

Magnitudes y unidades de medida

Designación magnitud	Símbolo literal	Designación unidad de medida	Símbolo
aceleración angular	α	radián por segundo cuadrado	rad/s ²
aceleración en caída libre	g	metro por segundo cuadrado	m/s ²
aceleración lineal	a	metro por segundo cuadrado	m/s ²
ángulo plano	α, β, γ	radián grado (de ángulo) minuto (de ángulo) segundo (de ángulo)	rad ...° ...' ..."
capacidad	C	faradio	F
campo magnético	H	amperio por metro	A/m
constante de tiempo	—	segundo	s
diámetro	d	metro	m
diferencia de potencial	U	voltio	V
duración de un período T		segundo	s
recalentamiento	$\Delta\theta$	kelvin o grado Celsius	K o °C
energía	W	julio	J
espesor	d	metro	m
flujo magnético	ϕ	weber	Wb
fuerza	F	newton	N
fuerza electromotriz	E	voltio	V
frecuencia	f	hercio	Hz
velocidad de rotación	n	vueeltas por segundo	vueeltas/s
deslizamiento	g	%	★
altura	h	metro	m
impedancia	Z	ohmio	Ω
inductancia propia	L	henry	H
inductancia mutua	M	henry	H
inducción magnética	B	tesla	T
intensidad de corriente eléctrica	I	amperio	A
anchura	b	metro	m
longitud	l	metro	m

Submúltiplos de las unidades

Prefijo	Símbolo anterior a la unidad	Factor de multiplicación
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
mili	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹
pico	p	10 ⁻¹²

Ejemplos: Cinco nanofaradios = 5 nF = 5·10⁻⁹ F
 Dos miliamperios = 2 mA = 2·10⁻³ A
 Ocho micrometros = 8 μ m = 8·10⁻⁶ m

Designación magnitud	Símbolo literal	Designación unidad de medida	Símbolo
masa	m	kilogramo	kg
momento de un par	T o C	newton metro	N.m
momento de una fuerza	M	newton metro	N.m
momento de inercia	J o I	kilogramo metro cuadrado	kg.m ²
peso	P	newton	N
presión	p	pascal	Pa
profundidad	h	metro	m
potencia activa	P	vatio	W
potencia aparente	S	voltamperio	VA
potencia reactiva	Q	voltamperio reactivo	VAR
cantidad de calor	Q	julio	J
cantidad de electricidad eléctrica)	Q	culombio o amperio hora	C o (carga A·h
radio	r	metro	m
reactancia	X	ohmio	Ω
reluctancia	R	amperio por Weber	A/W
rendimiento	η	%	★
resistencia	R	ohmio	Ω
resistividad	ρ	ohmio metro/metro cuadrado	Ω .m/m ²
superficie (aire)	A o S	metro cuadrado	m ²
temperatura Celsius	θ	grado Celsius	°C
temperatura termodinámica	T	kelvin	K
tiempo	t	segundo (de tiempo) minuto (de tiempo) hora día	s min h d
tensión	U	voltio	V
trabajo	W	julio	J
velocidad angular	ω	radián por segundo	rad/s
velocidad lineal	v	metro por segundo	m/s
volumen	V	metro cúbico	m ³

★ Sin dimensión

Múltiplos de las unidades

Prefijo	Símbolo anterior a la unidad	Factor de multiplicación
deca	da	10 ¹
hecto	h	10 ²
kilo	k	10 ³
mega	M	10 ⁶
giga	G	10 ⁹
tera	T	10 ¹²

Ejemplos: Dos megajulios = 2 MJ = 2·10⁶ J
 Un gigavatio = 1 GW = 10⁹ W
 Tres kilohercios = 3 kHz = 3·10³ Hz

Corriente de carga nominal de los motores asíncronos

Motores monofásicos

kW	HP	220 V A	240 V A
0,37	0,5	3,9	3,6
0,55	0,75	5,2	4,8
0,75	1	6,6	6,1
1,1	1,5	9,6	8,8
1,5	2	12,7	11,7
1,8	2,5	15,7	14,4
2,2	3	18,6	17,1
3	4	24,3	22,2
4	5,5	29,6	27,1
4,4	6	34,7	31,8
5,2	7	39,8	36,5
5,5	7,5	42,2	38,7
6	8	44,5	40,8
7	9	49,5	45,4
7,5	10	54,4	50

Motores trifásicos 4 polos 50/60 Hz

kW	HP	230 V A	400 V A	415 V A	440 V A	500 V A	690 V A
0,37	0,5	2	0,98	—	0,99	1	—
0,55	0,75	2,8	1,5	—	1,36	1,21	—
0,75	1	3,6	1,9	2	1,68	1,5	—
1,1	1,5	5,2	2,5	2,5	2,37	2	—
1,5	2	6,8	3,4	3,5	3,06	2,6	—
2,2	3	9,6	4,8	5	4,42	3,8	—
3	4	11,5	6,3	6,5	5,77	5	—
3,7	5	15,2	—	—	—	—	—
4	5,5	—	8,1	8,4	7,9	6,5	—
5,5	7,5	22	11	11	10,4	9	—
7,5	10	28	14,8	14	13,7	12	—
9	12	—	18,1	17	16,9	13,9	—
11	15	42	21	21	20,1	18,4	12,1
15	20	54	28,5	28	26,5	23	16,5
18,5	25	68	35	35	32,8	28,5	20,2
22	30	80	42	40	39	33	24,2
30	40	104	57	55	51,5	45	33
37	50	130	69	66	64	55	40
45	60	154	81	80	76	65	46,8
55	75	192	100	100	90	80	58
75	100	248	131	135	125	105	75,7
90	125	312	162	165	146	129	94
110	150	360	195	200	178	156	113
132	180	—	233	240	215	187	135
147	200	480	222	260	236	207	128
160	220	—	285	280	256	220	165
185	250	600	—	—	—	—	—
200	270	—	352	340	321	281	203
220	300	720	388	385	353	310	224
250	350	840	437	425	401	360	253
280	380	—	—	—	—	—	—
315	430	—	555	535	505	445	321
335	450	1080	—	—	—	—	—
355	480	—	605	580	549	500	350
375	500	1200	—	—	—	—	—
400	545	—	675	650	611	540	390
450	600	1440	800	—	—	—	—
500	680	—	855	820	780	680	494
560	—	—	950	920	870	760	549
630	—	—	1045	1020	965	850	605
710	—	—	1200	1140	1075	960	694
800	1090	—	—	1320	1250	1100	—
900	1220	—	—	1470	1390	1220	—

Potencia activa

en continua	$P = UI$
en monofásica	$P = UI \cos \varphi$
en trifásica	$P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$

con P : potencia activa en vatios
 U : tensión en voltios (en trifásica, tensión entre fases)
 I : corriente en amperios
 $\cos \varphi$: factor de potencia del circuito

Potencia reactiva

en monofásica	$Q = UI \sin \varphi = UI \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$
en trifásica	$Q = UI \sqrt{3} \sin \varphi = UI \sqrt{3} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$

con Q : potencia reactiva en voltamperios reactivos
 U : tensión en voltios (trifásica: tensión entre fases)
 I : corriente en amperios
 $\cos \varphi$: factor de potencia del circuito

Potencia aparente

en monofásica	$S = UI$
en trifásica	$S = UI \sqrt{3}$

con S : potencia aparente en voltamperios
 U : tensión en voltios (trifásica: tensión entre fases)
 I : corriente en amperios

Factor de potencia

$$\cos \varphi = \frac{\text{potencia activa}}{\text{potencia aparente}}$$

Rendimiento

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia activa absorbida}}$$

Corriente absorbida por un motor

en monofásica	$I = \frac{P}{U \eta \cos \varphi}$
en trifásica	$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \eta \cos \varphi}$
en continua	$I = \frac{P}{U \eta}$

con P : potencia activa en vatios
 I : corriente absorbida por el motor en amperios
 U : tensión en voltios (trifásica: tensión entre fases)
 η : rendimiento del motor
 $\cos \varphi$: factor de potencia del circuito

Resistencia de un conductor

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

con R : resistencia del conductor en ohmios
 ρ : resistividad del conductor en ohmios-metros
 l : longitud del conductor en metros
 S : sección del conductor en metros cuadrados

Resistividad

$$\rho_\theta = \rho(1 + \alpha \Delta \theta)$$

con ρ_θ : resistividad a la temperatura θ en ohmios-metros
 ρ : resistividad a la temperatura θ_0 en ohmios-metros
 $\Delta \theta$: $\theta - \theta_0$ en grados Celsius
 α : coeficiente de temperatura en grados Celsius a la potencia menos uno

Ley de Joule

$$W = RI^2 t \text{ en monofásica}$$

con W : energía disipada en julios
 R : resistencia del circuito en ohmios
 I : corriente en amperios
 t : tiempo en segundos

Reactancia inductiva de una inductancia sola

$$X_L = L \omega$$

con X_L : reactancia inductiva en ohmios
 L : inductancia en henrys
 ω : pulsación = $2 \pi f$
 f : frecuencia en hercios

Reactancia capacitiva de una capacidad sola

$$X_C = \frac{1}{C \omega}$$

con X_C : reactancia capacitiva en ohmios
 C : capacidad en faradios
 ω : pulsación = $2 \pi f$
 f : frecuencia en hercios

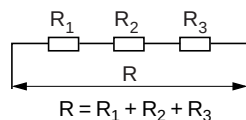
Ley de Ohm

Circuito de resistencia sola	$U = RI$
Circuito de reactancia sola	$U = XI$
Circuito de resistencia y reactancia	$U = ZI$

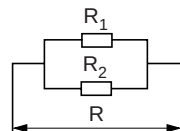
con U : tensión en las bornas del circuito en voltios
 I : corriente en amperios
 R : resistencia del circuito en ohmios
 X : X_L o X_C reactancia del circuito en ohmios
 Z : impedancia del circuito en ohmios

Para la determinación de Z , véase a continuación.

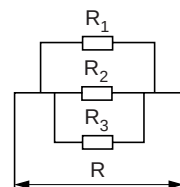
Circuitos de resistencias



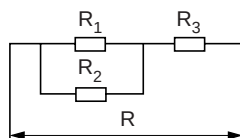
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

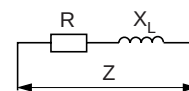


$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$

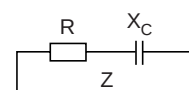


$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

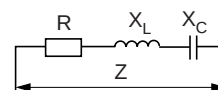
Circuitos de resistencias y reactancias



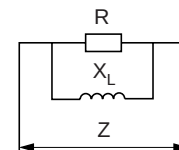
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



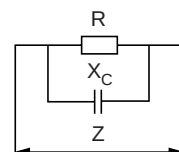
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



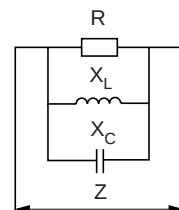
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

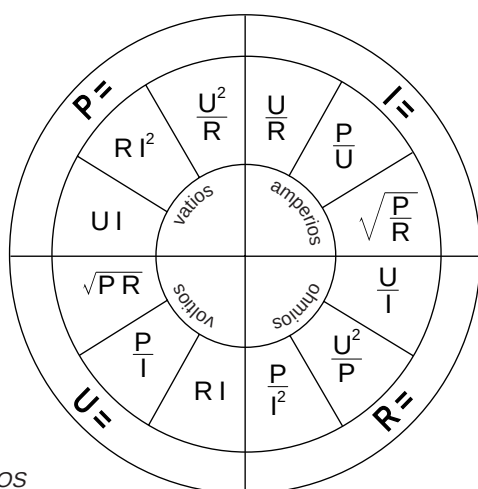


$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R \cdot X_L \cdot X_C}{\sqrt{X_L^2 \cdot X_C^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}$$

Ley de Ohm



SIMBOLOS

U = Tensión en voltios
I = Corriente en amperios
R = Resistencia en ohmios
P = Potencia en vatios

Cálculo de las resistencias de arranque

Para motores de jaula

Resistencia estática

En trifásica

$$R = 0,055 \frac{U}{I_n}$$

con R: valor óhmico de la resistencia por fase en ohmios

U: tensión de la red en voltios

I_n: corriente nominal del motor en amperios

I media = 4,05 I_n

Al encargar una resistencia, indíquese: la duración de la puesta bajo tensión de la resistencia y el número de arranques por hora.

Generalmente solemos considerar 12 arranques por hora de 10 segundos cada uno, siendo 2 de ellos consecutivos a partir del estado frío.

Resistencia para arranque estrella-triángulo de 3 tiempos

$$R = \frac{0,28 U}{I_n}$$

con R: valor óhmico de la resistencia por fase en ohmios

U: tensión de la red en voltios

I_n: corriente nominal del motor en amperios

I media = 1,5 I_n

Al encargar una resistencia, indíquese: el tiempo de acoplamiento de la resistencia y el número de arranques por hora.

Generalmente solemos prever 2 arranques consecutivos de 3 segundos espaciados de 20 segundos.

Autotransformador

Durante el arranque

$$U_{\text{motor}} = k U_{\text{línea}}$$

$$C_{\text{motor}} = k^2 C$$

$$I_{\text{línea}} = k^2 I$$

$$I_{\text{motor}} = k I$$

con k: relación del autotransformador U salida / U línea

C: par en arranque directo

I: corriente en arranque directo

Al encargar un autotransformador, indíquese:

– que se trata de un autotransformador de entrehierro (a ser posible);
– la punta de corriente del motor en arranque directo (indicada por el fabricante del motor);

– el valor de la tensión a la salida con respecto a la tensión de la red, en porcentaje;

– la duración de la puesta bajo tensión del autotransformador y el número de arranques por hora.

Generalmente solemos prever tomas de 0,55 U_n y 0,65 U_n y 5 arranques de 8 segundos por hora. Sin características específicas del motor, tomamos:

$$\frac{I_d}{I_n} = 6.$$

Para motores de anillos

Resistencia unidad (1)

En trifásica

$$R_u = \frac{333 P}{I_r^2}$$

con P: potencia nominal en kilovatios

I_r: corriente rotórica nominal en amperios

R_u: en ohmios

o

$$R_u = \frac{245 P}{I_r^2}$$

con P: potencia nominal en caballos

I_r: corriente rotórica nominal en amperios

Valor de la resistencia al primer tiempo

$$R(1) = \frac{R_u + r}{1.^a \text{ punta}} - r$$

con R(1): valor de la resistencia por fase

R_u: resistencia unidad

r: resistencia interna del motor

1.^a punta: punta de corriente deseada durante el arranque

Valores intermedios de la resistencia

$$R(n) = \frac{R(n-1) + r}{\text{punta}} - r$$

con R(n): valor de la resistencia por fase para ese tiempo

R(n-1): resistencia al tiempo anterior

r: resistencia interna del motor

Punta: punta de corriente deseada al tiempo correspondiente

Punta al último tiempo

$$\text{Punta} = \frac{R(n-1) + r}{r}$$

con Punta: punta de corriente obtenida

R(n-1): resistencia al tiempo anterior

r: resistencia interna del motor

Otra característica

$$I_{\text{media}} = I_r + \frac{I_p - I_r}{3}$$

con I media: corriente térmicamente equivalente

I_r: corriente rotórica nominal

I_p: punta de corriente

Al encargar una resistencia, indíquese: la duración de la puesta bajo tensión de la resistencia, el número de arranques por hora y, en su caso, la posibilidad de frenado a contracorriente.

(1) La resistencia unidad es el valor teórico de la resistencia por fase que se incorpora al circuito rotórico para obtener, estando calado el rotor, el par nominal. Es imprescindible para determinar la resistencia de arranque.

Fórmulas mecánicas

Velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

con ω : velocidad angular en radianes por segundo
n: velocidad de rotación en vueltas por minuto

Frecuencia de rotación en vacío

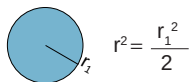
Velocidad de sincronismo de un motor asíncrono

$$\omega = \frac{2pf}{p} \quad \text{o} \quad n = \frac{60f}{p}$$

con ω : velocidad angular en radianes por segundo
n: velocidad de rotación en vueltas por minuto
f: frecuencia de la red en hertzios
p: número de pares de polos del motor

Radio de giro

cilindro compacto



$$r^2 = \frac{r_1^2}{2}$$

cilindro hueco



$$r^2 = \frac{r_1^2 + r_2^2}{2}$$

con r: radio de giro
 r_1 : radio exterior
 r_2 : radio interior

Momento de inercia de un cuerpo de masa m

$$J = mr^2$$

con J: momento de inercia en kilogramos-metros cuadrados
m: masa en kilogramos
r: radio de giro en metros

A veces se expresa con las siguientes fórmulas:

$$J = \frac{MD^2}{4} \quad \text{o} \quad \frac{GD^2}{4} \quad \text{o} \quad \frac{PD^2}{4}$$

Momento de inercia con relación a la velocidad ω

$$J\omega = J'\omega' \frac{\omega^2}{\omega'^2}$$

con $J\omega$: momento de inercia en kilogramos-metros cuadrados con relación a la velocidad angular ω
 $J'\omega'$: momento de inercia en kilogramos-metros cuadrados con relación a la velocidad angular ω'

Par nominal

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

con T_n : par nominal del motor en newtons-metros
 P_n : potencia nominal del motor en vatios
 ω_n : velocidad angular nominal del motor en radianes por segundo

Par acelerador

$$T_a = T_m - T_r$$

con T_a : par acelerador en newtons-metros
 T_m : par motor en newtons-metros
 T_r : par resistente en newtons-metros

Duración de arranque

Duración de arranque de la velocidad 0 a la velocidad ω_n con un par acelerador constante T_a

$$t = \frac{J\omega_n}{T_a} \quad \text{o} \quad t = \frac{J\omega_n^2}{P_n} \frac{1}{(T_a/T_n)}$$

con t: tiempo de arranque en segundos
J: momento de inercia total de las masas en movimiento (motor + carga) en kilogramos-metros cuadrados
 ω_n : velocidad angular nominal en radianes por segundo
 T_a : par acelerador en newtons-metros
 P_n : potencia nominal del motor en vatios
 T_a/T_n : relación del par acelerador con el par nominal del motor

En el caso de pares aceleradores que varían con la velocidad, suelen utilizarse fórmulas prácticas propias de las distintas aplicaciones con el fin de identificarse con casos de pares aceleradores constantes, para permitir cálculos rápidos aproximados. Por ejemplo, en el caso de un arranque rotórico, el par acelerador puede asimilarse, para un cálculo aproximado, a un par constante equivalente:

$$T_a = T_m \text{ mín.} + \frac{T_m \text{ máx.} - T_m \text{ mín.}}{3} - T_r$$

con

T_m mín.: par motor inmediatamente antes del cortocircuitado de una sección de resistencia
 T_m máx.: par motor inmediatamente después del cortocircuitado de dicha sección
 T_r : par resistente supuestamente constante

Fórmulas fundamentales

Sistema internacional de unidades SI: MKSA

Magnitud	Unidades básicas	
longitud	l = metro	m
masa	m = kilogramo	kg
tiempo	t = segundo	s
corriente eléctrica	i = amperio	A

Cinemática (movimiento rectilíneo)

Longitud

l

Velocidad

$$v = \frac{dl}{dt} = \frac{l}{t} \quad \text{en m/s}$$

Aceleración

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{en m/s}^2$$

Dinámica (movimiento rectilíneo)

Fuerza

$$F = m a \quad \text{en N (newton)}$$

Fuerza de puesta en movimiento

$$F = m a$$

Trabajo

$$W = F \times l \quad \text{en J (julio)}$$

Potencia

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fl}{t} = Fv \quad \text{en W (vatio)}$$

$$1 \text{ vatio} = \frac{1 \text{ julio}}{1 \text{ segundo}}$$

Energía

$$W = 1/2 m v^2$$

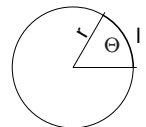
la energía cinética se caracteriza por la velocidad del cuerpo

Cinemática (movimiento circular)

Arco

 Θ en radián, con

$$\Theta = \frac{l}{r}$$



Velocidad angular

$$\omega = \frac{d\Theta}{dt} = \frac{\Theta}{t} \quad \text{en rad/s}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{n en rpm}$$

Velocidad

$$v = \frac{l}{t} = r\omega \quad \omega \text{ en rad/s}$$

Aceleración angular

$$\alpha = \frac{d^2\Theta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{en rad/s}^2$$

Aceleración tangencial

$$a_t = r\alpha \quad \begin{array}{l} \alpha \text{ en rad/s}^2 \\ a \text{ en m/s}^2 \end{array}$$

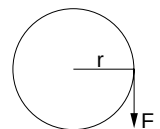
Dinámica (movimiento circular)

Par

$$T = F \times r \quad \begin{array}{l} \text{en N} \cdot \text{m} \\ \text{o J/rad} \end{array}$$

Par de puesta en movimiento

$$C = J \frac{d\omega}{dt}$$

J = momento de inercia en kgm²

Trabajo

$$W = C\Theta \quad \text{en J (Julio)}$$

Potencia

$$P = \frac{C\Theta}{t} = C\omega \quad \text{en W (vatio)}$$

$$P = C \frac{2\pi n}{60} \quad \text{N en rpm}$$

Energía

$$W = 1/2 m r^2 \omega^2 = 1/2 J \omega^2$$

la energía cinética se caracteriza por la velocidad del cuerpo

Regímenes de neutro

En los regímenes de neutro intervienen básicamente:

El neutro

Son los puntos neutros de los transformadores HT/MT y MT/BT, así como los conductores neutros por los que, en régimen equilibrado, no pasa ninguna corriente.

Las masas

Son las partes conductoras accesibles de un material eléctrico que pueden ponerse en tensión en caso de defecto.

La tierra

La tierra puede considerarse como un cuerpo conductor con un potencial que convencionalmente se fija en cero.

Regímenes baja tensión

Existen tres regímenes del neutro en baja tensión definidos por esquemas y referenciados por dos letras. Se trata de los regímenes TN (C o S), TT e IT. La primera letra corresponde a la posición del neutro con respecto a la tierra, y la segunda a la situación de las masas. El significado de cada letra es el siguiente:

T = Tierra N = Neutro I = Impedancia
C = Combinado S = Separado

Esquema TNC

Consiste en un neutro conectado a tierra y las masas al neutro. El conductor neutro y el de protección están combinados.

Esquema TNS

Consiste en un neutro conectado a tierra y las masas al neutro, pero en este caso el conductor neutro está separado del de protección.

Esquema IT

El neutro está directamente conectado a tierra, al igual que las masas, y esto mediante dos tomas de tierra separadas.

Esquema IT

El neutro está conectado a tierra mediante una impedancia o aislado. Las masas están directamente conectadas a tierra.

Estos distintos regímenes permiten adaptar la protección a los locales y a los usos, respetando el tiempo de corte, basado en la duración de la resistencia de un individuo a los efectos de una corriente eléctrica, en función de la tensión de la misma (normalmente 50 V durante 5 segundos y 100 V durante 0,2 segundo).

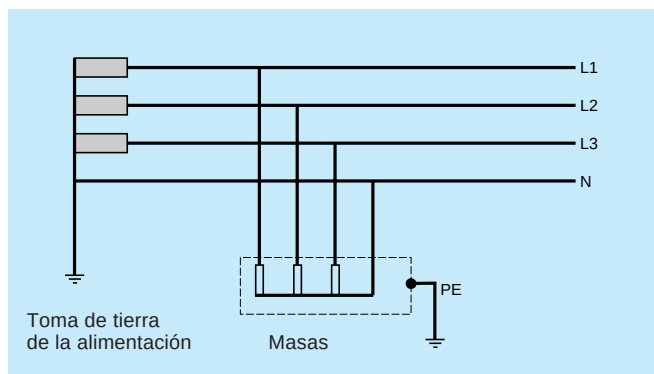
Las redes de distribución de baja tensión de los abonados pueden asimilarse al esquema TT, excepto cuando éstos interponen un transformador de separación que les deja total libertad de elección.

El esquema TT es fácil de aplicar, pero queda restringido a instalaciones de extensión y complejidad limitadas. Se dispara al primer defecto y ofrece total seguridad.

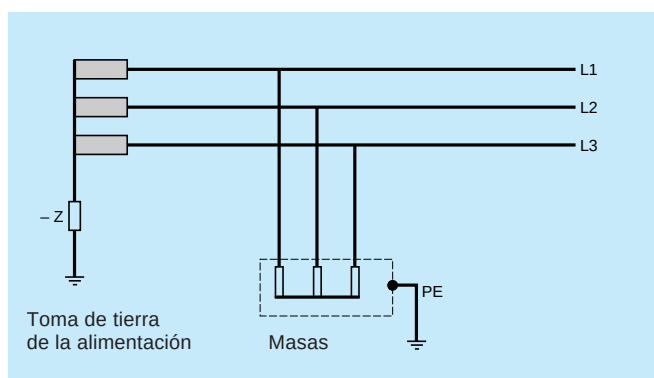
El esquema IT tiene la particularidad de no dispararse hasta el segundo defecto. Así pues, está especialmente indicado en aquellos casos en los que sea necesaria la continuidad del servicio, lo que requiere un mantenimiento estricto para detectar el primer defecto e intervenir antes de que se produzca el segundo.

No obstante, el hecho de garantizar la continuidad de la alimentación sigue sin parecer suficiente a los informáticos, que prefieren el esquema TNS, incrementando las precauciones y los equipos específicos.

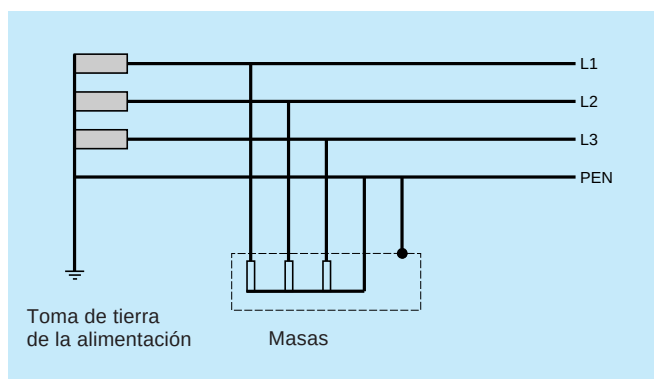
El esquema TN representa, con respecto al anterior, un importante ahorro de instalación. Este régimen es imprescindible con corrientes de fuga importantes.



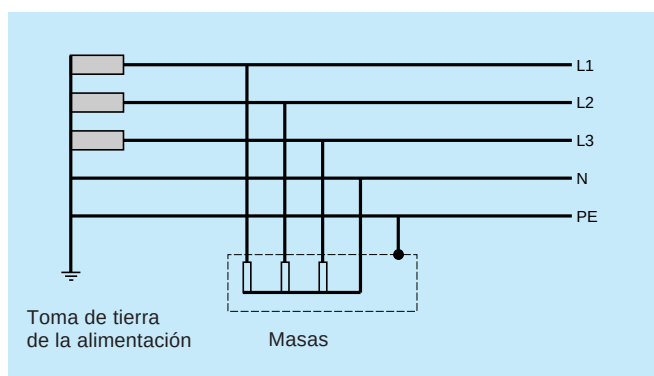
Esquema TT



Esquema IT



Esquema TNC



Esquema TNS

Arrastre de las máquinas

La máquina acoplada al motor presenta básicamente un momento de inercia J ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) al que hay que añadir el del motor, que a veces es importante. El conocimiento de la inercia total permite estudiar los regímenes transitorios (arranques y paradas), pero no interviene en régimen estable.

Movimiento de rotación

Si la máquina es arrastrada mediante un reductor a la velocidad n_1 , su momento de inercia aplicado al motor que gira a la velocidad n_2 se expresa por la fórmula:

$$J \text{ (máquina aplicada al motor)} = J \text{ (máquina)} \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

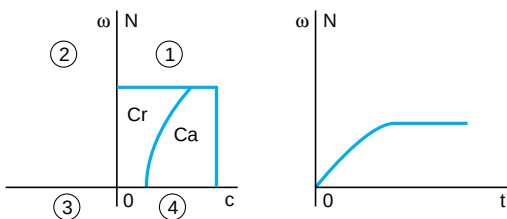
Movimiento de traslación

Si la máquina, de masa m (kg), se desplaza a la velocidad lineal v (m/s), para la velocidad de rotación ω (rad/s) del motor de arrastre, el momento de inercia al nivel del eje de arrastre se expresa por la fórmula:

$$J \text{ (máquina)} = m \frac{v^2}{\omega^2} = m \frac{v^2 \cdot 3600}{4 \pi^2 \cdot n^2} \quad \text{con } \omega = \frac{2 \pi n}{60}$$

Arranque

Para arrancar en un tiempo impuesto t (paso de la parada a una velocidad angular ω), el conocimiento del momento de inercia J permite determinar el par acelerador medio necesario Ca .



$$\begin{aligned} Ca \text{ (N}\cdot\text{m)} &= J \text{ (kg}\cdot\text{m}^2) \frac{d\omega \text{ (rad/s)}}{dt \text{ (s)}} \\ &= J \text{ (kg}\cdot\text{m}^2) \frac{2\pi N \text{ (rpm)}}{60t \text{ (s)}} \end{aligned}$$

El par resistente medio Cr debido a la mecánica y el par acelerador medio Ca determinan el par motor medio Cd necesario durante el tiempo de arranque.

$$Cd = Cr + Ca$$

A la inversa, si se ha fijado un par acelerador Ca , el tiempo de arranque, para Ca constante, se determina por:

$$t = \frac{J\omega}{Ca}$$

En la práctica:

– en corriente continua

$Cd = kCn$, donde Cn = par nominal del motor

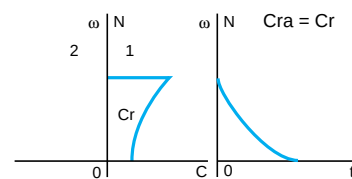
k = coeficiente de sobrecarga del motor. Depende del tiempo de sobrecarga y de la temperatura inicial. Suele estar comprendido entre 1,2 y 1,9 (véase catálogo del fabricante de motores). En esta zona, la corriente inducida y el par pueden ser sensiblemente proporcionales,

– en corriente alterna

Consultar las características de sobrepas y de sobreintensidad, así como las características de empleo indicadas en el catálogo del fabricante.

Parada

Si se deja sola la máquina durante el corte de tensión de alimentación, el par de ralentización es igual al par resistente:



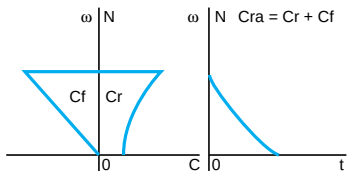
$$Cra = Cr = J \frac{d\omega}{dt}$$

La parada se producirá al cabo de un tiempo (t) vinculado al momento de inercia por la relación:

$$t = \frac{J}{Cr} \omega \text{ si } Cr \text{ es relativamente constante.}$$

Arrastre de las máquinas

Frenado reostático

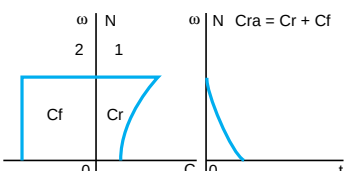


Si el tiempo de parada es inaceptable, debe aumentarse el par de ralentización de un par de frenado eléctrico C_f como:

$$C_{ra} = C_r + C_f = J \frac{d\omega}{dt}$$

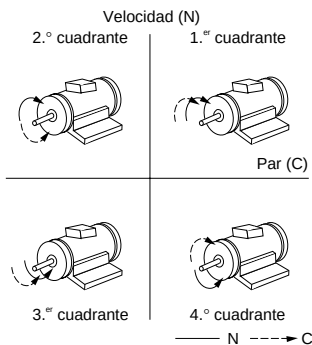
El frenado puede ser de tipo reostático; no obstante, no hay que olvidar que su eficacia es proporcional a la velocidad ($C_f = k\omega$).

Frenado por recuperación



El frenado puede ser por recuperación; se obtiene utilizando variadores reversibles. En limitación de corriente, el par de frenado es constante hasta la parada. La máquina condiciona el dimensionamiento del motor y del equipo que deben responder al régimen permanente, pero también a los regímenes transitorios: arranques frecuentes o rápidos, sacudidas de carga repetidas.

Sentido de funcionamiento

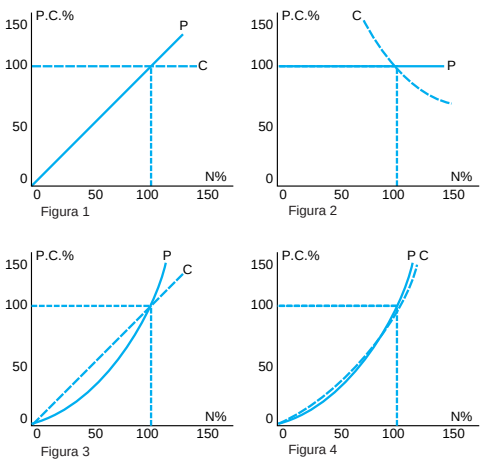


Este gráfico muestra las 4 posibilidades de funcionamiento (4 cuadrantes) en el plano par velocidad. Se resumen en el siguiente cuadro:

Rotación	La máquina funciona	Par C	Velocidad n	Producto $C \times n$	Cuadrante
1.º sentido	en motor	+	+	+	1
	en generador	-	+	-	2
2.º sentido	en motor	-	-	+	3
	en generador	+	-	-	4

Par y potencia

Para determinar correctamente el conjunto motor-variador, es muy importante conocer la característica par/velocidad de las distintas máquinas arrastradas.



En la práctica, todas las máquinas pueden clasificarse en 4 categorías básicas:

- par constante (figura 1),
- potencia constante (figura 2),
- par creciente linealmente con la velocidad $C = kn$, variando la potencia P como el cuadrado de la velocidad (figura 3),
- par decreciente como el cuadrado de la velocidad $C = kn^2$, variando la potencia como el cubo de la velocidad (figura 4).

Un número limitado de máquinas puede tener características de funcionamiento que son el resultado de la combinación de estas distintas categorías.

Tablas de conversión entre unidades usuales

Longitud

Unidades	m	in	ft	yd
1 metro (m)	1	39,37	3,281	1,094
1 pulgada (in. o ")	0,0254	1	0,0833	0,02778
1 pie (ft o ')	0,3048	12	1	0,3333
1 yarda (yd)	0,9144	36	3	1

Superficie

Unidades	m²	sq-in	sq-ft	sq-yd
1 metro cuadrado (m²)	1	1550	10,764	1,196
1 pulgada cuadrada (sq-in) (in²)	6,45 10 ⁻⁴	1	6,944 10 ⁻³	7,716 10 ⁻⁴
1 pie cuadrado (sq-ft) (ft²)	0,0929	144	1	0,111
1 yarda cuadrada (sq-yd) (yd²)	0,8361	1296	9	1

Volumen

Unidades	m³	dm³	cu-in	cu-ft	cu-yd
1 metro cúbico (m³)	1	1000	61024	35,3147	1,3079
1 decímetro cúbico (dm³) (litro)	0,001	1	61,024	0,0353	0,0013
1 pulgada cúbica (cu-in) (in³)	1,639 10 ⁻⁵	0,0164	1	5,787 10 ⁻⁴	2,143 10 ⁻⁵
1 pie cúbico (cu-ft) (ft³)	0,0283	28,32	1728	1	0,0370
1 yarda cúbica (cu-yd) (yd³)	0,7645	764,5	46656	27	1

Masa

Unidades	kg	oz	lb
1 kilogramo (kg)	1	35,27	2,205
1 onza (oz)	0,028	1	0,0625
1 libra (lb)	0,454	16	1

Presión

Unidades	Pa	MPa	bar	psi
1 pascal (Pa) o newton por m² (N/m²)	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1,45 10 ⁻⁴
1 megapascal (MPa) o 1 newton por mm² (N/mm²)	10 ⁶	1	10	145,04
1 bar (bar)	10 ⁵	0,1	1	14,504
1 libra fuerza por pulgada cuadrada 1 lbf/in² (psi)	6895	6,895 10 ⁻³	0,06895	1

Tablas de conversión entre unidades usuales

Velocidad angular

Unidades	rad/s	rpm
1 radián por segundo (rad/s)	1	9,549
1 vuelta por minuto (rpm)	0,105	1

Velocidad lineal

Unidades	m/s	km/h	m/min
1 metro por segundo (m/s)	1	3,6	60
1 kilómetro por hora (km/h)	0,2778	1	16,66
1 metro por minuto (m/min)	0,01667	0,06	1

Potencia

Unidades	W	ch	HP	ft-lbf/s
1 vatio (W)	1	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,341 \cdot 10^{-3}$	0,7376
1 caballo (ch)	736	1	0,9863	542,5
1 horse-power (HP)	745,7	1,014	1	550
1 ft-lbf/s	1,356	$1,843 \cdot 10^{-3}$	$1,818 \cdot 10^{-3}$	1

Fuerza

Unidades	N	kgf	lbf	pdl
1 newton (N)	1	0,102	0,225	7,233
1 kilogramo-fuerza (kgf)	9,81	1	2,205	70,93
1 libra fuerza (lbf)	4,448	0,453	1	32,17
1 poundal (pdl)	0,138	0,0141	0,0311	1

Energía-trabajo-calor

Unidades	J	cal	kW/h	B.t.u.
1 julio (J)	1	0,24	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$9,48 \cdot 10^{-4}$
1 caloría (cal)	4,1855	1	$1,163 \cdot 10^{-6}$	$3,967 \cdot 10^{-3}$
1 kilovatio-hora (kW/h)	$3,6 \cdot 10^6$	$8,60 \cdot 10^5$	1	3412
1 British thermal unit (B.t.u)	1055	252	$2,93 \cdot 10^{-4}$	1

Momento de inercia

Unidades	kg·m ²	lb·ft ²	lb·in ²	oz·in ²
1 kilogramo metro cuadrado	1	23,73	3417	54675
1 libra-pie cuadrado (lb·ft ²)	0,042	1	144	2304
1 libra-pulgada cuadrada (lb·in ²)	$2,926 \cdot 10^{-4}$	$6,944 \cdot 10^{-3}$	1	16
1 onza-pulgada cuadrada (oz·in ²)	$1,829 \cdot 10^{-5}$	$4,34 \cdot 10^{-4}$	0,0625	1