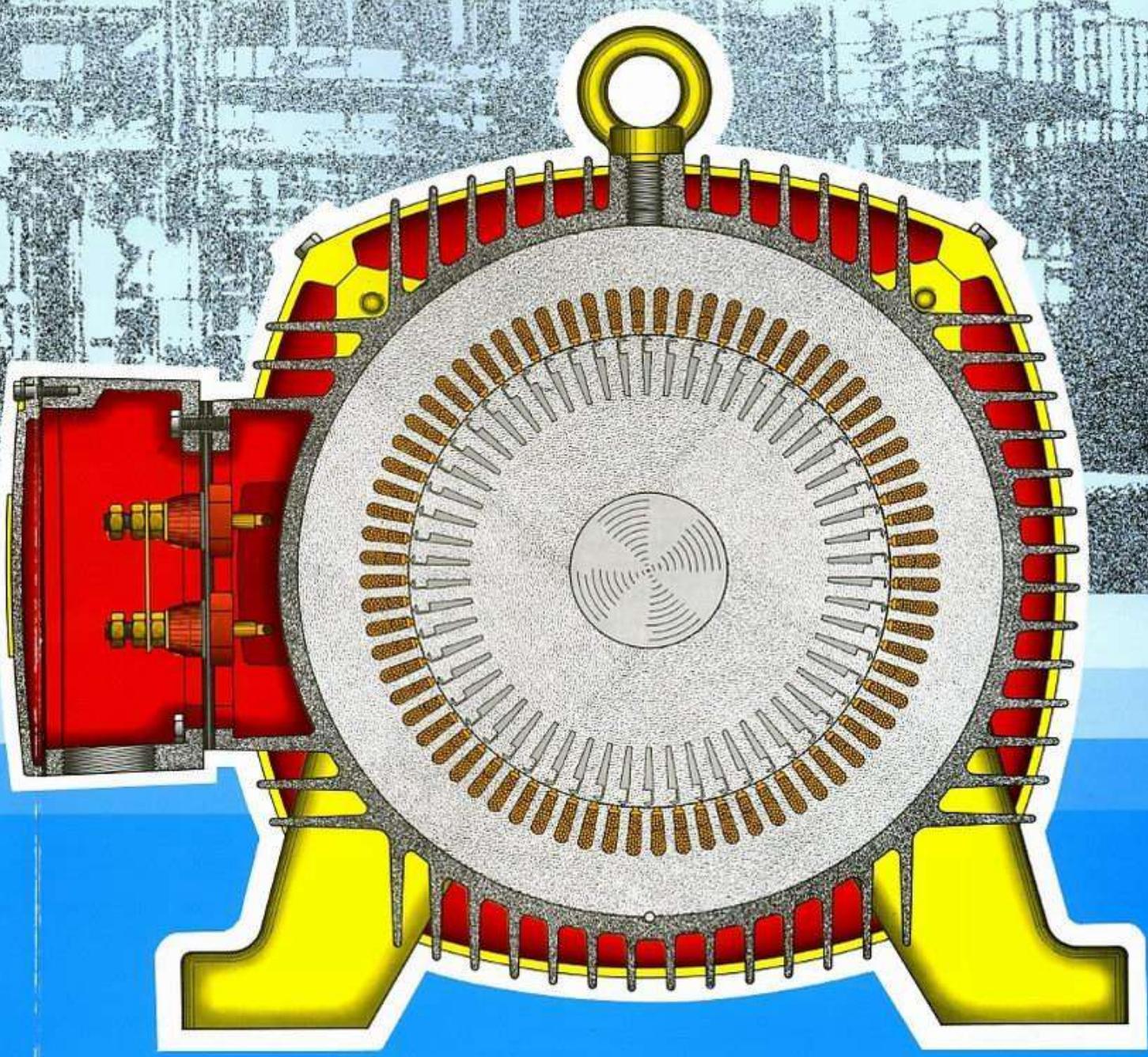
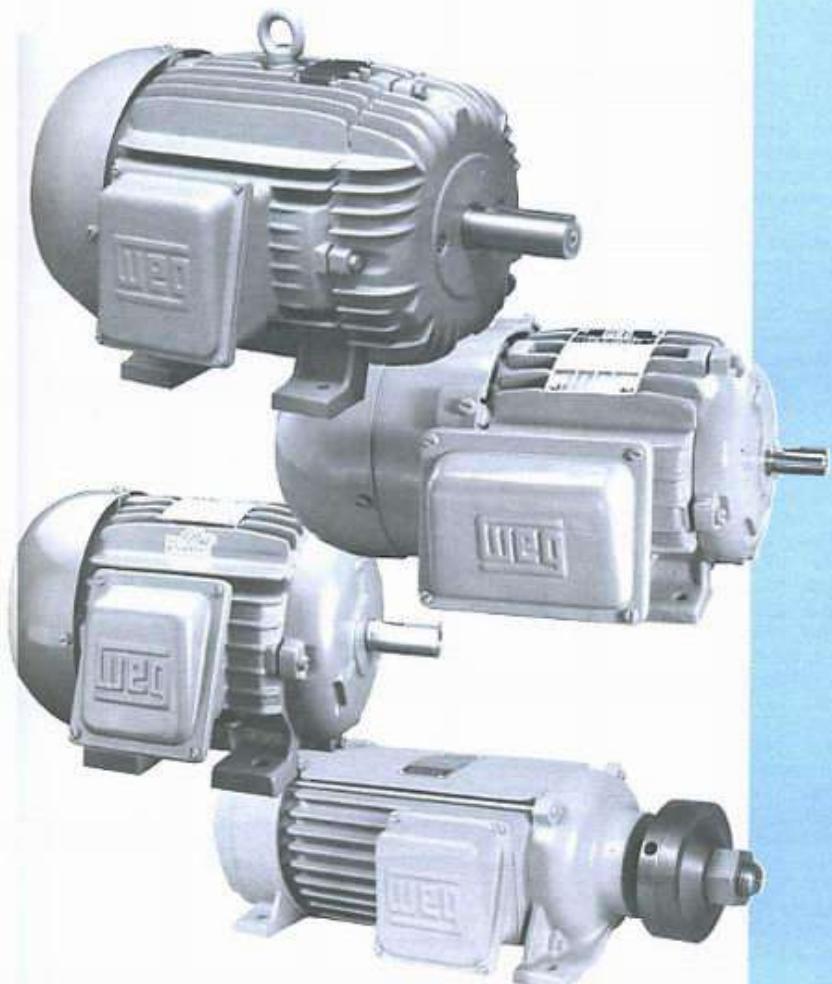




MANUAL DE MOTORES ELECTRICOS



MANUAL DE MOTORES ELECTRICOS



PREFACIO

Donde quiera que exista progreso, la presencia del motor eléctrico es imprescindible. Es lo que acciona máquinas y equipos al servicio del hombre.

El motor eléctrico, al desempeñar un papel de relevancia en nuestros días, necesita ser conocido especialmente en sus principios de funcionamiento, de construcción y de selección.

El "MANUAL DE MOTORES ELECTRICOS WEG" es un trabajo que, lejos de intentar reducir a los expertos en la materia, desea, a través de un lenguaje simple y objetivo, complementar los conocimientos de quienes especifican, compran o venden y de quienes ofrecen servicio técnico o reparan motores eléctricos. Especialmente se desea prestar un servicio de colaboración y orientación más, enfocado a utilizar y manipular correctamente un instrumento de trabajo tan importante.

WEG MOTORES LTDA.

Índice

1. Nociones fundamentales	5
1.1 Motores eléctricos	5
1.2 Conceptos básicos	5
1.2.1 Par	5
1.2.2 Energía y potencia mecánica	5
1.2.3 Energía y potencia eléctrica	6
1.2.3.1 Circuitos de corriente continua	6
1.2.3.2 Circuitos de corriente alterna	6
1.2.4 Potencia aparente, activa y reactiva	6
1.2.5 Triángulo de potencias	7
1.2.6 Factor de potencia	7
1.2.7 Rendimiento	7
1.2.8 Relación entre unidades de potencia	7
1.2.9 Relación entre par y potencia	7
1.3 Sistemas de corriente alterna monofásica	7
1.3.1 Generalidades	7
1.3.2 Conexiones en serie y paralelo	7
1.4 Sistemas de corriente alterna trifásica	8
1.4.1 Conexión triángulo	8
1.4.2 Conexión estrella	8
1.5 Motor de inducción trifásico	9
1.5.1 Principio de funcionamiento (campo giratorio)	9
1.5.2 Velocidad síncrona	10
1.5.3 Deslizamiento	10
2. Características de la red de alimentación	11
2.1 El sistema	11
2.1.1 Trifásico	11
2.1.2 Monofásico	11
2.1.2.1 Monofásico con retorno por tierra (MRT)	11
2.2 Tensión nominal	11
2.2.1 Tolerancia de variación de tensión	11
2.2.2 Tensión nominal múltiple	12
2.2.3 Tensiones y conexiones normales	12
2.3 Frecuencia nominal (Hz)	12
2.3.1 Tolerancia de variación de frecuencia	12
2.3.2 Conexión en frecuencias diferentes	13
2.4 Limitación de la corriente de arranque en motores trifásicos	13
2.4.1 Arranque con llave estrella-tríangulo (Y - A)	13
2.4.2 Arranque con llave compensadora (autotransformador)	14
2.4.3 Comparación entre llaves "Y - Δ" y compensadora "automáticas"	15
2.4.4 Arranque con llave serie-paralelo	15
2.4.5 Arranque con resistor primario	15
2.4.6 Arranque con inductancia primaria	15
2.4.7 Arranque electrónico (soft-start)	15
2.5 Sentido de rotación de motores de inducción trifásicos	15
3. Características de aceleración	15
3.1 Par	15
3.1.1 Curva par x velocidad	16
3.1.2 Categorías - valores mínimos normalizados	16
3.1.3 Características de los motores Weg	18
3.2 Inercia de la carga	18
3.3 Tiempo de aceleración	18
3.4 Régimen de arranque	18
3.5 Corriente con rotor bloqueado	19
3.5.1 Valores máximos normalizados	19
3.5.2 Indicación de la corriente	19
4. Regulación de velocidad en motores de inducción asincrónicos	20
4.1 Introducción	20
4.2 Variación de la cantidad de polos	20
4.2.1 Motores de dos velocidades con bobinados separados	20
4.2.2 Motores de dos velocidades con bobinado por conmutación de polos	20
4.2.3 Motores con más de dos velocidades	20
4.3 Variación del deslizamiento	20
4.3.1 Variación de la resistencia rotórica	20
4.3.2 Variación de la tensión del estator	21
4.4 Variación de la frecuencia	21
4.4.1 Consideraciones sobre la aplicación de motores con control de velocidad por conversores de frecuencia	21
5. Características en régimen	22
5.1 Aumento de temperatura, clase de aislación	22
5.1.1 Calentamiento del bobinado	22
5.1.2 Vida útil del motor	22
5.1.3 Clases de aislación	23
5.1.4 Medida de aumento de temperatura del bobinado	23
5.1.5 Aplicación a motores eléctricos	23
5.2 Protección térmica de motores eléctricos	23
5.2.1 Termoresistencias (Pt-100)	24
5.2.2 Termistores (PTC y NTC)	24
5.2.3 Termostatos	24
5.2.4 Protectores térmicos	24
5.3 Régimen de servicio	25
5.3.1 Regímenes normalizados	25
5.3.2 Designación del régimen tipo	27
5.3.3 Potencia nominal	28
5.3.4 Potencias equivalentes para cargas de pequeña inercia	28
5.4 Factor de servicio (FS)	28
5.5 Velocidad nominal	28
5.6 Corriente nominal (A)	29
5.7 Rendimiento	29
5.7.1 Importancia del rendimiento	29
5.8 Factor de potencia	29
5.8.1 Importancia del factor de potencia	29
5.8.2 Corrección del factor de potencia	29
6. Características del ambiente	31
6.1 Altitud	31
6.2 Temperatura ambiente	31
6.3 Determinación de la potencia útil del motor para diversas condiciones de temperatura y altitud	31
6.4 Atmósfera ambiente	31
6.4.1 Ambientes agresivos	31
6.4.2 Ambientes conteniendo polvo o fibras	31
6.4.3 Lugares donde la ventilación del motor es perjudicada	32
6.4.4 Ambientes peligrosos	32
6.5 Grados de protección	32
6.5.1 Código de identificación	32
6.5.2 Tipos usuales de protección	32
6.5.3 Motores a prueba de ambientes agresivos	32
6.6 Ventilación	33
6.7 Resistencia de calentamiento	34
6.8 Límites de ruidos	34
7. Ambientes peligrosos	36
7.1 Áreas de riesgo	36
7.2 Atmósfera explosiva	36
7.3 Clasificación de las áreas de riesgo	36
7.4 Clases de temperatura	36
7.5 Equipos para áreas de riesgo	37
7.6 Equipos de seguridad aumentada (protección Ex-e)	37
7.7 Equipos con carcasa/gabinete a prueba de explosión (protección Ex-d)	37
8. Características constructivas	38
8.1 Dimensiones	38
8.2 Formas constructivas normalizadas	38
8.3 Motores con brida de sujeción	41
8.4 Motofreno trifásico (monodisco)	41
8.4.1 Descripción general	41
8.4.2 Aplicaciones	41
8.4.3 Funcionamiento del freno	42
8.4.4 Instalación	42
8.5 Pintura	42
8.6 Vibración	42
8.6.1 Libre suspensión	42
8.6.2 Chaveta	42
8.6.3 Puntos de medición	42
8.7 Balanceo	43
8.7.1 Definición	43
8.7.2 Tipos de balanceo	43
8.8 Puesta a tierra	43
8.8.1 Finalidad de la puesta a tierra	43
8.8.2 Calibres mínimos de conductores de puesta a tierra	43
8.9 Elementos de transmisión	44
8.10 Esfuerzos axiales y radiales	44
8.11 Placa de identificación	48
9. Selección y aplicación de los motores eléctricos trifásicos	49
9.1 Guía de selección del tipo de motor para diferentes cargas	51
10. Ensayos	52
10.1 Ensayos de rutina	52
10.2 Ensayos de tipo	52
10.3 Ensayos de prototipo	52
10.4 Ensayos especiales	52
11. Anexos	53
11.1 Sistema Internacional de Unidades - SI	53
11.2 Conversión de unidades	53
11.3 Apéndice de Normas	55

1. Nociones fundamentales

1.1 Motores eléctricos

El motor eléctrico es una máquina destinada a transformar energía eléctrica en energía mecánica. Es el más usado de todos los tipos de motores, ya que combina las ventajas de la utilización de la energía eléctrica - bajo costo, facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de comando - con su construcción simple, costo reducido, gran versatilidad de adaptación a las cargas más diversas y mejores rendimientos.

Los tipos de motores eléctricos más comunes son:

a) Motores de corriente continua

Son motores de costo más elevado y además precisan de una fuente de corriente continua o un dispositivo que convierta la corriente alterna común en continua. Pueden funcionar con velocidad ajustable entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión. Por eso su uso es restringido a casos especiales en que estas exigencias compensan el costo mucho más alto de la instalación.

b) Motores de corriente alterna

Son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente en corriente alterna. Los principales tipos son:

- Motor sincrónico: Funciona con velocidad fija; utilizado solamente para grandes potencias (debido a su alto costo en tamaños menores) o cuando se necesita de velocidad invariable.
- Motor de inducción: Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas que se encuentran en la práctica.

EL UNIVERSO TECNOLOGICO EN MOTORES ELECTRICOS

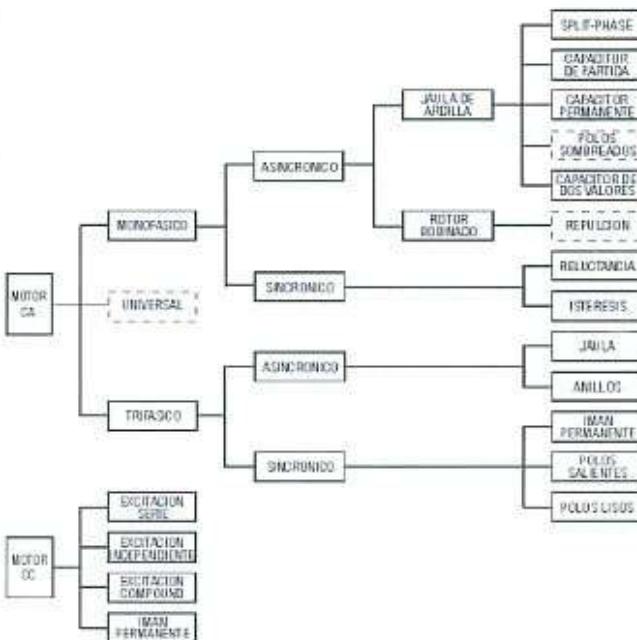


Tabla 1.1

1.2 Conceptos básicos

A continuación serán presentados los conceptos de algunas variables básicas, cuya comprensión es necesaria para acompañar mejor las explicaciones de las otras partes de este manual.

1.2.1 Par

El par (también llamado momento binario, o torque) es la medida de la fuerza necesaria para girar un eje.

Es sabido por la experiencia práctica que para levantar un peso mediante un proceso semejante al usado en pozos de agua - ver figura 1.1 - la fuerza F que es preciso aplicar a la manivela depende del largo ℓ de la misma. Cuanto más larga sea la manivela, menor será la fuerza necesaria.

Si aumentamos el tamaño ℓ de la manivela al doble, la fuerza F necesaria disminuye a la mitad.

En el ejemplo de la figura 1.1, si el balde pesa 20N y el diámetro del tambor es de 0,20 m, la cuerda transmitirá una fuerza de 20N en la superficie del tambor, o sea a 0,10 m del eje del tambor. Para contrarrestar esta fuerza se precisan 10N en la manivela si el largo ℓ fuera 0,20 m. Si ℓ fuera el doble, o sea 0,40 m, la fuerza F sería la mitad, o sea 5N.

Como vemos, para medir la "fuerza" necesaria para hacer girar el eje no basta definir la fuerza empleada: es preciso decir también a qué distancia del eje es aplicada la fuerza. La "fuerza" es medida por el par que es el producto de la fuerza por la distancia, $F \times \ell$.

En el ejemplo citado, el par vale:

$$C = 20N \times 0,10m = 10N \times 0,20m = 5N \times 0,40m = 2,0Nm.$$

Las unidades utilizadas aquí son las del Sistema Internacional (SI), el cual será utilizado en este manual (ver capítulo 11).

$$C = F \cdot \ell \quad (Nm)$$

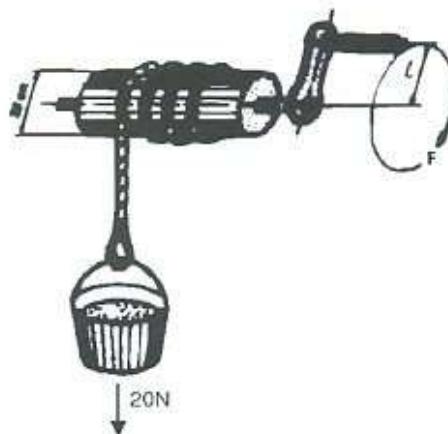


Figura 1.1

1.2.2 Energía y potencia mecánica

La potencia mide la "rapidez" con que la energía es aplicada o consumida. En el ejemplo anterior, si el pozo tiene 24,5 metros de profundidad, la energía gastada o el trabajo realizado para subir el balde del fondo hasta la boca del pozo es siempre la misma, valiendo $20N \times 24,5m = 490Nm$ (note que la unidad de medida de energía mecánica, Nm, es la misma que usamos para el par - pero se trata de variables de naturaleza diferente que no deben ser confundidas).

$$W = F \cdot d \quad (Nm)$$

$$OBS.: 1Nm = 1J = W \cdot \Delta t$$

La potencia indica la rapidez con que esta energía es aplicada y se calcula dividiendo la energía o trabajo total por el tiempo utilizado en realizarlo. Así, si usamos un motor eléctrico capaz de subir el balde de agua en 2,0 segundos, la potencia necesaria sería:

$$P_1 = \frac{490}{2,0} = 245W$$

Si usáramos un motor más potente, con capacidad para realizar el trabajo en 1,3 segundos y la potencia necesaria sería:

$$P_2 = \frac{490}{1,3} = 377W$$

La unidad más usual para la medida de la potencia mecánica es el cv (caballo-vapor), equivalente a 736W. Entonces las potencias de los dos motores mencionados sería:

$$P_1 = \frac{245}{736} = \frac{1}{3} \text{ cv} \qquad P_2 = \frac{377}{736} = \frac{1}{2} \text{ cv}$$

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot d}{t} \quad (\text{W})$$

como, 1cv = 736W entonces,

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot d}{736 \cdot t} \quad (\text{cv})$$

Para movimientos circulares:

$$C = F \cdot r \quad (\text{N.m})$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (\text{m/s})$$

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot v}{736} \quad (\text{cv})$$

donde: C = par en Nm

F = fuerza en N

C = brazo de palanca en m

r = radio de la polea en m

v = velocidad angular en m/s

d = diámetro de la pieza en m

n = velocidad en rpm.

1.2.3 Energía y potencia eléctrica

A pesar de que la energía es una sola cosa, puede ser presentada en formas diferentes. Si conectamos una resistencia a una red eléctrica con tensión, pasará una corriente eléctrica que terminará calentando la resistencia. Esta absorbe energía y la transforma en calor, que también es una forma de energía. Un motor eléctrico absorbe energía eléctrica de la red y la transforma en energía mecánica disponible en la punta de eje.

1.2.3.1 Circuitos de corriente continua

La "potencia eléctrica", en circuitos de corriente continua, puede ser obtenida a través de la relación entre la tensión (U), corriente (I) y resistencia (R) del circuito, o sea:

$$P = U \cdot I \quad (\text{W})$$

O,

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (\text{W})$$

O,

$$P = R I^2 \quad (\text{W})$$

Donde: U = Tensión en voltios

I = Corriente en amperes

R = Resistencia en ohms

P = Potencia media en watts

1.2.3.2 Circuitos de corriente alterna

a) Resistencia:

En el caso de "resistencias", cuanto mayor sea la tensión de la red, mayor será la corriente y más rápido se calentará la resistencia. Esto quiere decir que la potencia eléctrica será mayor. La potencia eléctrica absorbida de la red, en el caso de la resistencia, es calculada multiplicando la tensión de la red por la corriente, si la resistencia "carga" fuera monofásica.

$$P = U \cdot I \quad (\text{W})$$

En el sistema trifásico la potencia en cada fase de carga será $P_i = U_i \cdot I_i$, como si fuese un sistema monofásico independiente. La potencia total será la suma de las potencias de las tres fases, o sea:

$$P = 3P_i = 3 \times U_i \cdot I_i$$

Recordando que el sistema trifásico puede ser conectado en estrella o triángulo, tenemos las siguientes relaciones:

$$\text{Conexión estrella: } U = \sqrt{3} \cdot U_i \quad \text{y} \quad I = I_i$$

$$\text{Conexión triángulo: } U = U_i \quad \text{y} \quad I = \sqrt{3} \cdot I_i$$

Así, la potencia total para ambas conexiones será:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (\text{W})$$

OBS.:

Esta expresión vale para la carga formada por resistencias, donde no hay desfasaje de la corriente.

b) Cargas reactivas

Para las "cargas reactivas", o sea donde existe desfasaje, como es el caso de los motores de inducción, este desfasaje tiene que ser tenido en cuenta y la expresión es:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi \quad (\text{W})$$

La unidad de medida usual para la potencia eléctrica es el watt (W), correspondiente a 1 volt x 1 ampere, o su múltiplo, el kilowatt = 1000 watts. Esta unidad también es usada para medir la potencia mecánica. La unidad de medida usual para la energía eléctrica es el kilowatt·hora (kWh) correspondiente a la energía suministrada por una potencia de 1kW funcionando durante una hora - es la unidad que aparece en la cuentas de luz para la cobranza.

1.2.4 Potencia aparente, activa y reactiva

Potencia aparente (S)

Es el resultado de multiplicar la tensión por la corriente ($S = U \times I$ para sistemas monofásicos y $S = \sqrt{3} \times U \times I$ para sistemas trifásicos). Corresponde a la potencia real o "potencia activa" que existiría si no hubiese desfasaje de la corriente, o sea, si la carga fuese formada por resistencias. Entonces,

$$S = \frac{P}{\cos \phi} \quad (\text{V.A})$$

Evidentemente para las cargas resitivas, $\cos \phi = 1$ y la potencia activa queda igual a la potencia aparente.

La unidad de medida para la potencia aparente es el volt-ampere (VA) o su múltiplo, el kilo-volt-ampere (kVA).

Potencia activa (P)

Es la porción de potencia aparente que realiza trabajo, o sea que es transformada en energía.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \quad (\text{W})$$

O,

$$P = S \cdot \cos \phi \quad (\text{W})$$

Potencia reactiva (Q)

Es la porción de potencia aparente que "no" realiza trabajo. Apenas es transferida y almacenada en los elementos reactivos (capacitores e inductancias) del circuito.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \phi \quad (\text{V.Ar})$$

O,

$$Q = S \cdot \sin \phi \quad (\text{V.Ar})$$

1.2.5 Triángulo de potencias

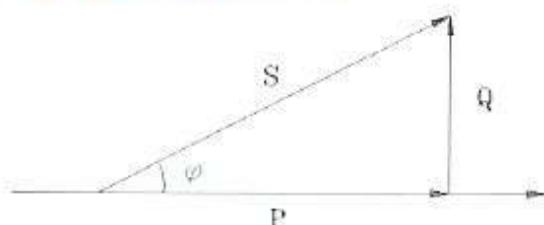


Figura 1.2 - Triángulo de potencias (carga inductiva)

1.2.6 Factor de potencia

El factor de potencia, indicado por $\cos\phi$, donde ϕ es el ángulo de desfasaje de la tensión en relación a la corriente, es la relación entre la potencia real activa P y la potencia aparente S (figura 1.2).

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P(\text{kW}) \times 1000}{\sqrt{3} \times U \cdot I}$$

Si,

- Carga Resistiva: $\cos\phi = 1$

- Carga Inductiva: $\cos\phi$ atrasado

- Carga Capacitiva: $\cos\phi$ adelantado

Los términos atrasado y adelantado se refieren a la fase de corriente en relación a la fase de tensión.

1.2.7 Rendimiento

El motor eléctrico absorbe energía eléctrica de la línea y la transforma en energía mecánica disponible en el eje. El rendimiento define la eficiencia con que se realiza esta transformación.

Tomando "Potencia útil" P_u a la potencia mecánica disponible en el eje y "Potencia absorbida" P_a a la potencia eléctrica que el motor saca de la red, el rendimiento será la relación entre ambas, o sea:

$$\eta = \frac{P_u(\text{W})}{P_a(\text{W})} = \frac{736 \times P(\text{cv})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi} = \frac{1000 \times P(\text{kW})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi}$$

$$\eta\% = \frac{736 \times P(\text{cv})}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi} \times 100$$

1.2.8 Relación entre unidades de potencia

$$P(\text{kW}) = 0,736 P(\text{cv}) \quad \text{o} \quad P(\text{cv}) = 1.359 (\text{kW})$$

1.2.9 Relación entre par y potencia

Cuando la energía mecánica es aplicada bajo la forma de movimiento rotativo, la potencia desarrollada depende del par C y de la velocidad de rotación n . Las relaciones son:

$$\begin{aligned} (cv) &= \frac{C(\text{kgfm}) n(\text{rpm})}{716} = \frac{C(\text{Nm}) n(\text{rpm})}{7024} \\ &\quad \text{o} \\ P(\text{kW}) &= \frac{C(\text{kgfm}) n(\text{rpm})}{974} = \frac{C(\text{Nm}) n(\text{rpm})}{9555} \end{aligned}$$

versamente

$$\begin{aligned} (kgfm) &= \frac{716 \times P(\text{cv})}{n(\text{rpm})} = \frac{974 \times P(\text{kW})}{n(\text{rpm})} \\ (Nm) &= \frac{7024 \times P(\text{cv})}{n(\text{rpm})} = \frac{9555 \times P(\text{kW})}{n(\text{rpm})} \end{aligned}$$

1.3 Sistemas de corriente alterna monofásica

1.3.1 Generalidades

La corriente alterna se caracteriza por el hecho de que la tensión (voltaje), en vez de permanecer fija como entre los polos de una batería, varía con el tiempo, cambiando de sentido alternadamente (de donde sale su nombre).

En el sistema monofásico, una tensión alterna U (volt) es generada y aplicada entre dos cables, a los que se conecta la carga, que absorbe una corriente I (ampere) - ver figura 1.3a.

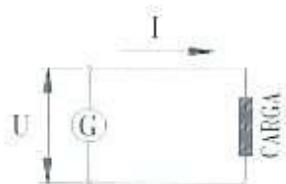


Figura 1.3a

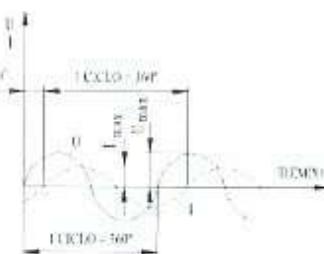


Figura 1.3b

Si representamos en un gráfico los valores de U e I para cada instante, vamos a obtener la figura 1.3b. En ésta también están indicados algunos parámetros que serán definidos enseguida. Note que las ondas de tensión y de corriente no están "en fase", o sea no pasan por el valor cero al mismo tiempo aunque tengan la misma frecuencia; esto sucede para muchos tipos de carga, por ejemplo, bobinados de motores (cargas reactivas).

Frecuencia

Es el número de veces por segundo que la tensión cambia de sentido y vuelve a la condición inicial. Se expresa en "ciclos por segundo" o "Hertz" y se simboliza "Hz".

Tensión máxima (U_{max})

Es el valor "pico" de la tensión, o sea, el mayor valor instantáneo alcanzado por la tensión durante un ciclo (este valor es alcanzado dos veces por ciclo, una vez en positivo y otra en negativo).

Corriente máxima (I_{max})

Es el valor "pico" de la corriente.

Valor eficaz de tensión y corriente (U y I)

Es el valor de tensión y corriente continuas que desarrollan una potencia correspondiente a aquella desarrollada por la corriente alterna. Se puede demostrar que el valor eficaz vale: $U = U_{\text{max}} / \sqrt{2}$ y $I = I_{\text{max}} / \sqrt{2}$.

Por ejemplo: Si conectamos una "resistencia" a un circuito de corriente alterna ($\cos\phi = 1$) con $U_{\text{max}} = 311$ voltios e $I_{\text{max}} = 14,14$ amperes, la potencia desarrollada será:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \cdot \cos\phi = \frac{1}{2} U_{\text{max}} \cdot I_{\text{max}} \cdot \cos\phi \\ P &= 2.200 \text{ watts} \end{aligned}$$

OBS.: En el lenguaje normal, cuando se habla de tensión y corriente sin especificar nada más, por ejemplo 220 voltos o 10 amperes, nos estamos refiriendo a los valores eficaces de la tensión o la corriente, que son los empleados en la práctica.

Desfasaje (ϕ)

Es el "atraso" de la onda de corriente en relación a la onda de tensión (ver figura 1.3b). En vez de ser medido en tiempo (segundos), este atraso es generalmente medido en ángulos (grados) correspondiente a la fracción de un ciclo completo, considerando 1 ciclo = 360°. Aún más común es expresarlo por el coseno de ese ángulo (ver ítem "1.2.6 - Factor de potencia").

1.3.2 Conexiones en serie y paralelo

La conexión de dos cargas iguales a un sistema monofásico puede ser efectuada de dos modos:

- conexión en serie (figura 1.4a), en la que las dos cargas son atravesadas por

la corriente total del circuito. En este caso, la tensión en cada carga será la mitad de la tensión del circuito para cargas iguales.

- conexión en paralelo (figura 1.4b), en la que se aplica a las dos cargas la tensión del circuito. En este caso, la corriente en cada carga será la mitad de la corriente total del circuito para cargas iguales.

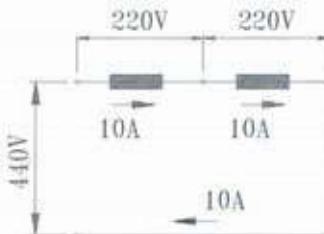


Figura 1.4a

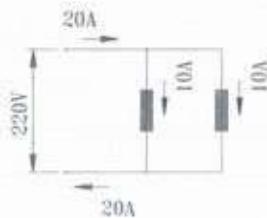


Figura 1.4b

1.4 Sistemas de corriente alterna trifásica

El sistema trifásico es formado por la asociación de tres sistemas monofásicos de tensiones U_1 , U_2 y U_3 tales que el desfasaje entre las mismas sea 120° , o sea, los "atrasos" de U_2 en relación a U_1 , de U_3 en relación a U_2 y de U_1 en relación a U_3 sean igual a 120° (considerando un ciclo completo = 360°). El sistema es equilibrado si las tres tensiones tienen el mismo valor eficaz $U_1 = U_2 = U_3$, según la figura 1.5.

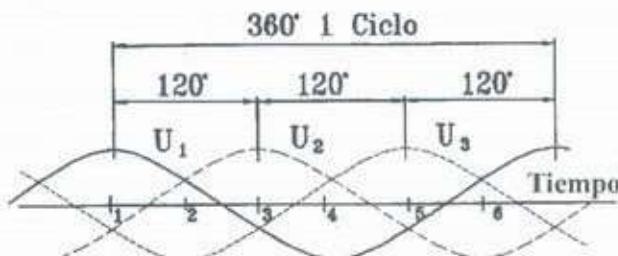
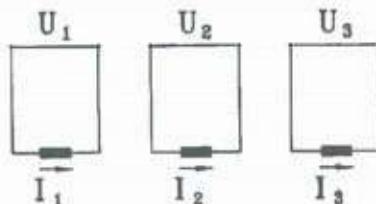


Figura 1.5

Conectando entre sí los tres sistemas monofásicos y eliminando los cables innecesarios, tendremos un sistema trifásico: tres tensiones U_1 , U_2 y U_3 equilibradas, desfasadas 120° entre sí y aplicadas entre los tres cables del sistema. La conexión puede ser efectuada de dos formas, representadas en los esquemas siguientes. En estos esquemas se acostumbra representar las tensiones como flechas inclinadas o vectores giratorios, manteniendo entre sí el ángulo correspondiente al desfasaje (120°), conforme a las figuras 1.6 y 1.7.

1.4.1 Conexión triángulo

Si conectáramos los tres sistemas monofásicos entre sí, como indica la figura 1.6, podremos eliminar tres cables, dejando sólo uno en cada punto de conexión, y el sistema trifásico quedará reducido a tres cables L_1 , L_2 y L_3 .

Tensión de línea (U)

Es la tensión nominal del sistema trifásico aplicada entre dos cables cualquiera de los tres cables L_1 , L_2 y L_3 .

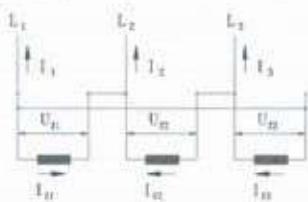


Figura 1.6a - Conexiones

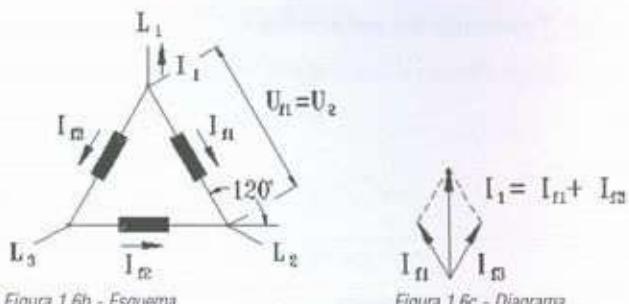


Figura 1.6b - Esquema

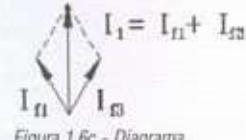


Figura 1.6c - Diagrama

Corriente de línea (I)

Es la corriente en cualquiera de los tres cables L_1 , L_2 y L_3 .

Tensión y corriente de fase (U e I)

Son tensión y corriente de cada uno de los tres sistemas monofásicos considerados.

Examinando el esquema de la figura 1.6b, se ve que:

$$U = U_1$$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_n = 1,732 I_n$$

$$I = I_n + I_{n2}$$

Ejemplo: Tenemos un sistema trifásico equilibrado con tensión nominal 220 volts. La corriente de línea medida es 10 amperes. Conectando a este sistema una carga trifásica compuesta por tres cargas iguales conectadas en triángulo, cuál es la tensión y la corriente en cada una de las cargas?

Tenemos $U_1 = U_2 = U_3 = 220$ volts en cada una de las cargas.

Si $I = 1,732 \times I_n$, tenemos $I_n = 0,577 \times I = 0,577 \times 10 = 5,77$ amperes en cada una de las cargas.

1.4.2 Conexión estrella

Conectando uno de los cables de cada sistema monofásico a un punto común a los tres, los tres cables restantes forman un sistema trifásico en estrella (figura 1.7a).

A veces, el sistema trifásico en estrella es "a cuatro cables" o "con neutro". El cuarto cable es conectado al punto común a las tres fases. La tensión de línea o tensión nominal del sistema trifásico y la corriente de línea, son definidas del mismo modo que en la conexión triángulo.

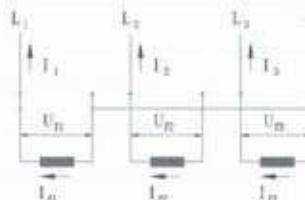


Figura 1.7a - Conexiones

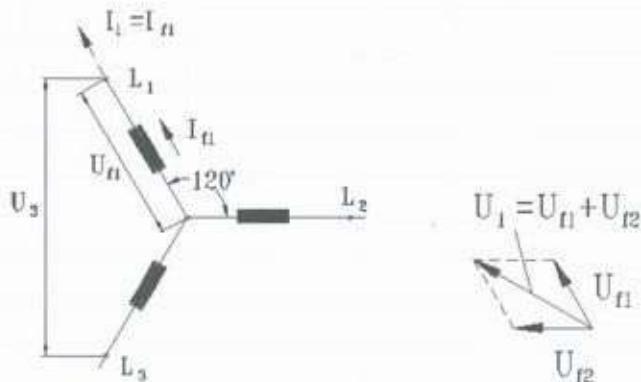


Figura 1.7b - Esquema

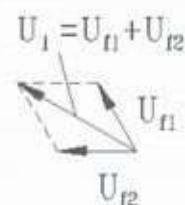


Figura 1.7c - Diagrama

Examinando el esquema de la figura 1.7b, se ve que:

$$I =$$

$$U = \sqrt{3} \cdot U_0 = 1,732 U_0$$

$$U = U_p + U_d \quad (\text{figura 1.7c})$$

Ejemplo: Tenemos una carga trifásica compuesta de tres cargas iguales; cada carga está hecha para ser conectada a una tensión de 220 volts, absorbiendo 5,77 amperes.

¿Cuál es la tensión nominal del sistema trifásico que alimenta esta carga en sus condiciones normales (220 volts y 5,77 amperes)? Cuál es la corriente de línea?

Tenemos: $U_0 = 220$ volts (normal de cada carga)

$$U = 1,732 \times 220 = 380$$
 volts

$$I = I_p = 5,77$$
 amperes

1.5 Motor de inducción trifásico

El motor a inducción trifásico (figura 1.8) está compuesto fundamentalmente por dos partes: estator y rotor.

Estator

- Carcasa (1) - es la estructura soporte del conjunto; de construcción robusta en hierro fundido, acero o aluminio inyectado, resistente a la corrosión y presenta aletas.
- Núcleo de chapas (2) - las chapas son de acero magnético, tratadas térmicamente para reducir al mínimo las pérdidas en el hierro.
- Bobinado trifásico (8) - tres conjuntos iguales de bobinas, una para cada fase, formando un sistema trifásico conectado a la red de alimentación.

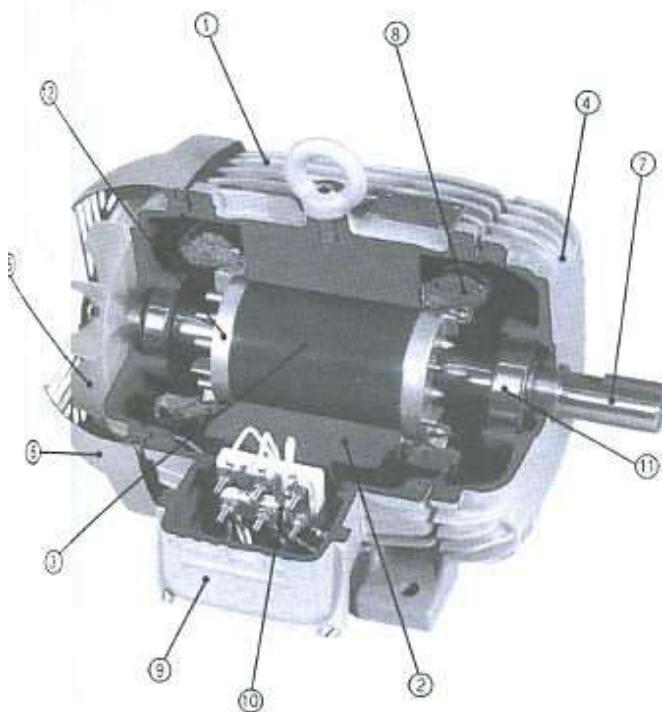


Figura 1.8 - Motor de inducción trifásico

Rotor

- Eje (7) - transmite la potencia mecánica desarrollada por el motor. Es tratado térmicamente para evitar problemas como deformación y fatiga.
- Núcleo de chapas (3) - las chapas poseen las mismas características que las del estator.
- Barras y anillos de cortocircuito (12) - son de aluminio, fundidos a presión en una única pieza.

Otras partes del motor a inducción trifásico:

- Tapas (4)
- Ventilador (5)
- Protección del ventilador (6)
- Caja de conexiones (9)
- Placa de bornes (10)
- Rodamientos (11)

El objetivo de este manual es el motor de "jaula de ardilla", cuyo rotor está construido por un conjunto de barras no aisladas e interconectadas por anillos de corto circuito.

Lo que caracteriza al motor de inducción es que sólo el estator es conectado a la red de alimentación. El rotor no es alimentado externamente y las corrientes que circulan en él, son inducidas electromagnéticamente por el estator, de donde surge el nombre de motor de inducción.

1.5.1 Principio de funcionamiento - campo giratorio

Cuando una bobina es recorrida por una corriente eléctrica, se genera un campo magnético dirigido en dirección del eje de la bobina y de valor proporcional a la corriente.

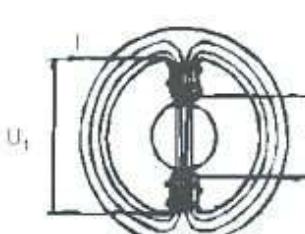


Figura 1.9a

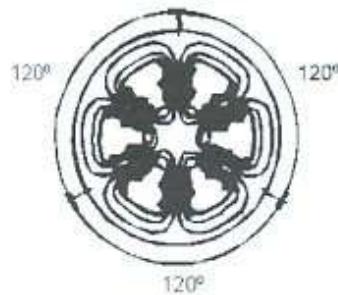


Figura 1.9b

a) En la figura 1.9a se muestra un "bobinado monofásico" recorrido por una corriente I , y un campo H es generado por ella; el bobinado está constituido por un par de polos, un polo "norte" y un polo "sur", cuyos efectos se suman para establecer el campo H . El flujo magnético atraviesa el rotor entre los dos polos y se cierra a través del núcleo del estator.

Si la corriente I es alterna, el campo H también, y su valor a cada instante podrá ser representado por el mismo gráfico de la figura 1.3b (página 7), también invirtiendo el sentido en cada medio ciclo.

El campo H es "pulsante" pues su intensidad "varía" proporcionalmente a la corriente, siempre en la misma dirección norte-sur.

b) En la figura 1.9b se muestra un "bobinado trifásico", conformado por tres monofásicos espaciados entre sí 120° . Si este bobinado fuera alimentado por un sistema trifásico, las corrientes I_1 , I_2 y I_3 crearán, del mismo modo, sus propios campos magnéticos H_1 , H_2 y H_3 . Estos campos están espaciados entre sí 120° . Además, como son proporcionales a las respectivas corrientes, estarán desfasados en el tiempo 120° entre sí, y pueden ser representados por un gráfico igual al de la figura 1.5 (página 8). El campo total H resultante, en cada instante, será igual a la suma gráfica de los tres campos H_1 , H_2 y H_3 del instante correspondiente.

En la figura 1.10 representaremos esta suma gráfica para seis instantes sucesivos.

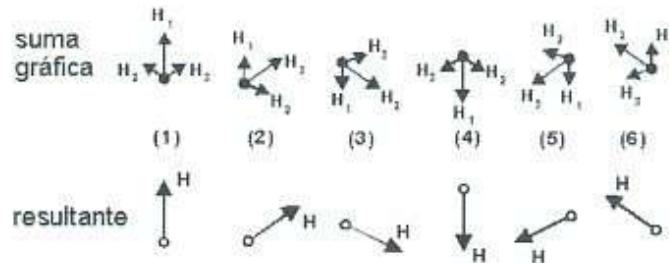


Figura 1.10

En el instante (1), la figura 1.5 (página 8), muestra que el campo H_1 es máximo y los campos H_2 y H_3 son negativos y del mismo valor, iguales a 0.5, H_1 . Los tres campos son representados en la figura 1.10 (1), parte superior y teniendo en cuenta que el campo negativo se representa con un vector (flecha) en sentido opuesto al que sería el normal; el campo resultante (suma gráfica) es representado en la parte inferior de la figura 1.10 (1) y tiene la misma dirección que el campo de la fase 1.

Repetiendo la construcción para los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 de la figura 1.5, se observa que los campos resultantes H tienen intensidad "constante", pero su dirección "gira", completando una vuelta cada fin de ciclo.

Así, cuando un bobinado trifásico es alimentado por corrientes trifásicas, se genera un "campo giratorio" como si hubiese un único par de polos giratorios de intensidad constante. Este campo giratorio, creado por el bobinado trifásico del estator, induce tensiones en las barras del rotor (las líneas de flujo cortan las barras del rotor) las cuales generan corrientes, y por consecuencia, un campo en el rotor de polaridad opuesta a la del campo giratorio. Como los polos opuestos se atraen y como el campo del estator (campo giratorio) es rotativo, el rotor tiende a acompañar la rotación de este campo. Entonces, en el rotor se genera un par motor que hace que gire, moviendo la carga.

1.5.2 Velocidad sincrónica (n_s)

A velocidad sincrónica del motor es definida por la velocidad de rotación del campo giratorio, la cual depende de la cantidad de polos ($2p$) del motor y de la frecuencia (f) de la red, en hertz.

Los bobinados pueden ser construidos con uno o más pares de polos, que se distribuyen alternadamente (un "norte" y un "sur") a lo largo de la periferia del núcleo magnético. El campo giratorio recorre un par de polos (p) en cada ciclo. Así, como el bobinado tiene polos o pares de polos, la velocidad del campo será:

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{120 \times f}{2p} \quad (\text{rpm})$$

Ejemplos:

a) Cuál es la rotación sincrónica de un motor de 6 polos, 50Hz ?

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

b) Y un motor de 12 polos, 60 Hz?

$$n_s = \frac{120 \times 60}{12} = 600 \text{ rpm}$$

Note que la cantidad de polos del motor tendrá que ser siempre par, para formar los pares de polos.

Para las frecuencias y "polaridades" usuales, las velocidades sincrónicas son:

Tabla 1.2 - Velocidades sincrónicas

No de polos	Velocidad sincrónica (Vueltas por minuto)	
	60 hertz	50 hertz
2	3.600	3.000
4	1.800	1.500
6	1.200	1.000
8	900	750

Para motores de "dos polos", como en el ítem 1.5.1, el campo recorre una vuelta en cada ciclo. Así, los grados eléctricos equivalen a los grados mecánicos.

Para motores con más de dos polos tendremos un giro geométrico menor e inversamente proporcional a 360° la cantidad de dos polos.

Por ejemplo: para un motor de seis polos tendremos, en un ciclo completo, un giro de campo de 360° y un giro geométrico de $360^\circ \times 2/6 = 120^\circ$. Esto equivale a 1/3 de la velocidad en dos polos de donde se concluye que:

$$\text{Grados eléctricos} = \text{Grados mecánicos} \times p$$

1.5.3 Deslizamiento (s)

Si el motor gira a una velocidad diferente que la velocidad sincrónica, o sea, diferente a la velocidad del campo giratorio, el bobinado del rotor "corta" las líneas de fuerza magnéticas del campo y, por las leyes de electromagnetismo, en él circularán corrientes inducidas.

Cuanto mayor sea la carga, mayor tendrá que ser el par necesario para moverla. Para obtener el par necesario, tendrá que ser mayor la diferencia de velocidades para que las corrientes inducidas y los campos producidos sean mayores. Por lo tanto, a medida que la carga aumenta, decrece la velocidad del motor. Cuando la carga es nula (motor en vacío), el rotor gira prácticamente con la velocidad sincrónica. La diferencia entre la velocidad del motor n y la velocidad sincrónica n_s , se llama deslizamiento s , que puede ser expresado en rpm, como una fracción de la velocidad sincrónica o como un porcentaje de ésta.

$$s (\text{rpm}) = n_s - n ; s = \frac{n_s - n}{n_s} ; s (\%) = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$$

Para un deslizamiento $s(\%)$, la velocidad del motor se expresa:

$$n = n_s \times \left(1 - \frac{s (\%)}{100} \right)$$

Ejemplo: Qué deslizamiento tiene un motor de 6 polos, 50Hz, si su velocidad es de 960 rpm?

$$s (\%) = \frac{1000 - 960}{1000} \times 100$$

$$s (\%) = 4\%$$

2. Características de la red de alimentación

2.1 El sistema

En general el sistema de alimentación es monofásico o trifásico. El sistema monofásico es utilizado en servicios domésticos, comerciales y rurales y por su parte el trifásico, en aplicaciones industriales.

De acuerdo con la región o el país la frecuencia puede ser 50 o 60 Hz.

2.1.1 Trifásico

Las tensiones trifásicas más usadas en las redes industriales son:

- Baja tensión: 220V, 380V y 440V
- Media tensión: 2300V, 4160V y 6600V

El sistema trifásico estrella de baja tensión consiste de tres conductores de fase (L_1 , L_2 y L_3) y el conductor neutro (N), el cual está conectado al punto estrella del generador o al secundario de los transformadores (según muestra la figura 2.1).

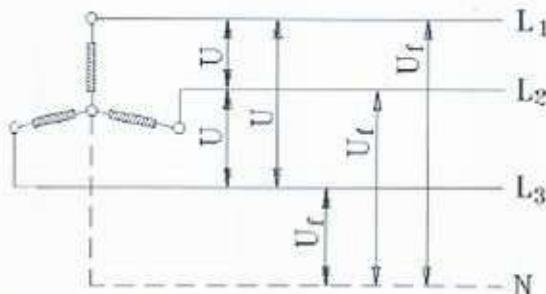


Figura 2.1 - Sistema trifásico

2.1.2 Monofásico

Las tensiones monofásicas normalizadas más comunes son: 115V (conocida como 110V), 127V y 220V.

Los motores monofásicos son conectados a dos fases (tensión de línea U) o una fase y el neutro (tensión de fase U_f). Así, la tensión nominal del motor monofásico deberá ser la tensión U o U_f del sistema.

Cuando varios motores son conectados al sistema trifásico (formado por tres sistemas monofásicos), se debe tener cuidado de distribuirlos de manera uniforme, evitando el desequilibrio de las fases.

2.1.2.1 Monofásico con retorno por tierra - MRT

El sistema monofásico con retorno por tierra - MRT - es un sistema eléctrico en el que la tierra funciona como conductor de retorno de la corriente de carga. Se usa como solución para alimentar motores monofásicos con líneas que no tienen conductor neutro. Dependiendo de la naturaleza del sistema eléctrico existente y las características del suelo donde será implantado (generalmente electrificación rural), se tiene:

• Sistema monofilar

Es la versión más práctica y económica del MRT, pero su utilización sólo es viable donde la salida de la subestación de origen es estrella-tríangulo.

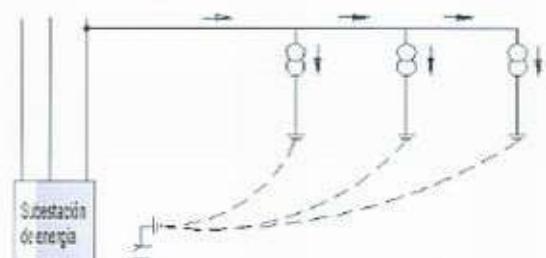


Figura 2.2 - Sistema monofilar

• Sistema monofilar con transformador de aislación

Este sistema tiene algunas desventajas más allá del costo del transformador, como son:

- 1) Limitación de la potencia del ramal a la potencia nominal del transformador de aislación;
- 2) Necesidad de reforzar la tierra del transformador aislador, pues si falla, desenergiza todo el ramal.

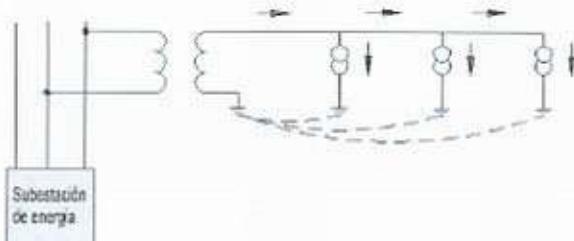


Figura 2.3 - Sistema monofilar con transformador de aislación

c) Sistema MRT en versión neutro parcial

Es empleado como solución para la utilización del MRT en regiones de suelos de alta resistividad, cuando se hace difícil obtener un valor de resistencia de la tierra del transformador dentro de los límites máximos establecidos en el proyecto.

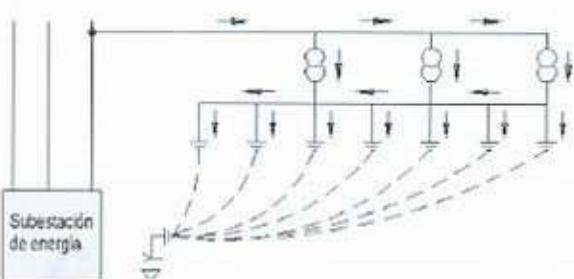


Figura 2.4 - Sistema MRT en versión neutro parcial

2.2 Tensión nominal

Es la tensión para la cual el motor fue proyectado.

2.2.1 Tolerancia de variación de tensión

Según la norma IEC 34-1 (item 12.3) el motor eléctrico de inducción debe ser capaz de funcionar de manera satisfactoria cuando se alimenta con tensiones hasta 10% por encima o debajo de su tensión nominal, siempre que la frecuencia sea la nominal. Si hubiera simultáneamente variación en la frecuencia, la tolerancia de variación de tensión es reducida de manera que la suma de las dos variaciones (tensión y frecuencia) no pase del 10%. El efecto aproximado de la variación de la tensión sobre las características del motor se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 - Efecto aproximado de la variación de tensión

Desempeño del motor	Tensión 20% encima de la nominal	Tensión 10% encima de la nominal	Tensión 10% abajo de la nominal
Par de arranque y par máximo	aumenta 44%	aumenta 21%	disminuye 15%
Corriente de arranque	aumenta 25%	aumenta 10 a 12%	disminuye 10 a 12%
Corriente a plena carga	disminuye 11%	disminuye 7%	aumenta 11%
Deslizamiento	disminuye 30%	disminuye 17%	aumenta 23%
Velocidad	aumenta 1,5%	aumenta 1%	disminuye 1,5%
Rendimiento	aumento pequeño	aumenta 1%	disminuye 2%
Factor de potencia	disminuye 5 a 15%	disminuye 3%	aumenta 1%
Temperatura	disminuye 5 °C	disminuye 3 °C	aumenta 6 °C
Ruido magnético sin carga	aumento perceptible	aumento ligero	disminución ligera

2.2.2 Tensión nominal múltiple

La gran mayoría de los motores son proporcionados con los terminales del bobinado reconnectionables de modo de poder funcionar en redes de por lo menos dos tensiones diferentes. Los principales tipos de conexión de terminales de motores para funcionamiento en más de una tensión son:

a) Conexión serie-paralelo

El bobinado de cada fase es dividido en dos partes (recordar que la cantidad de polos es siempre par, de modo que este tipo de conexión es siempre posible). Conectando las dos mitades en serie, cada una quedará con la mitad de la tensión de fase nominal del motor. Conectándolas en paralelo, el motor podrá ser alimentado con una tensión igual a la mitad de la tensión anterior, sin que se altere la tensión aplicada a cada bobina. Vea los ejemplos numéricos de la figura 2.5:

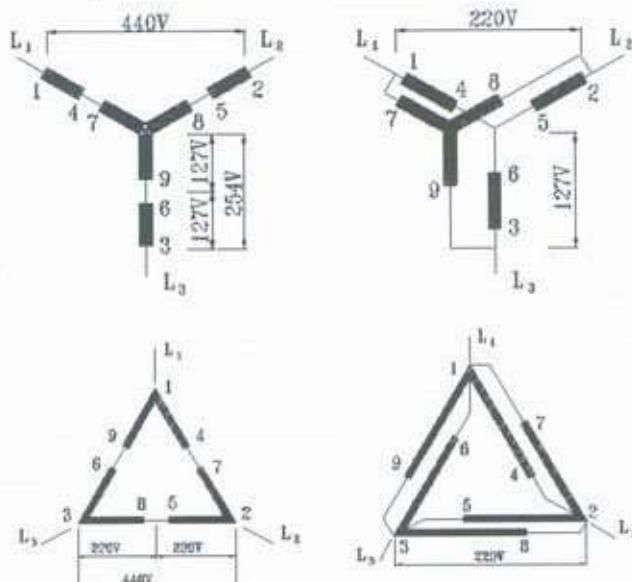


Figura 2.5 - Conexión serie-paralelo

Este tipo de conexión exige nueve terminales en el motor y la tensión nominal (doble) más común es 220/440V, o sea, el motor es conectado en paralelo cuando se alimenta con 220V y en serie cuando se alimenta con 440V. La figura 2.1 muestra la numeración normal de los terminales y los esquemas de conexión para este tipo de motores, tanto para conexiones estrella como triángulo. El mismo esquema sirve para cualquier otro par de tensiones, siempre que una sea el doble que la otra, como por ejemplo 230/460V.

b) Conexión estrella-tríangulo

El bobinado de cada fase tiene las dos puntas accesibles desde fuera del motor. Si conectamos las tres fases en triángulo, cada fase recibirá la tensión de línea, como por ejemplo 220 volts (figura 2.6). Si conectamos las tres fases en estrella, el motor puede ser conectado a una línea con tensión igual a $220 \times \sqrt{3} = 380$ volts sin alterar la tensión en el bobinado que continúa siendo de 220 volts por fase, ya que

$$U_s = U_L \times \sqrt{3}$$

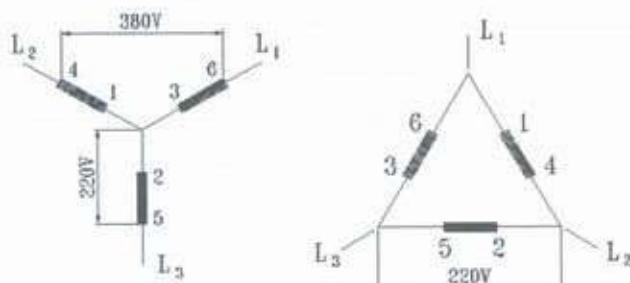


Figura 2.6 - Conexión estrella-tríangulo

Este tipo de conexión exige seis terminales en el motor y sirve para cualquier par de tensiones nominales, siempre que la segunda sea igual a la primera multiplicada por $\sqrt{3}$.

Ejemplos: 220/380V - 380/660V - 440/760V

En los ejemplos 380/660 y 440/760V, la tensión mayor declarada sirve sólo para indicar que el motor puede ser accionado por un arrancador estrella-tríangulo.

Los motores que poseen tensión nominal de operación arriba de 600V deberán tener un sistema de aislación especial apto para esta condición.

c) Triple tensión nominal

Podemos combinar los dos casos anteriores: el bobinado de cada fase es dividido en dos mitades para conexión serie-paralelo. Además, todos los terminales son accesibles para poder conectar las tres fases en estrella o triángulo. De este modo tenemos cuatro combinaciones posibles de tensión nominal:

- 1) Conexión triángulo paralelo;
- 2) Conexión estrella paralela, siendo igual a $\sqrt{3}$ veces la primera;
- 3) Conexión triángulo serie, valiendo el doble de la primera;
- 4) Conexión estrella serie, valiendo $\sqrt{3}$ veces la tercera. Como esta tensión sería mayor que 600 volts, se indica apenas como referencia de conexión estrella-tríangulo.

Ejemplo: 220/380/440/760V

Este tipo de conexión exige 12 terminales y la figura 2.7 muestra la numeración normal de los terminales y el esquema de conexión para las tres tensiones nominales.

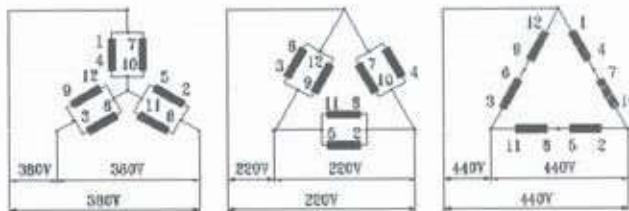


Figura 2.7

2.2.3 Tensiones de conexiones normales

La tabla 2.2 muestra las tensiones nominales múltiples más comunes en motores trifásicos y su aplicación a las tensiones de red usuales.

Observaciones:

- El arranque directo o con llave compensadora es posible en todos los casos de la tabla;
- La conexión para 660V o 760V es usada solamente para conexión con llave estrella-tríangulo. Todas las conexiones para las diversas tensiones son efectuadas con los terminales localizados en la caja de conexiones;
- Todos los motores tienen el esquema para estas conexiones en la placa de identificación.

Tabla 2.2 - Conexiones normales de los bobinados de motores trifásicos

Ejecución de los bobinados	Tensión de servicio	Arranque con llave estrella-tríangulo
220/380	220V 380V	sí no
220/440/230/460	220V/230V 440V/460V	no no
380/660	380V	sí
220/380/440/760	220V 380V 440V	sí no sí

2.3 Frecuencia nominal (Hz)

Es la frecuencia de la red para la cual el motor fue proyectado.

2.3.1 Tolerancia de variación de frecuencia

Según la norma IEC 34-1(item 12.3) el motor eléctrico de inducción debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente con frecuencias hasta 5% por encima o debajo de su frecuencia nominal. Si al mismo tiempo hubiera variación de tensión, debe ser tal que la suma de las dos variaciones (frecuencia y tensión) no pase de 10%. El efecto aproximado de la variación de la frecuencia sobre las características del motor se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 - Variación en el funcionamiento de motores de 50Hz conectados en 60Hz.

Motor nominal para 50Hz	Corriente en IP2 en 50Hz	Velocidad nominal	Potencia nominal	Par nominal	Conexión nominal	Par de arranque	Par máximo	Corriente de arranque
N	N	Factor de transformación para funcionamiento en 60Hz:						
220V	220V	1,20	1,00	0,10	1,00	0,02	0,03	0,01
380V	380V	1,20	1,00	0,10	1,00	0,03	0,03	0,03
380V	440V	1,20	1,15	0,90	1,00	0,06	0,06	0,06
440V	440V	1,20	1,00	0,10	1,00	0,03	0,03	0,03
500V	500V	1,20	1,00	0,05	1,00	0,03	0,03	0,03
550V	550V	1,20	1,10	0,91	1,00	0,05	0,05	0,05
660V	660V	1,20	1,00	0,80	1,00	0,03	0,03	0,03

Para conexión en otras frecuencias consultar a fábrica.

2.3.2 Conexión en frecuencias diferentes

Los motores trifásicos bobinados para 50Hz podrán ser conectados también en redes de 60Hz.

- a) conectando el motor de 50Hz, con la misma tensión en 60Hz:

- la potencia del motor será la misma;
- la corriente nominal será la misma;
- la corriente en el arranque disminuye 17%;
- el par de arranque disminuye 17%;
- el par máximo disminuye 17%;
- la velocidad nominal aumenta 20%;

NOTA: Se deberá tener en cuenta los valores de potencia requeridos para motores que mueven equipos que poseen par resistente variable con la velocidad.

- b) Si se altera la tensión en proporción a la frecuencia:

- aumenta la potencia del motor 20%;
- la corriente nominal es la misma;
- la corriente en el arranque será aproximadamente la misma;
- el par de arranque será aproximadamente el mismo;
- el par máximo será aproximadamente el mismo;
- la velocidad de rotación nominal aumenta 20%;

Sí el motor fuese conectado en 60 Hz con bobinado para 50 Hz podremos aumentar la potencia en un 15% para II polos y 20% para IV, VI y VIII polos.

2.4 Limitación de la corriente de arranque en motores trifásicos

Siempre que sea posible, el arranque de un motor trifásico de jaula de ardilla deberá ser directo, por medio de contactores. Debe tenerse en cuenta que para un determinado motor, las curvas de par y de corriente son fijas, independientemente de la dificultad del arranque, para una tensión constante. En los casos en que la corriente de arranque del motor es elevada pueden ocurrir las siguientes consecuencias perjudiciales:

- gran caída de tensión en el sistema de alimentación de la red. Esto provoca interferencia en los equipos que se encuentran instalados en el sistema;
- el sistema de protección, (cables, contactores) deberá ser sobredimensionado, ocasionando costos elevados;
- la imposición de las empresas de energía eléctrica que limitan la caída de tensión de la red.

En el caso que el arranque directo no sea posible debido a los problemas mencionados, se puede usar un sistema de arranque indirecto para reducir la corriente de arranque.

Estos sistemas de arranque indirecto (tensión reducida) son:

- llave estrella-triángulo
- llave compensadora
- llave serie-paralelo
- resistencia primaria
- reactor primario
- arranque electrónico (Soft Start)

2.4.1 Arranque con llave estrella-triángulo (Y-Δ)

Para el arranque estrella-triángulo es fundamental que el motor tenga la posibilidad de conexión en dos tensiones, o sea en 220/380V, 380/660V o 440/760V. Los motores deberán tener por lo menos seis bornes de conexión. El arranque estrella-triángulo podrá ser usado cuando la curva del par motor es suficientemente alta como para poder garantizar la aceleración de la máquina con una corriente reducida. En la conexión estrella, o conjugado queda reducido para 25 a 33% del conjugado de partida en la conexión triángulo.

Por este motivo, siempre que sea necesario el arranque estrella-triángulo, se deberá usar un motor con curva de par elevada.

Los motores WEG tienen alto par máximo y par de arranque, por lo tanto son ideales para la mayoría de los casos de arranque estrella-triángulo.

Antes de decidirse por un arranque estrella-triángulo será necesario verificar si el par de arranque será suficiente para mover la máquina. El par resistente no podrá ser mayor que el par de arranque del motor (ver figura 2.8), ni la corriente en el instante del cambio a conexión triángulo podrá ser de valor inaceptable. Existen casos en los que este sistema de arranque no puede ser usado, tal como lo demuestra la figura 2.9.

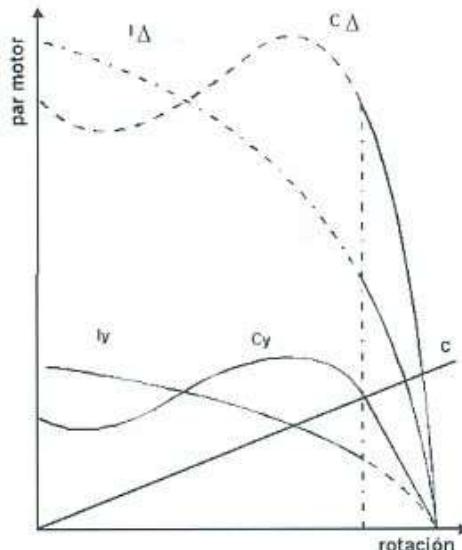


Figura 2.8 - Corriente y par para arranque estrella-triángulo de un motor de jaula accionando una carga con par resistente C.

I_Δ - corriente en triángulo

I_Y - corriente en estrella

C_Y - par en estrella

C_Δ - par en triángulo

C - par resistente

En la figura 2.9 tenemos un par resistente C, alto. Si el arranque es en estrella, el motor acelera la carga hasta aproximadamente 85% de la velocidad nominal, momento en el que la llave debe cambiar a triángulo. En este instante, la corriente, que era aproximadamente la nominal, o sea 100%, salta repentinamente a 320%, lo que no significa ninguna ventaja ya que el arranque era solamente de 190%.

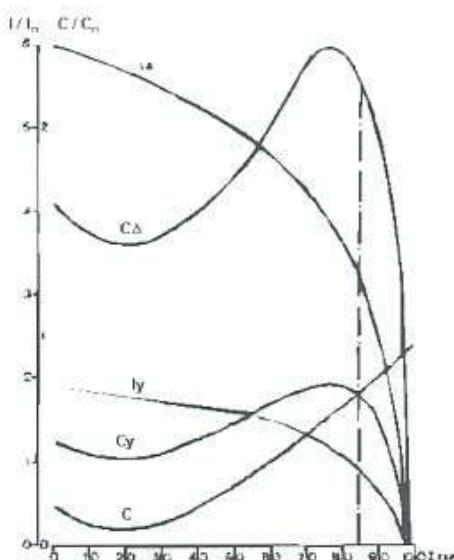


Figura 2.9

En la figura 2.10 tenemos un motor con iguales características pero el par resistente C_r es mucho menor. En la conexión Y el motor acelera la carga hasta 95% de la velocidad nominal. