



Tema 0 INTRODUCCION

The *desing* of electrical machines is a nature mixture of *art* and *science*

I. Boldea

The Induction Machine Handbook



Tema 0 INTRODUCCION



E.S. Hamdi.

DESIGN OF SMALL ELECTRICAL MACHINES

John Wiley

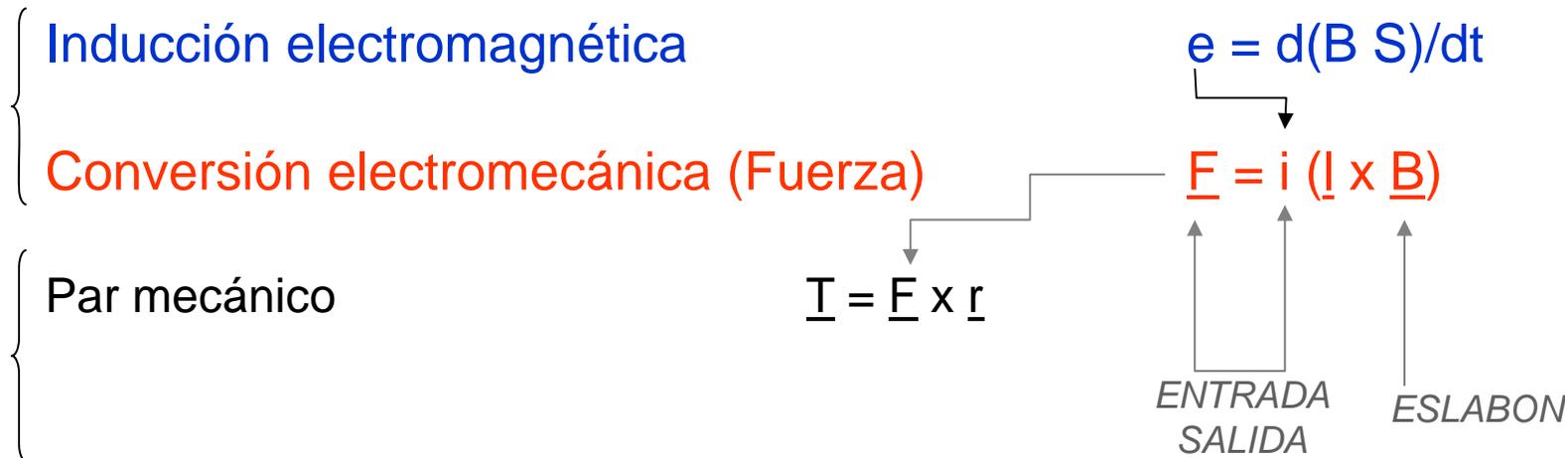


Tema 0 INTRODUCCION

COMPORTAMIENTO ELECTROMAGNETICO DE LA MAQUINA ELECTRICA

Se trata de aprovechar de forma inteligente los procesos que se ponen en juego en la *conversión*:

ELECTRO-MAGNETICA-ELECTRICA-MECANICA
(principio universal: **ACCION-REACCION**)





Tema 0 INTRODUCCION

Las ecuaciones de MAXWEL

Campo electromagnético- Máquinas eléctricas
Campos cuasi-estacionarios

$$\nabla \times \underline{E} = - \frac{\partial \underline{B}}{\partial t}$$

Ley de inducción de Faraday

$$\nabla \times \underline{E} = - \frac{\partial \underline{B}}{\partial t}$$

Ley de inducción de Faraday

$$e = - d\Phi/dt = - s dB/dt - B ds/dt$$

$$\nabla \times \underline{H} = \underline{J}$$
$$\nabla \cdot \underline{B} = 0$$

Ley de Ampere

(Ley de Gauss)

$$\nabla \times \underline{H} = \underline{J}$$

Ley de Ampere

$$\nabla \cdot \underline{B} = 0$$

$$\sum_{\text{Diferentes tramos}} |H| = \sum I_{\text{Conductores-encerrados por } l}$$

las líneas de inducción son siempre cerradas, caracter **solenoidal**

Las ecuaciones constitutivas del medio

Materiales

Medios conductores: $\underline{J} = \sigma \underline{E}$ [A/m²] (ley de Ohm)

Medios Magnéticos: $\underline{B} = \mu \underline{H}$ [T = Wb/m²]



Tema 0 INTRODUCCION

Dimensionamiento circuito eléctrico

Ley de inducción de Faraday

$$e = - d\Phi/dt = - s dB/dt - B ds/dt$$

Materiales conductores: $\underline{J} = \sigma \underline{E}$ [A/m²] (ley de Ohm)

$$e = i r$$

ley de Ohm

Dimensionamiento circuito magnético

Ley de Ampere

$$\nabla \underline{B} = 0$$

$$\sum_{\text{Diferentes tramos}} |H| l = \sum I_{\text{Conductores-encerrados por } l}$$

las líneas de inducción son siempre cerradas, caracter **solenoidal**

Medios Magnéticos: $\underline{B} = \mu \underline{H}$ [T = Wb/m²]

$$\mathcal{J} = \Phi R$$

ley de Hopkinson



Tema 0 INTRODUCCION

Aspectos **electromagnéticos** de la Máquina Eléctrica (ME)

(f.e.m.) $e_m = - \underline{B} \underline{ds}/dt$

(f.c.e.m.) $e_m = + B d(l x)/dt = + B l v$

Considerando la energía mecánica, tanto para la obtención **de movimiento lineal**, como **de rotación**:

$$P_{me} = \mathbf{F} v = \mathbf{F} r (v/r) = \mathbf{T} \omega$$

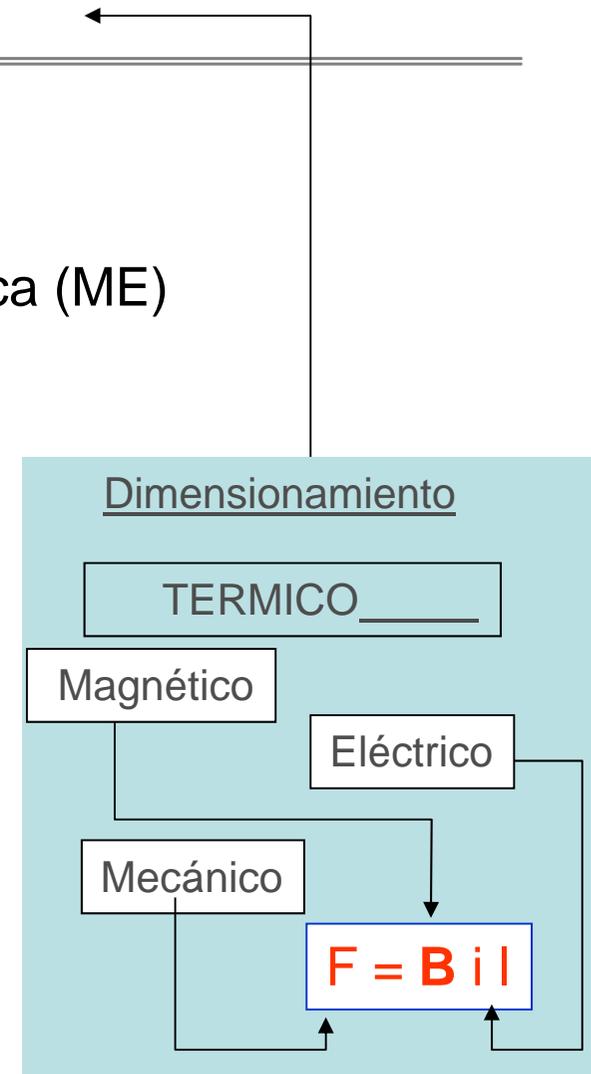
Donde la **conversión de energía electro-mecánica** :

$$P_e = e_m i = (B l v) i = (B i l) v = \mathbf{F} v = P_{me} \quad \rightarrow$$

Máquinas eléctricas rotativas

Acción generadora (conversión mecanoeléctrica: $P_{me} \Rightarrow P_e$)

Acción motora (conversión electromecánica: $P_{me} \leftarrow P_e$)





Tema 0 INTRODUCCION

Constitución (**materiales**) de la Máquina Eléctrica (ME)

- Componentes Mecánicas

- **Circuito ELECTRICO**

**DEVANADOS
AISLANTES**

- **Circuito MAGNETICO**

**CHAPA MAGNETICA
(IMANES PERMANENTES)**

COLECTOR

Anillos

Delgas



Tema 0 INTRODUCCION

Los materiales utilizados en una máquina eléctrica pueden agruparse en:

- 1) Materiales magnéticamente blandos
- 2) **Materiales conductores eléctricos**
- 3) **Materiales aislantes**
- 4) Imanes permanentes

