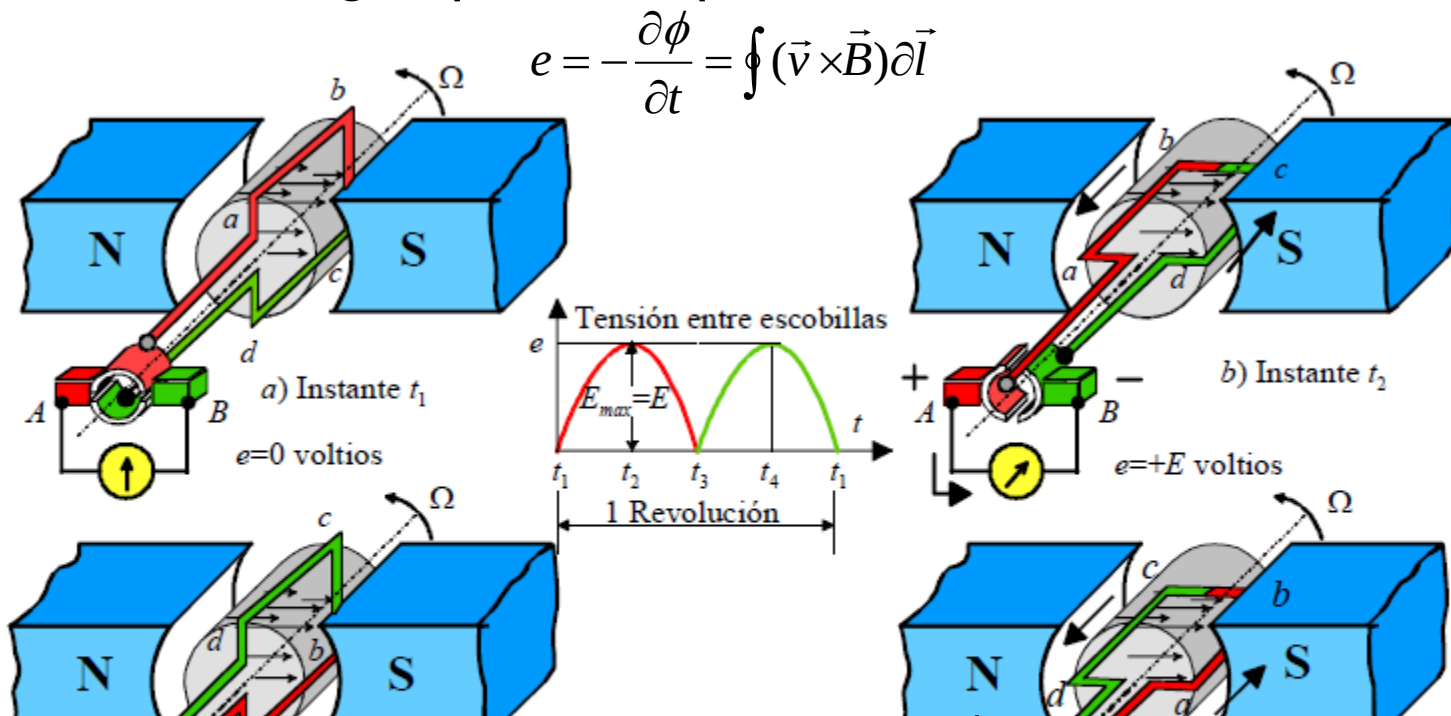
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Máquinas eléctricas rotativas

- Colector de delgas para máquinas de **CC**. **Rectificación**



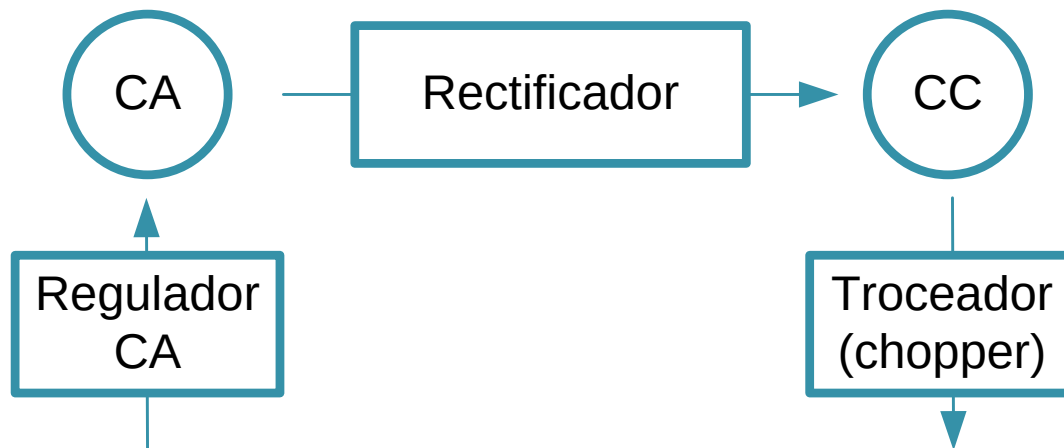
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Accionamientos

- Las dos formas útiles de la energía eléctrica es la CC y la CA
- Podemos convertir un tipo de energía en otra.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

- [621.313 FRA MAQ] Máquinas Eléctricas. Jesús Fraile Mora. McGraw-Hill. 6ª edición
- [621.3.049 MAR PRO] Prontuario para el diseño eléctrico y electrónico. Salvador Martínez García. Marcombo - Boixareu editores
- [621.3.049 TEO DEC VOL. 1 y 2] Teoría de Circuitos. V. Parra, J. Ortega, A. Pastor, A. Pérez. UNED

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

BIBLIOGRAFIA