

⊕ Propiedades del Cobre

Conductividad eléctrica	101% IACS * a 20°C (68°F)
Resistividad eléctrica	10.371/ ohms en 304.8m. a 20°C (10.371/ ohms en 1000 pies a 68°F)
Peso específico	8850 Kg/m ³ (0.322 lb/Pulg ³)
Punto de fusión	1083°C (1981°F)
Conductividad térmica	226 $\frac{BTU}{Pie^2 \times Pie \times hr \times ^\circ F}$ a 32°F
Coefficiente lineal de dilatación	0.00000545 por °C Promedio desde 20°C a 300°C (0.000009 por °F) (Promedio desde 68°F a 300°C)
Esfuerzo de tensión:	
Duro	3870 Kg/cm ² (55000 lb/Pulg ²)
Suave	2250 Kg/cm ² (32000 lb/Pulg ²)
% de alargamiento:	
Duro	6% en 50.8 mm. (6% en 2 pulg.)
Suave	55% en 50.8 mm. (55% en 2 pulg.)
Dureza Rockwell:	
Duro	B 60
Suave	F 40
Módulo de elasticidad	1 200 000 Kg/cm ² 17 000 000 lb/Pulg ²

⊕ Propiedades del Aluminio

Conductividad eléctrica	61% IACS * a 20°C (68°F)
Resistividad eléctrica	17 ohms en 304.8m. a 20°C (17 ohms en 1000 pies a 68°F)
Peso específico	2720 Kg./m ³ (0.98 lb/Pie ³)
Punto de fusión	658°C (1216°F)
Conductividad térmica	126 $\frac{BTU}{Pie \times Pie^2 \times hr \times ^\circ F}$ a 68°F
Coefficiente lineal de dilatación	0.00000729 por °C promedio desde 20°C a 100°C 0.0000131 por °F (promedio desde 60°F a 212°F)
Esfuerzo de tensión:	
Duro	1820 Kg/cm ² (27000 lb/Pulg ²)
Suave	845 Kg/cm ² (12000 lb/Pulg ²)
% de alargamiento:	
Duro	1.5% en 254 mm. (1.5% en 10 Pulg.)
Suave	23% en 254 mm. (23% en 10 Pulg.)
Módulo de elasticidad	702 000 Kg/cm ² (10 000 000 lb/pulg ²)

* Por IACS (International Annealed Copper Standard) cuyo valor es aceptado internacionalmente para resistividad del cobre recocido de 100% de conductividad.

⊕ Constitución de la Materia

Partículas elementales	
Electrón:	Partícula elemental menor con carga negativa Carga: e = -4,803·10 ⁻¹⁰ u.e.s. = 1,602·10 ⁻¹⁹ C. Masa: m = 9,109·10 ⁻²⁸ g.
Positrón:	Partícula elemental menor con carga positiva Carga: e = +4,803·10 ⁻¹⁰ u.e.s. = 1,602·10 ⁻¹⁹ C. Masa: m = 9,109·10 ⁻²⁸ g.
Protón:	Partícula del núcleo atómico con carga positiva Carga: e = +4,803·10 ⁻¹⁰ u.e.s. = 1,602·10 ⁻¹⁹ C. Masa: m = 1,672·10 ⁻²⁴ g.
Neutrón:	Partícula del núcleo atómico sin carga Masa: m = 1,675·10 ⁻²⁴ g.
Mesotrón:	Partícula elemental inestable: el u-Mesón tiene una masa de unas 209 veces la del electrón y carga positiva o negativa; el r-Mesón tiene una masa de unas 276 veces la del electrón y carga positiva o negativa.
Neutrino:	Partícula hipotética sin masa ni carga
Atomo :	Partícula menor de un elemento que puede tomar parte en una reacción química: consta de núcleo y órbitas de electrones.
Molécula:	Partícula más pequeña de una sustancia que es capaz de existencia independiente: consta de átomos unidos por enlaces químicos.
Relación entre masa en reposo y masa en movimiento.	
$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/C^2}}$	
V velocidad del cuerpo, C velocidad de la luz, m ₀ masa en reposo.	

⊕ Energía Nuclear

ALGUNAS FORMULAS FUNDAMENTALES	G- peso del metal fisionable en gramos	U ²³⁵ produce aproximadamente
Energía total de la masa de un cuerpo: E = mc ² = 6.61 x 10 ²⁶ x m E = megaelectrovoltios m = gramos	m- flujo medio del reactor neutrones /cm ² σf- sección recta media de fisión	23 000 kw/h.
Energía de una radiación: E = hv E = energía en ergs. h = 6.62 x 10 ⁻²⁷ x seg. V = frecuencia de la radiación	1 curie = 3.7 x 10 ¹⁰ desintegraciones /seg. 1 rd = 10 ⁶ desintegraciones /seg. 1 amu = 1.66 x 10 ⁻²⁴ gramos 1 ev = 1.6 x 10 ⁻¹² ergs. 1 fisión = 3.2 x 10 ⁻¹¹ w seg. h = 6.62 x 10 ⁻²⁷ erg. x seg.	Poder de moderación H ₂ O 1.53 cm ⁻¹ D ₂ O 0.17 cm ⁻¹ C 0.064 cm ⁻¹
Potencia de un reactor lento: P = 8.3 x 10 ¹⁰ x φ m x σF x G. P = watts	Y (U ²³³) = 1.54 Y (U ²³⁵) = 2.46 Y (PU ²³⁹) = 2.88 La fisión completa de un gramo de	Tiempos de moderación H ₂ O 10 ⁻⁵ seg. D ₂ O 4.6 x 10 ⁻⁵ seg. Be 6.7 x 10 ⁻⁵ seg. C 1.5 x 10 ⁻⁴ seg.
		Tiempos de difusión 2.1 x 10 ⁻⁴ seg. 0.15 x 10 ⁻⁴ seg. 4.3 x 10 ⁻³ seg. 1.2 x 10 ⁻² seg.

Unidades eléctricas y magnéticas

Magnitudes	Dimensiones C.G.S.	Unidades prácticas	
		Nombre	Valor en C.G.S. (electro magnéticas)
Intensidad (I)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻¹	Ampere	10 ⁻¹
Tensión (V)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻²	Volt	10 ⁸
Fuerza electromotriz (E)			
Resistencia (R)	L ² T ⁻¹	Ohm	10 ⁹
Resistividad (ρ)	L ² T ⁻¹	Ohm-cm	10 ¹⁸
Conductividad (γ)	L ² T	Mho-cm	10 ⁻¹⁸
Cantidad eléctrica (Q)	L ^{1/2} M ^{1/2}	Culomb	10 ⁻¹
Trabajo eléctrico (J)	L ² M T ⁻²	Joule	10 ⁷
Potencia eléctrica (W)	L ² M T ⁻³	Watt	10 ⁷
Capacidad (C)	L ⁻¹ T ²	Farad	10 ⁻⁹
Autoinducción (L)	L	Henry	10 ⁹
Intensidad campo eléctrico (E)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻²	Volt/cm	10 ⁸
Flujo magnético (Φ)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻¹	Maxwell	1
		Volt-segundo	10 ⁸
Inducción magnética (B)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻¹	Gauss	1
		Volt-seg cm ²	10 ⁸
Intensidad campo magnético (H)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻¹	Oersted	1
		Amp/cm	0.4
Fuerza magnetomotriz (F)	L ^{1/2} M ^{1/2} T ⁻¹	Gilbert	1
		Ampere-vuelta	0.4
Reluctancia magnética (R)	L ⁻¹		
Frecuencia (f)	T ⁻¹	ciclos-seg.	

Nota: Las unidades magnéticas son todas de sistema C.G.S., por no haber sido establecidas las unidades prácticas.

Definiciones: Ampere: Intensidad de una corriente que corresponde al paso de un coulomb en un segundo. Coulomb: Cantidad de electricidad que al atravesar una solución de nitrato de plata deposita 1,118 miligramos de plata.

Ohm: Resistencia que presenta al paso de una corriente una columna de mercurio a 0° de 1,063 m de longitud, con sección uniforme de 1 mm y masa de 14,4521 gramos masa.

Volt: Tensión capaz de producir una corriente de un ampere en un circuito de un ohm de resistencia.

Joule: Trabajo producido en un segundo por una corriente de un ampere en un circuito de un ohm de resistencia.

Watt: Potencia de un joule por segundo. Potencia que transporta un circuito por el que circula una corriente de un ampere bajo la diferencia de potencial de un volt.

Farad: Capacidad de un condensador en el que la carga de un culomb da entre sus armaduras una d.d.p. de un volt.

Henry: Autoinducción de un circuito en el que la variación de un ampere en un segundo produce la f.e.m. de un volt.

Maxwell: Flujo total producido por un polo magnético de fuerza, unidad dividida por 4π.

Gauss: Inducción (o densidad de flujo) producida por un maxwell por cm de superficie normal a la dirección de flujo.

Gilbert: Fuerza magnetomotriz de una bobina de una espira recorrida por una corriente de intensidad igual a la unidad C.G.S. dividida por 4π.

Oersted: Variación de potencial magnético equivalente a un gilbert por centímetro.

Fórmulas eléctricas

	Corriente Continua	Corriente Alterna		
		Una Fase	2 Fases 4 Hilos	3 Fases
Amperes conociendo HP	$\frac{HP \times 746}{E \times N}$	$\frac{HP \times 746}{E \times N \times f.p.}$	$\frac{HP \times 746}{2 \times E \times N \times f.p.}$	$\frac{HP \times 746}{1.73 \times E \times N \times f.p.}$
Amperes conociendo KW	$\frac{KW \times 1000}{E}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times f.p.}$	$\frac{KW \times 1000}{2 \times E \times f.p.}$	$\frac{KW \times 1000}{1.73 \times E \times f.p.}$
Amperes conociendo KVA	—	$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{2E}$	$\frac{KVA \times 1000}{1.73 \times E}$
KW	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p.}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p. \times 2}{1000}$	$\frac{I \times E \times f.p. \times 1.73}{1000}$
KVA	—	$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times 2}{1000}$	$\frac{I \times E \times 1.73}{1000}$
Potencia en la flecha HP	$\frac{I \times E \times N}{746}$	$\frac{I \times E \times N \times f.p.}{746}$	$\frac{I \times E \times 2 \times N \times f.p.}{746}$	$\frac{I \times E \times 1.73 \times N \times f.p.}{746}$
Factor de Potencia	Unitario	$\frac{W}{E \times I}$	$\frac{W}{2 \times E \times I}$	$\frac{W}{1.73 \times E \times I}$

I = Corriente en amperes
E = Tensión en volts.
N = Eficiencia expresada en %
HP = Potencia en Horse Power
R.P.M. = $\frac{f \times 120}{P}$

f.p. = Factor de potencia
KW = Kilowatts
KVA = Kilovoltamperes
W = Potencia en watts
R.P.M. = Revoluciones por minuto.
f = Frecuencia
p = Número de polos

* Para sistemas de 2 fases 3 hilos, la corriente en el conductor común es 1.41 veces mayor que en cualquiera de los otros conductores.
KVA = $\frac{KW}{F.P.}$

Formulas Eléctricas para Circuitos de Corriente Alterna

Reactancia Inductiva $X_L = 2\pi FL$ [Ohms]
Donde: F = ciclos por segundo
L = Inductancia en Henrys

Reactancia Capacitiva $X_c = \frac{1}{2\pi FC}$ (Ohms)

Donde: C = capacidad en Farads.
Impedancia $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}$ [Ohms]
Amperes $I = \frac{E}{Z}$

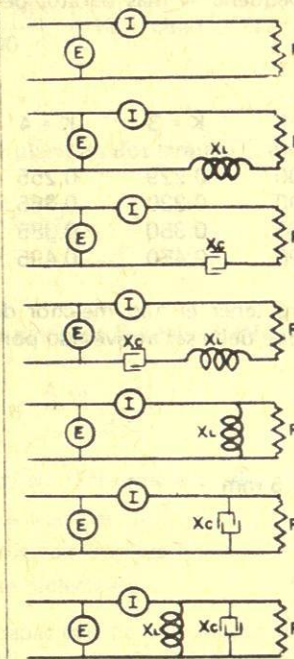
Fórmulas Eléctricas para Circuitos de Corriente Continua

Ley de OHM $E = IR$
Resistencia en serie $R = r_1 + r_2 + \dots + r_n$
Conductancias en paralelo $G = g_1 + g_2 + \dots + g_n$

Resistencia en paralelo $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$

En otras palabras, convertir la resistencia en conductancia y sumar las conductancias.

Potencia $W = E \times I$
en $W = R \times I^2$
Watts. $W = HP \times 746$



$I = \frac{E}{R}$

$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{E}{Z}$

$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} = \frac{E}{Z}$

$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}} = \frac{E}{Z}$

$I = \frac{E}{\sqrt{\frac{R^2 X_L^2}{R^2 + X_L^2}}} = \frac{E}{Z}$

$I = \frac{E}{\sqrt{\frac{R^2 X_c^2}{R^2 + X_c^2}}} = \frac{E}{Z}$

$I = \frac{E}{\sqrt{\frac{R^2 X_L X_c^2}{X_L^2 X_c^2 + R^2 (X_L - X_c)^2}}} = \frac{E}{Z}$

Fórmulas para Determinar Diagramas en Circuitos de C.A.

R = Resistencia en Ohms.

Z = Impedancia en Ohms.

I = Corriente en Amperes

E = Voltaje en Volts.

X_L = Reactancia inductiva en Ohms.

X_c = Reactancia capacitativa en Ohms.

L = Inductancia en Henrys

C = Capacitancia en Farads.

Fórmulas de Aplicación Práctica.

Cantidad de electricidad.

$Q = It.$

¿Cuántos días durará la descarga de un acumulador capaz de suministrar 70 amperes/hora con un régimen de descarga de 0.5 amperes?

$t = \frac{Q}{I} = \frac{70}{0.5} = 140 \text{ horas}, \frac{140}{24} = 5 \text{ días } 20 \text{ horas}$

Nota. 1 ampere-hora = 3600 culombs.

Resistencias Eléctricas y Efectos Caloríficos de las Corrientes

Resistencia de un Conductor

$R = \rho \frac{l}{s}$

R resistencia en ohms.
ρ resistividad ohms mm²/m.

l longitud en metros.

s sección en mm²

Asociación de Resistencia

En serie:

$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$

En paralelo:

$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots}$

¿Qué resistencia tiene un conductor de cobre de 10 m m² de sección y 150 m de longitud?

resistividad del cobre = 0.0175.

$R = 0.0175 \frac{150}{10} = 0.262 \text{ ohms.}$

Tenemos tres resistencias de 5, 8 y 10 ohms. ¿Cuál será la resistencia total si las agrupamos primero en serie y después en paralelo?

En serie: $R = 5 + 8 + 10 = 23 \text{ ohms.}$

En paralelo: $R = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{10}} = 2.35 \text{ ohms.}$

Variación de la resistencia con la temperatura. ⊕

Rt = Ro (1 + α t)

Rt resistencia a t° C.

Ro resistencia a 0° C.

α coeficiente de temperatura

t variación de temperatura en 0° C.

Un hilo de aluminio tiene a 0° C una resistencia de 20 ohms. ¿Cuál será su resistencia a 50° C?

Para el aluminio α = 0.0037
R50 = 20 (1 + 0.0037 x 50) = 23.7 ohms.

Ley de ohm.

I = V/R

I en amperes
V en volts
R en ohms.

Un acumulador de 6 volts tiene intercalada en un circuito exterior una resistencia de 8 ohms; si su resistencia interior es de 0.4 ohms, ¿qué intensidad circulará por este circuito?

I = 6 / (8 + 0.4) = 0.71 amperes

Efectos caloríficos de la corriente. Ley de Joule.

Q = 0.00024 RI² t

Q cantidad calor en kilocalorías.

R resistencia en ohms.

I intensidad en amperes

t en segundos.

Al pasar una corriente por un conductor desarrolla en él una cantidad de calor proporcional a su resistencia, al tiempo y al cuadrado de la intensidad de la corriente. ¿Qué cantidad de calor se desarrolla durante una hora en una resistencia de 2 ohms, que es recorrida por una corriente de 5 amperes?

Q = 0.00024 x 2 x 5² x 3600 = 43.2 kilocalorías.

Equivalente calorífico de la energía eléctrica.

H = Watts-segundo / 4184

H en kilocalorías

Se quiere calentar a 60° C un depósito que contiene 150 litros de agua a la temperatura de 10° C. ¿Qué energía eléctrica se necesitará?

Diferencia temperatura = 60 - 10 = 50° C.

Cant. calor: 50 x 150 = 7500 kilocalorías.

Watts-seg. = 7500 x 4184 = 31 380 000.

1 kW/h = 3600 x 1000 watts-seg.

31 380 000 / 3600 000 = 8.71 KW/hora

Reóstatos reguladores.

d = a √[3]{I²}

d diámetro hilo en mm.

a coeficiente

I intensidad en amperes.

La sección debe ser tal que sea capaz de radiar el calor que produce la corriente sin calentarse demasiado.

El coeficiente a, dado en función de K (número de cm² de superficie de enfriamiento por watt transformado en calor). En los reóstatos refrigerados por aire se adoptan para K valores de 1 a 5 (cuanto más pequeño K más barato, pero se calienta más).

Valores de a para:

Table with columns for K values (2, 3, 4, 5) and rows for materials (Hierro, Melchor, Miquelina, Nicrom).

¿Qué diámetro deberá tener el hilo melchor de un reóstato refrigerado por aire, que debe ser atravesado por una corriente de 10 amperes?

K = 0.330

d = 0.330 √[3]{10²} = 1.5 mm

Reóstatos de arranque.

s = aI √[3]{T / (t₂ - t₁)}

s sección en mm².

I intensidad en amperes.

T tiempo arranque segundos.

t₂ - t₁ temperatura °C que se admite sobre la ambiente.

a coeficiente según material.

La sección debe ser tal que no sobrepase una temperatura de exceso sobre la ambiente, en el tiempo que esté funcionando.

Valores de a para:

Table with columns for materials (Hierro, Melchor, Niquelina, Nicrom, Kruppina) and values for coefficient 'a'.

¿Qué sección deberá darse a un hilo de niquelina que al ser atravesado durante 10 segundos por una corriente de 20 amperes su temperatura no deba elevarse por encima de 75° C? Temperatura ambiente 15° C.

s = 0.320 x 20 √[3]{10 / (75 - 15)} = 2.88 mm².

Nota. Se tomará la sección inmediata superior.

Condensadores ⊕

Capacidad.

C = Q/V

C en farads.

Q en culombs.

V en volts.

¿Cuál es la capacidad de un condensador de placas que al aplicarle una tensión de 1000 volts. adquiere una cantidad de electricidad de 100 microculombs?

1 microculomb = 10⁻⁶ culombs.

C = (100 x 10⁻⁶) / 1000 = 10⁻⁷ farads = 0.1 microfarads.

Condensador plano de dos láminas (un dieléctrico).

C = 0.0885 K S/d

Condensador plano de N láminas; (N - 1) dieléctrico.

C = 0.0885 K S(N - 1)/d

C capacidad en micro-microfarads.

S superficie placas en cm².

d espesor dieléctrico en cm.

K constante dieléctrica.

¿Cuál es la capacidad de un condensador plano formado por 6 láminas de 40 cm², siendo el dieléctrico de mica de 0,1 mm de espesor?

Para la mica K = 5

C = 0.0885 x 5.0 (40 (6 - 1) / 0.01) = 8850 microfarads.

Conexión de condensadores.

En serie:

C = 1 / (1/c₁ + 1/c₂ + 1/c₃ + ...)

En paralelo:

C = c₁ + c₂ + c₃ + ...

Tenemos tres condensadores de 1,2 y 4 microfarads. ¿Cuál será la capacidad total si los agrupamos primero en serie y después en paralelo?

En serie: C = 1 / (1/1 + 1/2 + 1/4) = 1.285 microfarads.

En paralelo: C = 1 + 2 + 4 = 7 microfarads.

Inductancias

Inductancia de una bobina larga sin núcleo.

L = 1.257 s N² / l 10⁸

L inductividad en henrys.

s sección bobina en cm²

N número de espiras.

l longitud bobina en cm.

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción de una bobina de 30 cm. de longitud, que lleva 3000 espiras y tiene 5 cm de diámetro?

s = 3.14 x 2.5² = 19.62 cm² de sección

L = 1.257 (19.62 x 3000²) / (30 x 10⁸) = 0.0082 henrys = 8.2 milihenrys.

Inductancia de una bobina con núcleo.

L = Nφ / I 10⁸

L inductividad en henrys.

I intensidad de corriente en amperes.

φ flujo en maxwells.

N número espiras.

¿Cuál es el coeficiente de autoinducción de una bobina con núcleo de hierro que tiene 2.500 espiras y que al ser recorrida por una corriente de 0.5 amperes crea un flujo de 300 000 maxwells?

L = (2500 x 300 000) / (0.5 x 10⁸) = 15 henrys

Conexión de inductancias.

En serie:

En paralelo:

L = L₁ + L₂ + L₃ + ... L = 1 / (1/L₁ + 1/L₂ + 1/L₃ + ...)

Tenemos tres inductancias de 2.5 y 10 henrys. ¿Cuál será la inductancia total si las agrupamos primero en serie y después en paralelo?

En serie: L = 2 + 5 + 10 = 17 henrys.

En paralelo: L = 1 / (1/2 + 1/5 + 1/10) = 1.25 henrys.

Magnetismo y Electromagnetismo

Fuerza de un imán o electroimán.

P = (B/5000)² S

P fuerza en kg.

B inducción en gauss.

S superficie polo imán en cm².

Si es imán de herradura será 2 S.

¿Qué fuerza será necesaria realizar para arrancar un trozo de hierro dulce del polo de un imán que tiene una sección de 9 cm², siendo la inducción entre el imán y el hierro de 2500 gauss?

P = (2500 / 5000)² x 9 = 2.25 Kg.

Flujo magnético o de inducción.

$\phi = B \times S$
 ϕ flujo en maxwells.
 B inducción en gaussess.
 S sección en cm^2

¿Cuál será el flujo que recorre un circuito magnético de hierro, de 16 cm^2 de sección, si la inducción es 5000 gaussess?

$\phi = 5000 \times 16 = 80\ 000$ maxwells.

Intensidad de campo en el interior de un solenoide.

$H = 1.25 \frac{NI}{\ell}$

H intensidad en gaussess.
 N número espiras.
 I intensidad que circula en amperes.
 ℓ longitud solenoide en cm.

¿Cuál será la intensidad del campo en el interior de un solenoide que tiene 2000 espiras y una longitud de 10 cm. si es recorrido por una corriente de 5 amperes?

$H = 1.25 \frac{2000 \times 5}{10} = 1250$ gaussess.

Inducción magnética.

$B = \mu H = \frac{\mu NI}{\ell}$

B inducción en gaussess.

H intensidad campo en: $\frac{A \times \text{vuelta}}{cm}$

μ permeabilidad del núcleo

¿Cuál será la inducción en el interior de un circuito magnético formado por chapa de transformador, que tiene una longitud de 50 cmm, arrolladas 400 espiras y es recorrido por una corriente de 2 amperes?

$H = \frac{400 \times 2}{50} = 16$ amperes-vuelta/cm.

Para $H = 16$ encontramos la inducción $B = 12\ 800$ gaussess.

La permeabilidad para ese valor de H será:

$\mu = \frac{B}{H} = \frac{12800}{16} = 800.$

Pérdidas de energía por histéresis. Fórmula de Steinmetz.

$P = \frac{\eta V f B^{1.6}}{10^7}$

P pérdida en watts.
 V volumen material en cm^3 .
 f frecuencia en ciclos/seg.
 B inducción en gaussess.
 η coeficiente de histéresis según material.

Valores de η para algunos cuerpos:

Chapa hierro recocida	0.001
Plancha hierro delgada	0.003
Plancha hierro gruesa	0.0035
Plancha hierro ordinaria	0.004
Hierro fundido	0.16
Fundición gris	0.0183
Acero fundido recocido	0.008
Acero dulce	0.0095
Acero fundido	0.0125
Acero al manganeso forjado	0.00595
Acero al tungsteno templado	0.0578
Acero al silicio (3-4% Si)	0.0008

¿Cuál será la potencia perdida por histéresis en el núcleo de un transformador cuyas chapas de hierro al silicio tienen un volumen de 40 dm^3 , si la inducción máxima es de 6000 gaussess y la frecuencia 50 ciclos/seg?

$P = \frac{0.0008 \times 40\ 000 \times 50 \times 6000^{1.6}}{10^7} = 184$ watts.

$6000^{1.6} = 1\ 150\ 000.$

Nota. Cuando la inducción es superior a 7000 gaussess, en la fórmula de Steinmetz se pone B^2 en lugar de $B^{1.6}$

Pérdidas de energía por corrientes de Foucault.

$P = \sigma \left(\frac{f}{100} \times \frac{B}{10\ 000} \right)^2 G.$

P pérdidas en watts.
 f frecuencia en ciclo -seg.
 B inducción en gaussess.

G peso núcleo en kg.

σ coeficiente que depende de la resistividad del material y espesor de las chapas.

Valores de σ para las chapas magnéticas del espesor y % de Si que se indican:

% Si	Espesor chapas en mm		
	0.35	0.55	0.63
0.5	1.68	4	5.25
1	1.17	2.75	3.75
2.5	0.65	1.55	2
3.5	0.46	1.2	1.6
4.5	0.4	1	1.3

¿Cuál será la pérdida de energía por corrientes de Foucault en el núcleo de un transformador que pesa 300 kg, formado por chapa magnética de contenido 4.5% de silicio y 0.55 mm de espesor, siendo la inducción máxima 12 000 gaussess y la frecuencia 50 ciclos/seg?

Para chapa con 4.5% Si y 0.55 mm: $\sigma = 1.$

$P = 1 \left(\frac{50 \times 12\ 000}{100 \times 10\ 000} \right)^2 300 = 108$ watts.

Circuitos de Corriente Alterna

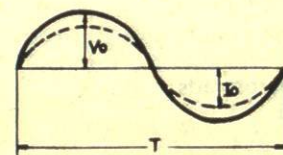
Defasaje entre tensiones e intensidades.

Pulsación:

$w = 2\pi f$ (radianes x segundo).

f = frecuencia ciclos x segundo.

$T = \frac{1}{f}$ período



Valor máximo de la tensión o intensidad ($V_0 I_0$) es la amplitud del ciclo correspondiente; valor medio ($V_m I_m$) es la media de los valores instantáneos durante una alternancia

$\sqrt{\frac{\sum u}{m}}$; valor eficaz (V_{ef} I_{ef}) es la raíz cuadrada de

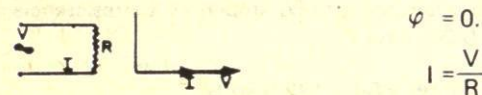
la media de los cuadrados de los valores instantáneos $\sqrt{\frac{\sum u^2}{m}}$

Estos valores son exactos cuando el número de mediciones o valores instantáneos m es infinito.

$V_m = 0.63 V_0$ $V_{ef} = 0.707 V_0$
 $I_m = 0.63 I_0$ $I_{ef} = 0.707 I_0$

Circuito con resistencia pura.

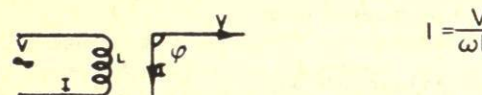
La intensidad está en fase con la tensión.



$\varphi = 0.$
 $I = \frac{V}{R}$

Circuito con inductancia pura.

La intensidad se retrasa 90° respecto a la tensión.



$I = \frac{V}{\omega L}$
 $\varphi = 90^\circ$

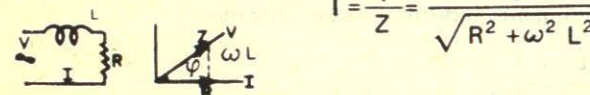
Circuito con capacidad pura.

La intensidad se adelanta 90° con respecto a la tensión.



$I = \omega CV$
 $\varphi = 90^\circ$

Autoinduc. y resistencia en serie.



$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$
 $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

R resistencia en ohms.

ω pulsación.

L coeficiente de autoinducción henrys.

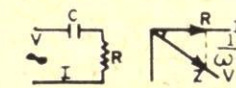
Una bobina está sometida a una corriente alterna de 220 volts y 50 ciclos por segundo. La resistencia óhmica de la bobina es de 3 ohms y su coeficiente de autoinducción de 0.02 henrys. Determinar la corriente que circulará por la bobina y el defasaje entre la intensidad y la tensión.

$w = 2\pi f = 314.$

$I = \frac{220}{\sqrt{3^2 + 314^2 \times 0.02^2}} = 31.65$ amperes

$\cos \varphi = \frac{3}{6.95} = 0.43$

Capacidad y resistencia en serie.



$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

C en farads.

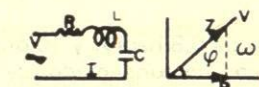
Un condensador de 10 microfarads y una resistencia de 50 ohms está unido en serie en un circuito a 220 volts y 50 ciclos por segundo. Determinar la corriente que circulará por este circuito y el defasaje entre la intensidad y la tensión.

$\omega = 2\pi f = 314.$

$I = \frac{220}{\sqrt{60^2 + \frac{1}{314^2 \times (10 \times 10^{-6})^2}}} = 0.68$ amperes.

$\cos \varphi = \frac{60}{323} = 0.18$

Resistencia, autoinducción y capacidad en serie.



$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$

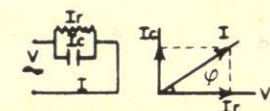
Un condensador de 20 microfarads y una bobina de 0.6 henrys y 100 ohms, están en serie en un circuito a 220 volts y 50 ciclos por seg. Determinar la intensidad de corriente que circula por este circuito y el defasaje entre la intensidad y la tensión.

$\omega = 2\pi f = 314.$

$I = \frac{220}{\sqrt{100^2 + (314 \times 0.6 - \frac{1}{314 \times 20 \times 10^{-6}})^2}} = 2.11$ amperes

$\cos \varphi = \frac{100}{104} = 0.96$

Resistencia y capacidad en derivación.



$I = V \sqrt{\frac{1}{R^2} + w^2 C^2}$

$I_r = \frac{V}{R}$

$I_c = V\omega C$

$\cos \varphi = \frac{1}{R \sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}}$

Un condensador de 4 microfarads y una resistencia de 50 ohms están derivados en un circuito a 220 volts y 50 ciclos por seg. Determinar la intensidad que circulará por este circuito, las intensidades que pasarán por la resistencia y el condensador, y el defasaje entre la corriente y la tensión.

$I = 220 \sqrt{\frac{1}{50^2} + 314^2 \times (4 \times 10^{-6})^2} = 4.42$ amperes

La intensidad que circula por la resistencia es:

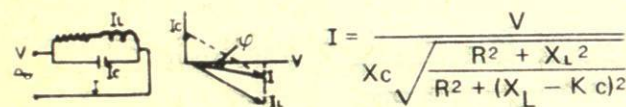
$$I_r = \frac{220}{50} = 4.4 \text{ amperes}$$

Y por el condensador:

$$I_c = 220 \times 314 \times 4 \times 10^{-6} = 0.27 \text{ amperes.}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{50 \sqrt{\frac{1}{50^2} + 314^2(4 \times 10^{-6})^2}} = 0.99$$

Capacidad y autoinducción más resistencia en derivación.



Siendo:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad X_L = \omega L$$

$$I_c = V\omega C$$

$$I_L = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

Una bobina que tiene una inducción de 0.8 henrys y 10 ohms de resistencia se enlaza en paralelo con un condensador de 15 microfarads, en un circuito a 220 volts y 50 ciclos por seg. Determinar la intensidad que circula por el circuito y la que circula por la bobina y por el condensador.

$$\omega = 2\pi f = 314.$$

$$X_c = \frac{10^6}{314 \times 15} = 212 \text{ ohms.}$$

$$X_L = 314 \times 0.8 = 251 \text{ ohms.}$$

$$I = \frac{220}{212 \sqrt{10^2 + (251-212)^2}} = 0.16 \text{ amperes}$$

Por el condensador circulará la corriente:

$$I_c = \frac{220}{212} = 1.03 \text{ amperes}$$

Y por la bobina:

$$I_L = \frac{220}{\sqrt{10^2 + 251^2}} = 0.88 \text{ amperes}$$

Máquinas de Corriente Continua

Tensión producida por una dínamo.

$$E = \frac{\phi n W}{60 \times 10^8}$$

E en volts.

ϕ flujo del campo en maxwells.

n revoluciones por minuto.

W número espiras inducido.

¿Cuál será la f.e.m. producida por una dínamo cuyo inducido

tiene 250 espiras y gira a 1 500 r.p.m. en un campo 2 000 000 de maxwells?

$$E = \frac{2 \times 10^6 \times 1500 \times 250}{60 \times 10^8} = 125 \text{ volts}$$

Tensión disponible en los bornes.

$$E_1 = E - R_i \times I$$

R_i resistencia del inducido en ohms.

I intensidad que circula por el inducido

¿Qué tensión dispondremos en los bornes de una dínamo, que en vacío produce 125 volts, y que al ser acoplada a un circuito exterior circulan por éste 50 amperes? La resistencia del inducido es de 0.05 ohms.

$$E_1 = 125 - 0.05 \times 50 = 122.5 \text{ volts.}$$

Rendimiento eléctrico de una dínamo.

$$\eta_e = \frac{E_1 \times I}{E_1 \times I + \text{perdidas en calor}}$$

E_1 tensión en bornes en volts.

I intensidad máxima que puede suministrar en amperes.

Una dínamo serie es capaz de suministrar 50 amperes a 110 volts; el inducido tiene una resistencia de 0.07 ohms y el devando inductor 0.08 ohms. ¿Cuál es su rendimiento eléctrico?

Pérdidas por efecto Joule: $(rI)^2$.

$$(0.07 + 0.08) \times 50^2 = 375 \text{ watts.}$$

$$\eta_e = \frac{110 \times 50}{110 \times 50 + 375} = 0.93$$

Rendimiento industrial de una dínamo.

$$\eta = \frac{E_1 \times I}{P \times 736}$$

E_1 tensión en bornes, en volts

I intensidad máxima que puede suministrar en amperes.

P potencia mecánica en CV aplicable al eje de la dínamo.

Una dínamo es capaz de suministrar una corriente de 30 amperes a 115 volts; el inducido de la dínamo es movido por un motor de explosión de 6 CV. ¿Cuál es su rendimiento industrial?

$$\eta = \frac{115 \times 30}{6 \times 736} = 0.78$$

Nota. El rendimiento industrial es siempre menor que el eléctrico, toda vez que el primero contiene las pérdidas eléctrica en los hierros y las mecánicas por rozamiento. Ver a continuación rendimientos eléctrico o industrial, según su potencia con arreglo a las Normas VDE. *

* VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker) Normas alemanas de electrotecnia.

Potencia en HP	Rendimientos	
	Eléctrico	Industrial
0.1	0.77	0.55
0.5	0.80	0.60
0.75	0.82	0.65
1	0.85	0.70
2	0.87	0.75
3.6	0.90	0.80
7.12	0.92	0.85
14.20	0.95	0.90
24.50	0.96	0.92

Motores de corriente continua.

$$C = \frac{W \phi I}{2 \pi \times 9.8 \times 10^8}$$

C par desarrollado con su polea en kgm.

W número espiras inducido, flujo útil en maxwells.

I intensidad que alimenta el motor en amperes.

ϕ flujo útil en maxwells.

Par motor. Determinar el par motor en kgm de un motor cuyo inducido tiene 900 espiras, es atravesado por un flujo de 5000000 de maxwells y consume una corriente de 15 amperes.

$$C = \frac{900 \times 5 \times 10^6 \times 15}{6.28 \times 9.8 \times 10^8} = 10.97 \text{ Kgm.}$$

¿Cuál será su potencia en CV si gira a 550 r.p.m.?

$$CV = \frac{2 \pi n C}{60 \times 75} = \frac{6.28 \times 550 \times 10.97}{60 \times 75} = 8.42 \text{ CV}$$

Fuerza contraelectromotriz de un motor.

$$e = E_1 - rI$$

e fuerza contraelectromotriz en volts.

E_1 tensión aplicada en los bornes en volts

r resistencia interior en ohms.

I intensidad que consume el motor en amperes.

¿Cuál es la fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.) de un motor serie, que al aplicarle una tensión en bornes de 100 volts consume una intensidad de 10 amperes, y la resistencia del inducido y del inductor es de 1.5 ohms?

$$e = 110 - 1.5 \times 10 = 95 \text{ volts}$$

Velocidad de un motor de corriente continua.

$$n = \frac{(E_1 - rI) \times 60 \times 10^8}{W \phi}$$

n = número r.p.m.

E_1 tensión aplicada en volts.

r resistencia interior en ohms.

I intensidad que consume el motor en amperes

W número espiras rotor

ϕ flujo útil en maxwells.

Determinar la velocidad de rotación en r.p.m. de un motor con las siguientes características: tensión aplicada 110 volts; resistencia interior 0.2 ohms; intensidad que absorbe el motor 10 amperes, flujo útil 2 000 000 maxwells; número espiras rotor 650.

$$n = \frac{(110 - 0.2 \times 10) \times 60 \times 10^8}{650 \times 2 \times 10^6} = 498 \text{ r.p.m.}$$

Rendimiento eléctrico de un motor de corriente continua.

$$\eta_e = \frac{e}{E_1}$$

e fuerza contraelectromotriz en volts.

E_1 tensión aplicada en los bornes en volts.

¿Cuál es el rendimiento eléctrico de un motor que al aplicarle la tensión de 125 volts, desarrolla una f.c.e.m. de 118 volts?

$$\eta_e = \frac{118}{125} = 0.94$$

Rendimiento industrial de un motor de corriente continua.

$$\eta = \frac{P}{E_1 I}$$

P potencia obtenida al freno en wats.

E_1 tensión aplicada en bornes en volts.

I intensidad que consume el motor en amperes.

Un motor de corriente continua que funciona con una tensión de 115 volts consume una intensidad de 10 amperes. En prueba al freno se obtiene una potencia de 750 wats. ¿Cuál es su rendimiento industrial, y a cuánto ascienden las pérdidas por rozamientos y por histéresis y corrientes de Foucault en el hierro, si su resistencia interna es de 1.5 ohms?

$$\eta = \frac{750}{115 \times 10} = 0.65$$

Las pérdidas totales serán:

$$1150 - 750 = 400 \text{ wats.}$$

Pérdidas de calor en el cobre:

$$rI^2 = 1.5 \times 10^2 = 150 \text{ wats.}$$

Luego las pérdidas por rozamientos, histéresis y Foucault, valdrán:

$$400 - 150 = 250 \text{ wats.}$$

Máquinas de Corriente Alterna

Frecuencia de la corriente de un alternador.

$$f = \frac{np}{60}$$

f frecuencia en ciclos por segundo

p número de pares de polos.

n número r.p.m.

¿Cuál será la frecuencia de un alternador hexapolar que gira a una velocidad de 1000 r.p.m.?

$$f = \frac{1000 \times 3}{60} = 50 \text{ ciclos por segundo}$$

Tensión que produce un alternador.

$$E = \frac{4 \phi f w}{10^2} \times \epsilon \times 1.11$$

- E tensión eficaz en volts.
- ϕ flujo útil en maxwells.
- f frecuencia en ciclos por segundo.
- w número total espiras de la máquina.
- ϵ coeficiente de arrollamiento (para las corrientes bifásicas vale 0.91 y para las trifásicas 0.96).

Se desea conocer la tensión (f.e.m.) que producirá un alternador monofásico, cuyos carretes en serie en número de 6 tienen 15 espiras cada uno, atravesadas por un flujo de 1 000 000 de maxwells, siendo de 50 ciclos por segundo la frecuencia de la corriente que produce.

$$E = \frac{4 \times 1 \times 10^6 \times 50 \times 6 \times 15}{10^8} \times 0.91 \times 1.11 = 181.8 \text{ volts.}$$

Nota. El número de espiras activas del inducido de un alternador monofásico será el total de las mismas; en los bifásicos será W/2, y en los trifásicos W/3. Estos valores son los que intervienen en la fórmula anterior.

Rendimiento de un alternador.

Trifásico:

$$\eta = \frac{E I \sqrt{3} \cos \phi}{E I \sqrt{3} \cos \phi + P_c + P_h}$$

- E tensión que produce el alternador en volts.
- I intensidad en amperes.
- P_c pérdida por calor en estator y rotor.
- P_h pérdidas en el hierro y rozamiento.

Determinar el rendimiento de un alternador trifásico de las características siguientes: tensión que produce en los bornes 220 volts, intensidad y $\cos \phi$ nominales 30 amperes y 0.8, resistencia de una fase del estator 0.1 ohm, del rotor 0.15; la corriente inductora que circula por el estator es de 25 amperes.

$$P_c = 3 r_1 I_1^2 + 3 r_2 I_2^2 = 3 \times 0.1 \times 30^2 + 3 \times 0.15 \times 25^2 = 270 + 281 = 551 \text{ watts.}$$

$P_h = 65 \times 12 = 780 \text{ watts}$ (correspondientes aproximadamente a 65 watts x HP de potencia según tabla que figura a continuación).

$$\eta = \frac{220 \times 30 \times 1.72 \times 0.8}{220 \times 30 \times 1.73 \times 0.8 + 551 + 780} = 0.87$$

Pérdidas aproximadas en el hierro y por rozamientos en las máquinas de corriente alterna en vacío (sin gran error pueden tomarse también estos valores para la marcha con carga).

Potencia HP	0.5	1	2	3	5	10	50	100
Pérdidas en watts x HP	140	100	85	80	75	65	40	35

Nota. Si el alternador fuera monofásico pondríamos en la fórmula $E I \cos \phi$.

Velocidad de un motor síncrono.

$$n = \frac{60 f}{p}$$

- n número r.p.m.
- f frecuencia en ciclos-segundo.
- p número pares de polos.

¿Cuál será la velocidad en r.p.m. de un motor síncrono trifásico, hexapolar, alimentado por una corriente de 50 ciclos por segundo.

$$n = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ r.p.m.}$$

Deslizamiento de un motor asíncrono.

$$\sigma = \frac{(n - n_1) 100}{n}$$

- n velocidad r.p.m. del campo de giro.
- n_1 velocidad r.p.m. del rotor.

¿Cuál será el deslizamiento de un motor trifásico tetrapolar que gira a 1 450 r.p.m. y es alimentado por una corriente de 50 ciclos por segundo?

$$n = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

$$\sigma = \frac{(1500 - 1450) 100}{1500} = 3.33 \%$$

Reóstato de arranque.

$$X = \left(\frac{I'}{I}\right)^n R - R$$

$$X_1 = \left(\frac{I'}{I} - 1\right) R$$

$$X_2 = \frac{I'}{I} X_1$$

$$X_3 = \frac{I'}{I} X_2$$

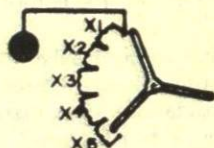
$$X_4 = \frac{I'}{I} X_3$$

$$X_5 = \frac{I'}{I} X_4$$

- I' corriente arranque en amperes.
- I corriente normal a plena carga en amperes.
- R resistencia una fase rotor en ohms.
- X resistencia total una fase reóstato, ohms.

$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$ resistencias parciales de las secciones del reóstato, en ohms.

n número de secciones del reóstato.



Se desea construir un reóstato de arranque con cinco taps o contactos para un motor trifásico de rotor bobinado de las siguientes características: potencia efectiva 15 HP, consumo energía 12.6 KW, resistencia de una fase del rotor 0.2 ohms. La relación entre la corriente de arranque y la de plena carga para los motores comprendidos entre 5 y 15 kW no debe ser superior a 2.

$$\frac{I'}{I} = 2. \text{ Para esta relación tomaremos como valor 1.75}$$

$$X = 1.75^5 \times 0.2 - 0.2 = 3.08 \text{ ohms.}$$

$$X_1 = (1.75 - 1) \times 0.2 = 0.15 \text{ ohms.}$$

$$X_2 = 1.75 \times 0.15 = 0.26 \text{ ohms.}$$

$$X_3 = 1.75 \times 0.26 = 0.455 \text{ ohms.}$$

$$X_4 = 1.75 \times 0.455 = 0.796 \text{ ohms.}$$

$$X_5 = 1.75 \times 0.796 = 1.393 \text{ ohms.}$$

Rendimiento motores corriente alterna. Ver rendimiento de alternadores.

Transformadores

Relación de transformación.

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

Los subíndices 1 indican los valores de la tensión, intensidad y número de espiras en el primario; los subíndices 2, en el secundario.

Esta relación es aproximada y se cumple entre espiras y tensiones cuando el transformador trabaja en vacío; y entre espiras e intensidades cuando lo hace a plena carga.

En los transformadores trifásicos, se cumple únicamente para las tensiones simples y cuando tienen las mismas conexiones estrella-estrella o delta-delta.

Número espiras x volt de primarios y secundarios.

$$\frac{W}{E} = \frac{10^8}{4.44 f \phi}$$

$\frac{W}{E}$ número espiras x volts

f frecuencia en ciclos por segundo

ϕ flujo máximo en maxwells

Determinar el número de espiras que deberán tener el primario y secundario de un transformador de tensión monofásico de relación 1500/220 volts, sabiendo que la sección útil del núcleo de hierro es de 45 cm², la inducción máxima 10 000 gausses y la frecuencia 50 ciclos por segundo.

$$\phi = B \times S = 10\,000 \times 45 = 450\,000 \text{ maxwells.}$$

Espiras x volt:

$$\frac{W}{E} = \frac{10^8}{4.44 \times 50 \times 450\,000} = 1.001 \text{ espiras x volts.}$$

Espiras del primario:

$$1500 \times 1.001 = 1501.5 \text{ espiras.}$$

Espiras del secundario:

$$220 \times 1.001 = 220.2 \text{ espiras.}$$

Sección del núcleo.

$$S = K \sqrt{P}$$

S sección útil del núcleo en cm²

P potencia del transformador en KVA.

K coeficiente, constante del hierro.

El coeficiente K se obtiene experimentalmente para cada clase de hierro y forma de núcleo; para chapa de hierro que trabaja con inducciones máximas de 12 a 14 000 gausses y para transformadores trifásicos de columnas, su valor aproximado es K = 15.

¿Cuál será la sección útil de un transformador trifásico de 200 kVA con núcleo en columnas, trabajando el hierro con una inducción máxima de 13 000 gausses?

$$S = 15 \sqrt{200} = 211 \text{ cm}^2.$$

Teniendo en cuenta el aislante de las chapas:

$$\frac{211}{0.9} = 235 \text{ cm}^2.$$

Pérdidas en el cobre.

$$W_c = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2$$

W_c pérdidas en watts.

r_1 y r_2 resistencia del primario y secundario en ohms.

I_1 e I_2 corriente en el primario y secundario en amperes.

¿Cuál será la pérdida de energía en el cobre de un transformador monofásico, sabiendo que las resistencias del primario y secundario en corriente continua son de 35 y 0.1 ohms, y las intensidades que los recorren de 6 y 27.5 amperes respectivamente?

$$W_c = 35 \times 6^2 + 0.1 \times 27.5^2 = 1335.6 \text{ watts.}$$

Nota. En los transformadores trifásicos el valor será: $3 r_1 I_1^2 + 3 r_2 I_2^2$

Pérdidas en el hierro.

Comprenden la suma de las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault cuyas fórmulas figuran anteriormente.