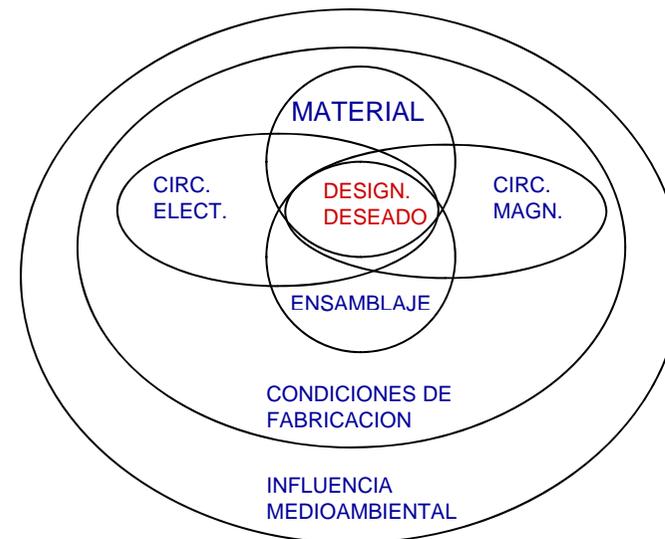


Tema 0 INTRODUCCION

El diseño de la máquina eléctrica es una actividad **multidisciplinar**, ya que involucra:

- Diseño electro-magnético,
- Selección de materiales (costes/propiedades),
- Análisis térmico y mecánico,
- Técnicas/procesos de fabricación/producción.
- Costes de fabricación

Se pone de manifiesto que los criterios de diseño dependen fuertemente de la EXPERIENCIA al tener que aunar objetivos contradictorios





Tema 0 INTRODUCCION

El diseño de la máquina eléctrica es una actividad *multidisciplinar*, ya que involucra:

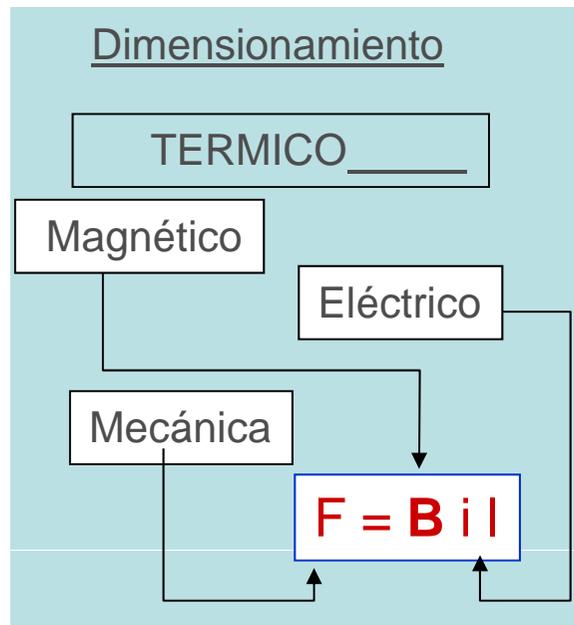
	Restricción Especificaciones	Restricción Diseño	Variables Actuación
CRITERIOS	Dimensiones Par Velocidad Tensión Corriente Compatibilidad Ambiental	Magnéticas Eléctricas Térmicas Mecánicas	Costes Comportamiento Masa Fiabilidad Facilidad constructiva



Tema 0 INTRODUCCION

¿Cuáles son las **leyes fundamentales** que relacionan las características electromagnéticas de las máquinas eléctricas a sus principales dimensiones geométricas?

¿Cuáles son las magnitudes que caracterizan la utilización de los **materiales** activos en la construcción de una máquina eléctrica?



Una de las magnitudes importantes a considerar
En la primeras etapas de diseño es: **B**

Esto representa el principal objetivo en la iniciación del cálculo electromagnético de la ME.

Las herramientas disponibles son:

- Enfoque clásico: **Cálculo Analítico** (fuertes simplificaciones)
- Paquetes **cálculo numéricos** en entornos CAD (MEF-CAD)



Tema 0 INTRODUCCION

Primeramente se definen las principales magnitudes:

- Geométricas
- Eléctricas
- Magnéticas

Siempre partiremos de especificaciones técnicas (DEL CLIENTE):

**POTENCIA NOMINAL
TENSION
VELOCIDAD NOMINAL
CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD
TEMPERATURA
RENDIMIENTO
F.D.P.
CLASE DE SERVICIO
FORMA CONSTRUCTIVA**



Tema 0 INTRODUCCION

Densidad (Carga específica B [Wb/mm²]; J [A/mm²]; E [V/m])
frente a magnitudes globales (Φ [Wb]; i [A]; V [V])

Aspectos a destacar en el diseño y cálculo de circuitos magnéticos
(Máquina eléctrica rotativa)

En el entrehierro (B)

conversión de energía eléctrica a energía mecánica y viceversa

- **Método analítico** (clásico) frente a métodos **numéricos** (de actualidad)

Se sustenta en el concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)

Experiencia

Intuición

Simplificaciones significativas

Coefficientes de corrección avalados por la experiencia



Tema 0 INTRODUCCION

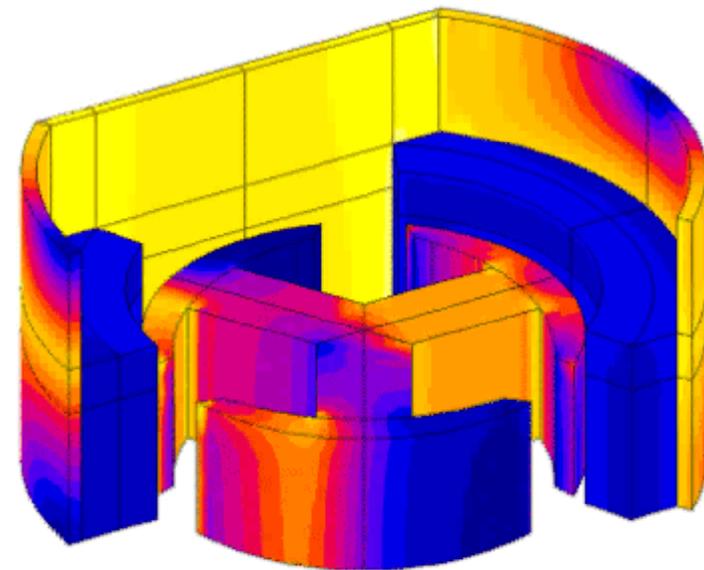
Densidad (Carga específica B [Wb/mm^2]; J [A/mm^2])
frente a magnitudes globales (Φ [Wb]; i [A])

Aspectos a destacar en el diseño y cálculo de circuitos magnéticos

En el entrehierro (B)

conversión de energía eléctrica a energía mecánica y viceversa

- Métodos **numéricos** (de actualidad)



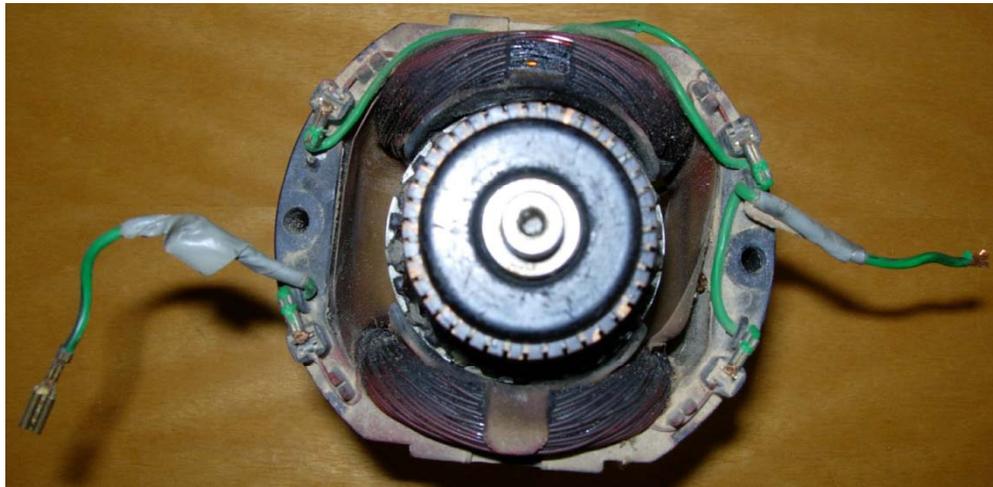


Tema 0 INTRODUCCION

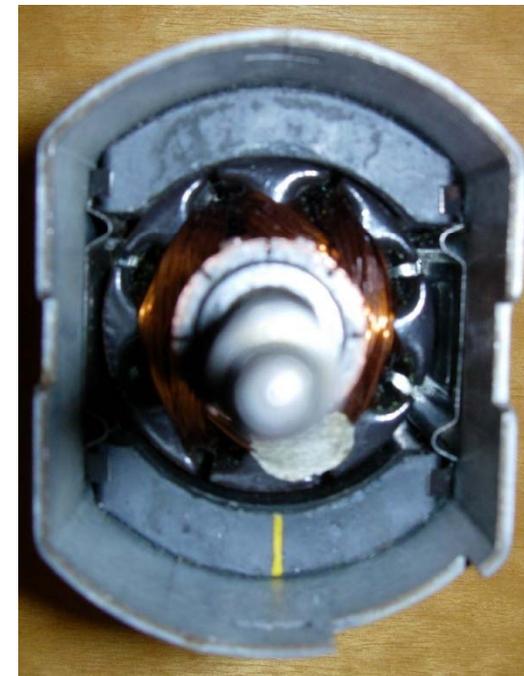
- **Método analítico** (clásico) frente a métodos numéricos (de actualidad)

Se sustenta en el concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)



Motor de c.c. (DC)



Motor de imanes permanentes (PM)

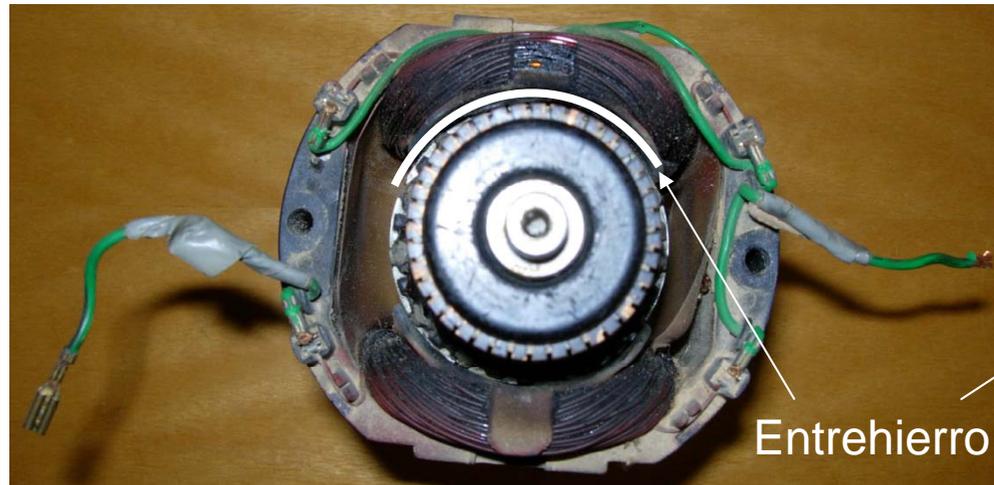


Tema 0 INTRODUCCION

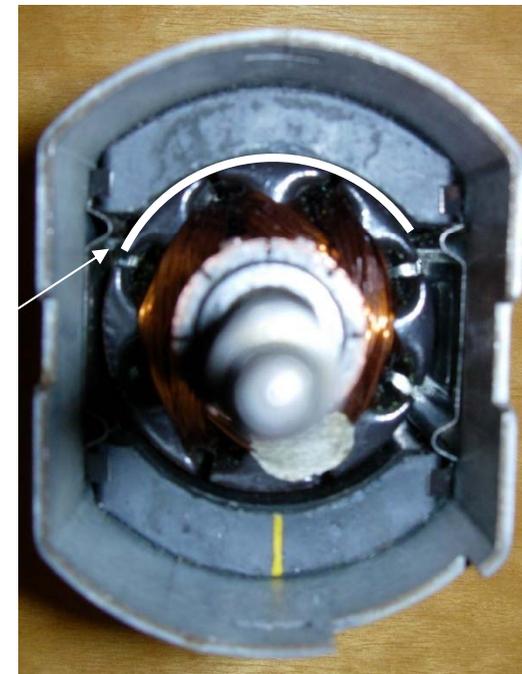
- **Método analítico** (clásico) frente a métodos numéricos (de actualidad)

Se sustenta en el concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)



Motor de c.c. (DC)



Motor de imanes permanentes (PM)



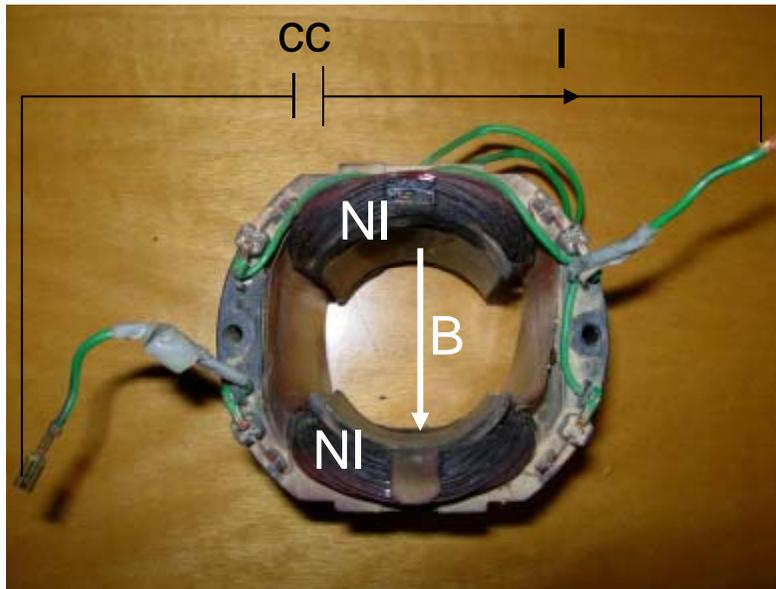
Tema 0 INTRODUCCION

- **Método analítico** (clásico) frente a métodos numéricos (de actualidad)

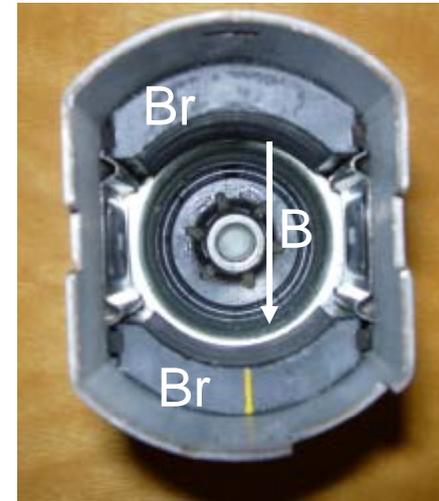
Se sustenta en el concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)

INDUCTOR



Motor de c.c. (DC)



Motor de imanes permanentes (PM)



Tema 0 INTRODUCCION

- **Método analítico** (clásico) frente a métodos numéricos (de actualidad)

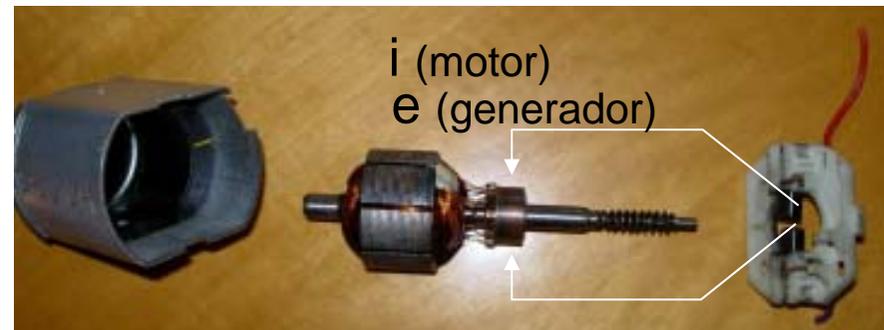
Se sustenta en el concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)

INDUCIDO



Motor de c.c. (DC)

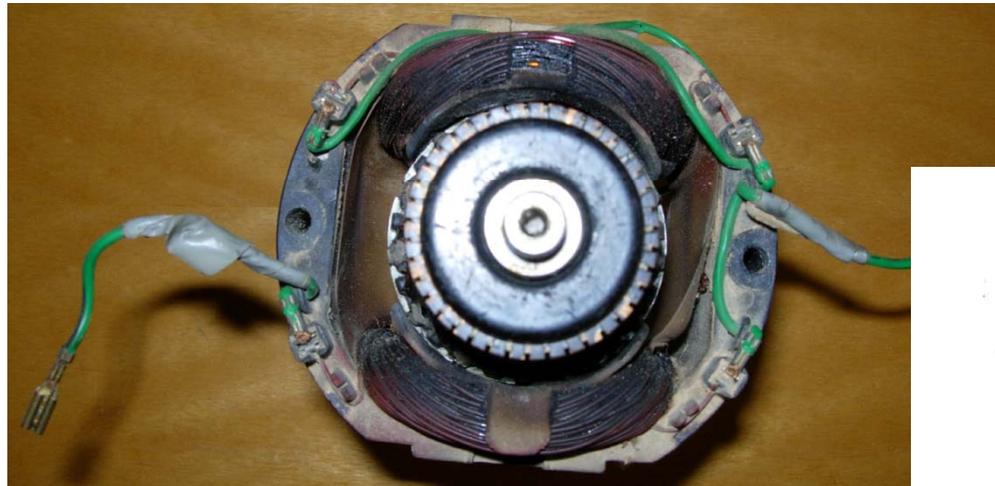
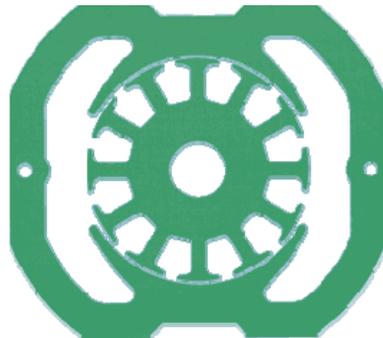


Motor de imanes permanentes (PM)



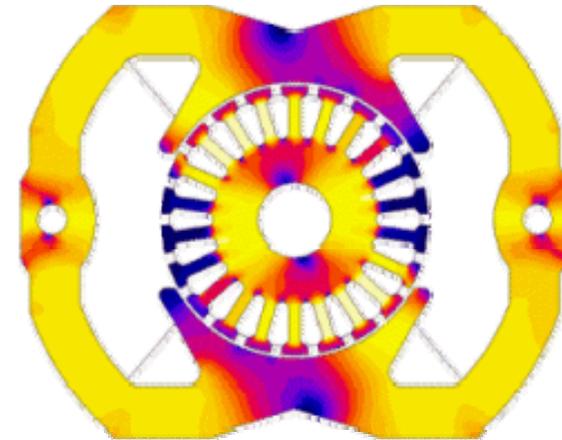
Tema 0 INTRODUCCION

Representación Circuito magnético



Motor de c.c. (DC)
Circuito magnético REAL

- Método Numérico (actualidad)



- Método analítico (clásico)

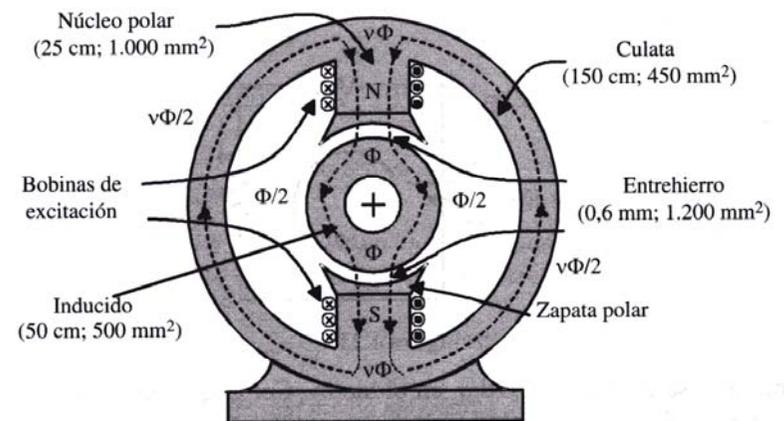


Figura 1.12.



Tema 0 INTRODUCCION

- Método analítico (clásico)

concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)

Representación Circuito magnético

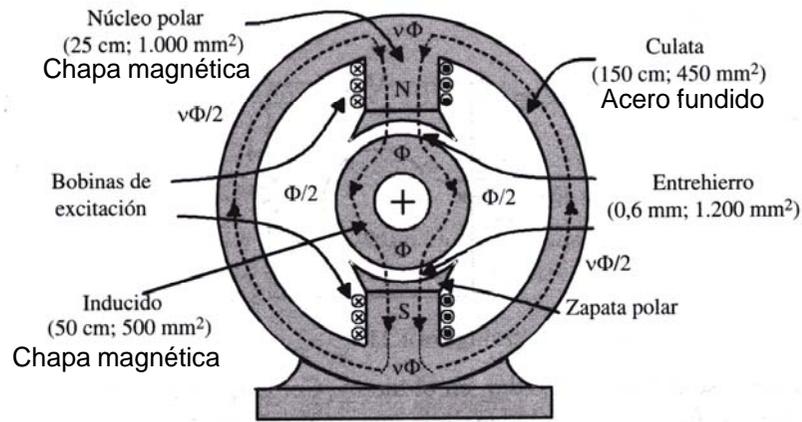


Figura 1.12.

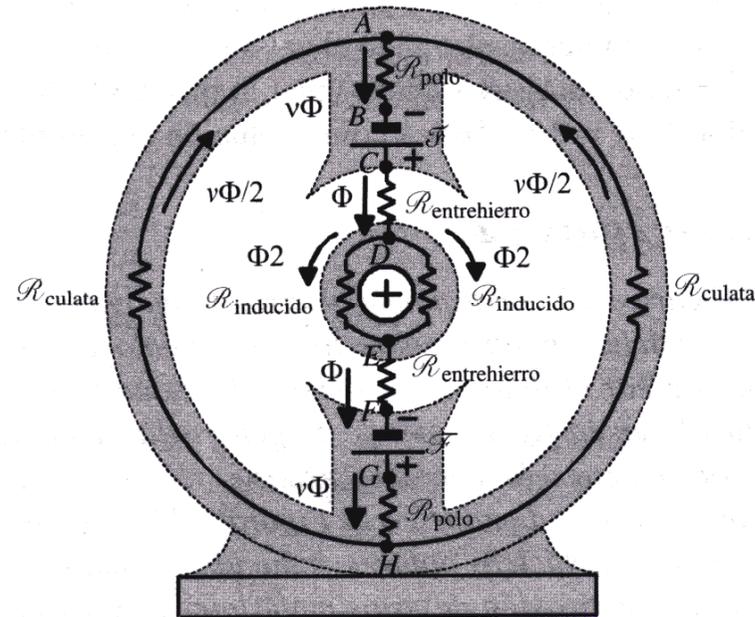


Figura 1.13.



Tema 0 INTRODUCCION

- Método analítico (clásico)

concepto de CIRCUITO MAGNÉTICO EQUIVALENTE

Ejemplo (1.4)

Con el circuito magnético de la máquina de c.c., estimar los A-v por polo necesarios para asegurar una inducción en el entrehierro de 1 Tesla, conociendo que el efecto borde supone la disminución del 15% del flujo en el entrehierro.

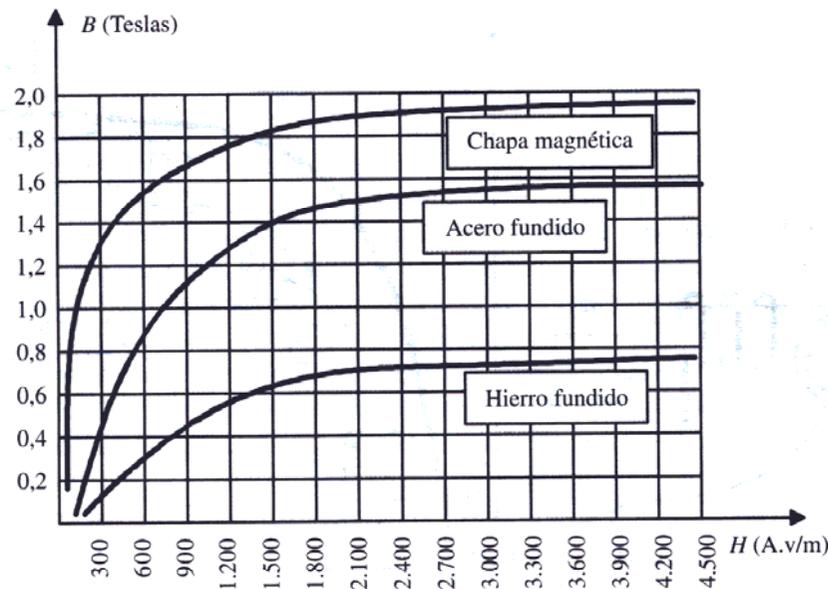


Figura 1.3. Curvas de imanación de diversos materiales.

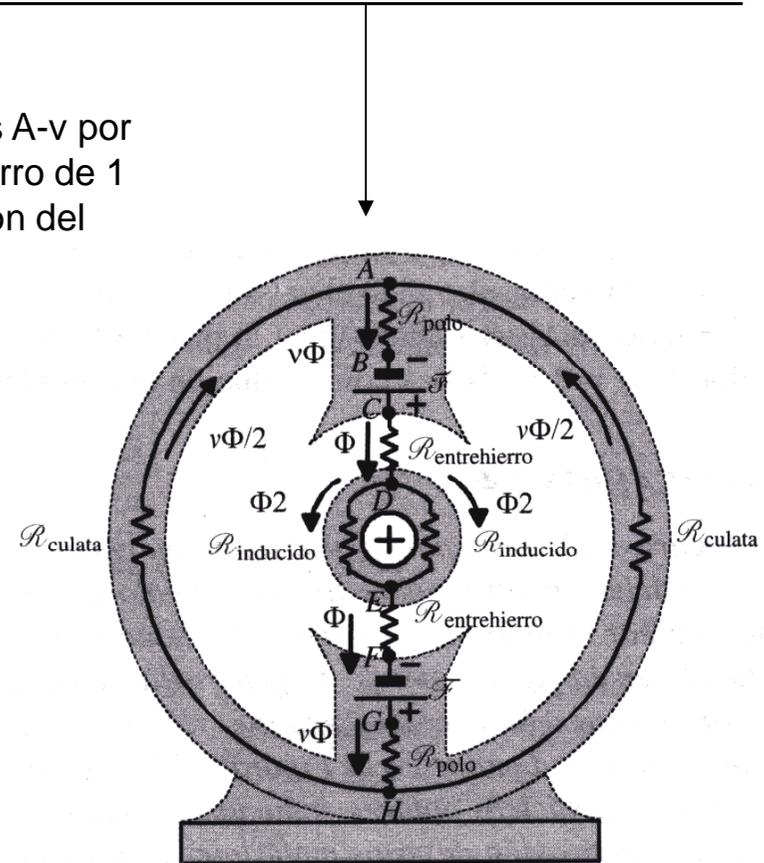


Figura 1.13.