

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

TEMA 1

Relaciones, variables y leyes del electromagnetismo

INDUSTRIALES ETSII | UPM

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Teorema rotacional

$$\iint_{\partial S} \vec{r} \text{ot } \vec{A} \, \partial s = \oint \vec{A} \, \partial l$$

Campo Eléctrico (Cargas-estáticas)

(campo fuerza) $\vec{E} \left(\frac{\vec{f}}{q} \right)$

(potencial) $e \text{ (fem)} \int \vec{E} \, dl$

(densidad campo) $\vec{J} \left[\sigma \vec{E} \right]$

(presión)

(circulación) $i \text{ (corriente)} \int \vec{J} \, ds$

Campo Magnético (Cargas-dinámicas)

\vec{H}

$fmm \int \vec{H} \, dl$

$\vec{B} \left[\mu \vec{H} \right]$

$\Phi \text{ (flujo)} \int \vec{B} \, ds$

MAXWELL

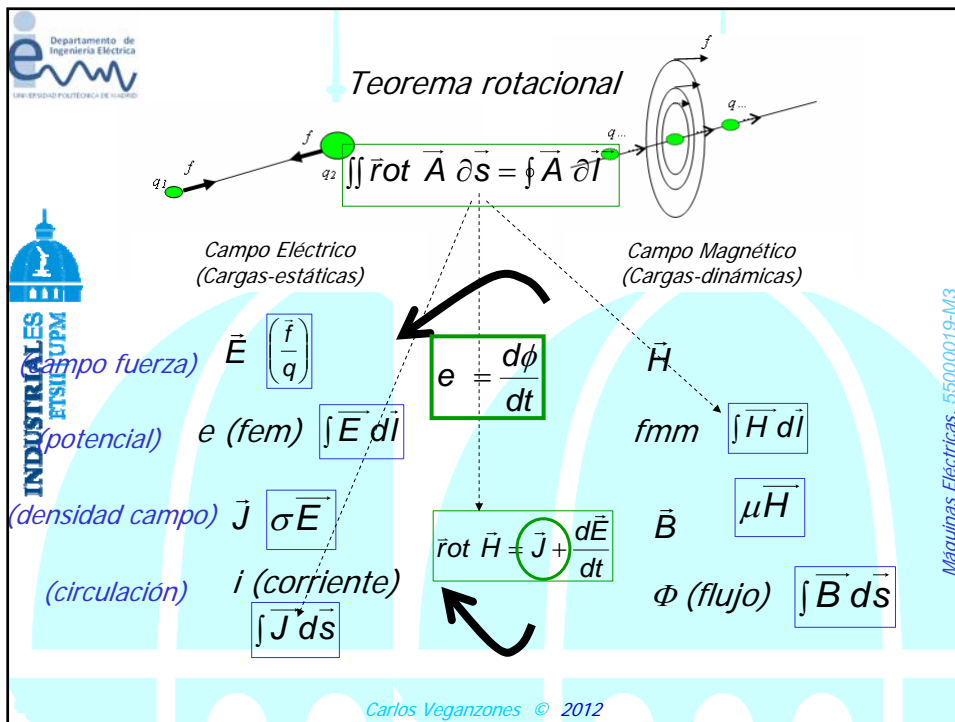
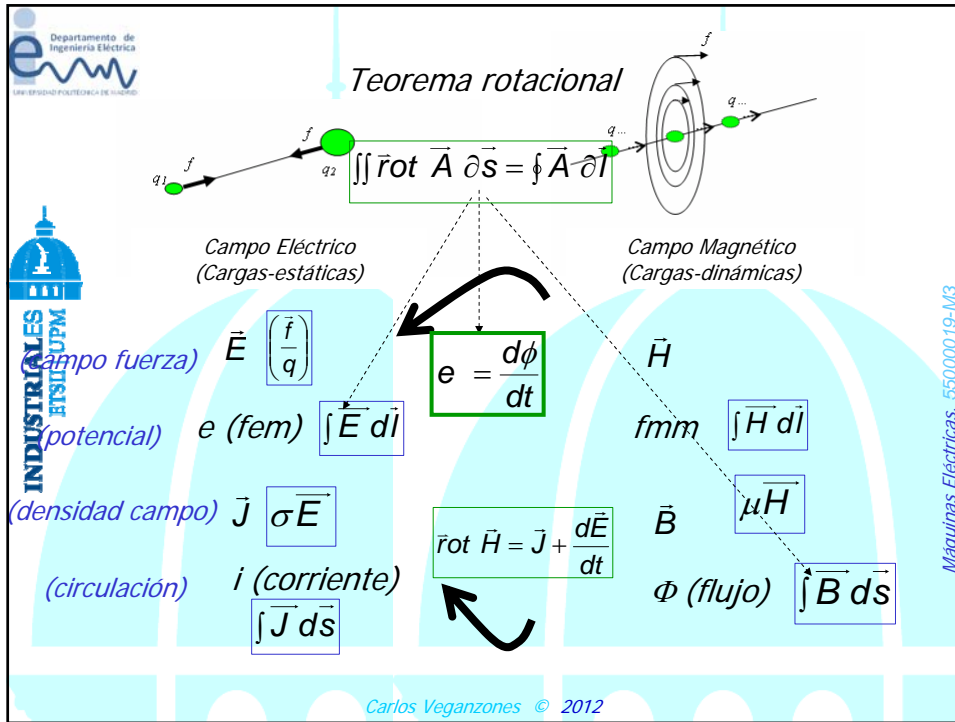
$$\vec{r} \text{ot } \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

$$\vec{r} \text{ot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{d\vec{E}}{dt}$$

INDUSTRIALES ETSII | UPM

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012



Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE HUASCARÁN

Teorema rotacional

$$\iint \text{rot } \vec{A} \cdot d\vec{s} = \oint \vec{A} \cdot d\vec{l}$$

Campo Eléctrico (Cargas-estáticas)

(campo fuerza) $\vec{E} \left(\frac{\vec{f}}{q} \right)$

(potencial) $e \text{ (fem)} \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$

(densidad campo) $\vec{J} \sigma \vec{E}$

(circulación) $i \text{ (corriente)} \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$

Campo Magnético (Cargas-dinámicas)

\vec{H}

$fmm \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$

$\vec{B} \mu \vec{H}$

$\Phi \text{ (flujo)} \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

$e = \frac{d\phi}{dt}$

$i = \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$

Carlos Veganzones © 2012

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE HUASCARÁN

(LENZ) FARADAY

AMPERE

Campo Eléctrico (Cargas-estáticas)

$\vec{E} \left(\frac{\vec{f}}{q} \right)$

$e \text{ (fem)} \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$

$\vec{J} \sigma \vec{E}$

$i \text{ (corriente)} \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$

Campo Magnético (Cargas-dinámicas)

\vec{H}

$fmm \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$

$\vec{B} \mu \vec{H}$

$\Phi \text{ (flujo)} \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

$e = \frac{d\phi}{dt}$

$i = \int \vec{H} \cdot d\vec{l}$

Carlos Veganzones © 2012

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INDUSTRIALES ETSII UPM

Paralelismo análisis de los Circuitos Eléctricos y Magnéticos

Circuito magnético

f_{mm} & Φ_{S-fe}

¿?

Circuito eléctrico

$R_{el} = \frac{1}{\sigma_{el}} \frac{l_{ce}}{S_{ce}}$

U & I

$U = R_{el} I$

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INDUSTRIALES ETSII UPM

Paralelismo análisis de los Circuitos Eléctricos y Magnéticos

$N i = H_A l_A$

$N i = \frac{B_A}{\mu_{fe}} l_A = \frac{\Phi_{S_{fe}}}{S_{fe} \mu_{fe}} l_A$

$f_{mm} \rightarrow \mathcal{R}$

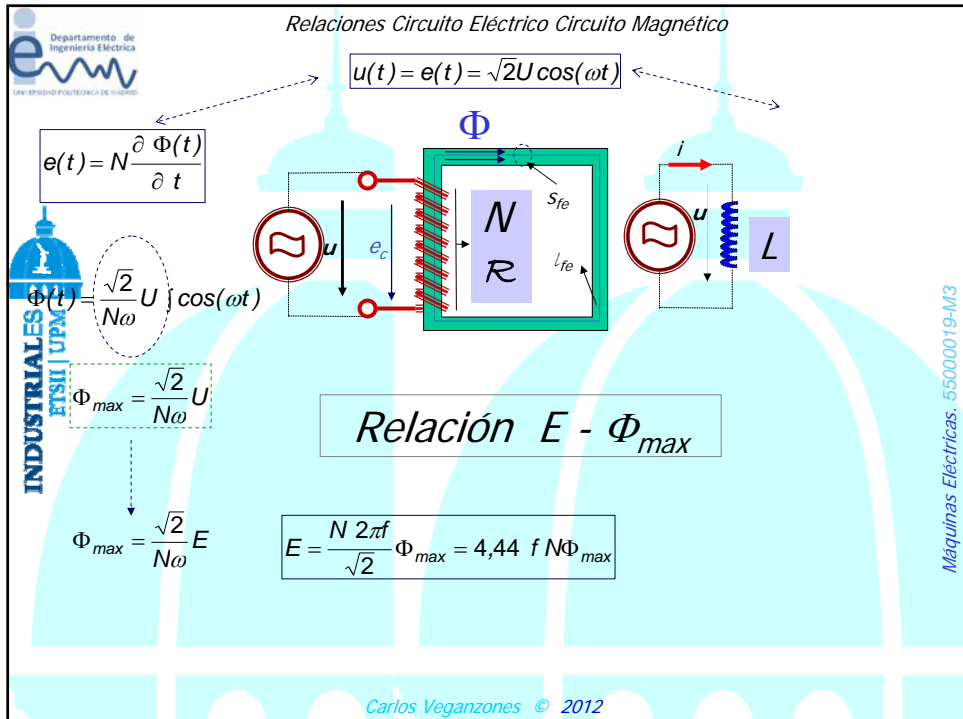
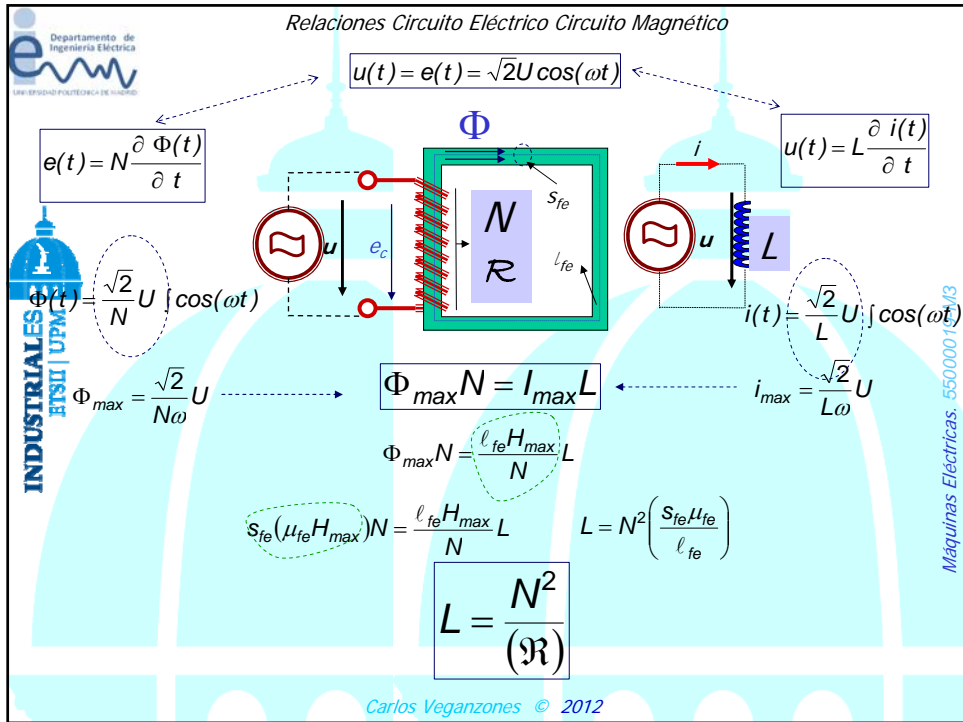
$R_{el} = \frac{1}{\sigma_{el}} \frac{l_{ce}}{S_{ce}}$

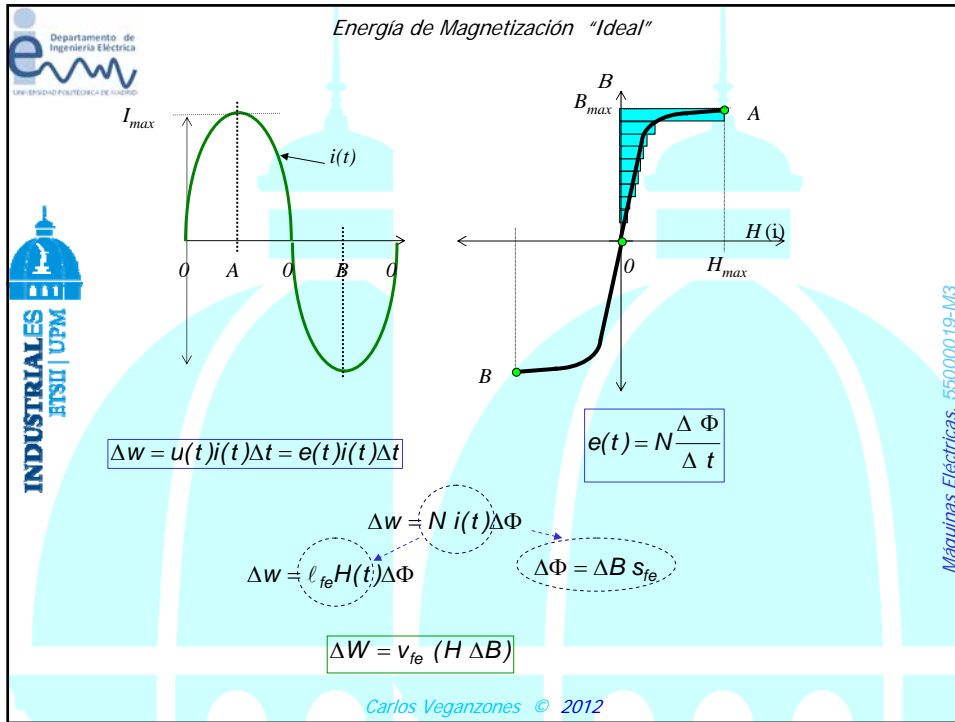
$F_{mm} = \Phi_{S-fe} \mathcal{R}$

$U = I R_{el}$

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012





Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

(3)

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

Pérdidas de Magnetización "Real" : Histéresis

$P_{fe-H} = v_{fe} f(K_H B_{max}^{n_H})$

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012

Departamento de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

INDUSTRIALES

Pérdidas de Magnetización "Real" : Foucauld

$P_{fe-H} = v_{ch} f^2 (K_F B_{max}^2) (\delta_{ch})^2$

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012

Determinar la inductancia(L) reactancia (X), la potencia reactiva (Q) y la intensidad de magnetización (I) de una bobina con la siguientes características y en el siguiente circuito:

$E = 4,44 f N (B_{max} S_{fe})$

$B_{max} = 1,5 T \rightarrow H_{max} = 500 \text{ Av/m}$

$B_{max} = H_{max} \mu_{fe} \rightarrow \mu_{fe} = 3 \cdot 10^{-3}$

$L = \frac{N^2}{\mathfrak{R}} = \frac{N^2}{\frac{l_{fe}}{\mu_{fe} S_{fe}}} \rightarrow L = 2,6 H$

$X = 2 \pi f L \rightarrow X = 821 \Omega$

$Q = \frac{U^2}{X} \rightarrow Q = 60 \text{ VAR} \Omega$

$N i_{max} = H_{max} l_{fe} \rightarrow i_{max} = \frac{500 \cdot 0,5}{660} = 0,38 A$

$I_{eficaz} = \frac{i_{max}}{\sqrt{2}} = 0,27 A$

$B_{max} = \frac{1,8 \cdot 10^{-2}}{1 + 10^{-2}} H_{max}$

Máquinas Eléctricas. 55000019-M3

Carlos Veganzones © 2012 **Comprobar!**

Determinar la inductancia(L) reactancia (X), la potencia reactiva (Q) y la intensidad de magnetización (I) de una bobina con la siguientes características y en el siguiente circuito:

$S_{fe} = S_o$
 $N = 660$
 $l_0 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$
 $S_{fe} = 10^{-3} \text{ m}^2$
 $l_{fe} = 0,5 \text{ m}$

$E = 4,44 f N (B_{max-fe} S_{fe})$
 $E = 4,44 f N (B_{max-o} S_o)$
 220 V
 660
 $B_{max-fe} = B_{max-o} = 1,5 \text{ T}$
 $H_{max-fe} = 500 \text{ Av/m}$
 $\mu_{fe} = 3 \cdot 10^{-3}$

$H_{max-fe} \mu_{fe} = H_{max-o} \mu_0$
 $H_{max-o} = 2387 H_{max-fe}$

$L_{total} = \frac{N^2}{R_{fe} + R_o} = \frac{N^2}{\left(\frac{l_{fe}}{\mu_{fe} S_{fe}}\right) + \left(\frac{l_o}{\mu_0 S_o}\right)}$
 $L_{total} = 0,45 \text{ H}$

$X = 142 \Omega$
 $Q = 347 \text{ VARs}$

$B_{max} = \frac{1,8 \cdot 10^{-2}}{1 + 10^{-2} H_{max}} H_{max}$
 $Ni_{max} = H_{max-fe} l_{fe} + H_{max-o} l_o$
 $i_{max} = 2,19 \text{ A}$
 $I_{eficaz} = \frac{i_{max}}{\sqrt{2}} = 1,55 \text{ A}$

¡ Comprobar !

INDUSTRIALES EQUIPAMIENTO
Máquinas Eléctricas. 55000019-M3
Carlos Veganzones © 2012

Relaciones Circuito Eléctrico Circuito Magnético

Departamento de Ingeniería Eléctrica

$e(t) = N \frac{\partial \Phi(t)}{\partial t}$
 $Ni = H_A l_A$
 $\Phi = \frac{l_{fe}}{\mu_{fe} S_{fe}}$
 $F_{mm} = \Phi S_{fe} \mathcal{R}$
 $E = 4,44 f N \Phi_{max}$
 $P_{fe-H} = v_{fe} f (K_H B_{max}^n)$
 $P_{fe-H} = v_{ch} f^2 (K_F B_{max}^2) (\delta_{ch})^2$

$L = \frac{N^2}{(\mathcal{R})}$
 $L_{res} = \frac{N^2}{\mathcal{R}_0 + \mathcal{R}_{fe}}$
 $Ni_{max} = H_{max-fe} l_{fe} + H_{max-o} l_o$

Curiosidad al margen

$L_{res} = \frac{N^2}{\mathcal{R}_0 + \mathcal{R}_{fe}} = \frac{L_0 L_{fe}}{L_0 + L_{fe}}$
 $L_{res} = \frac{L_0 L_{fe}}{L_0 + L_{fe}}$

INDUSTRIALES EQUIPAMIENTO
Máquinas Eléctricas. 55000019-M3
Carlos Veganzones © 2012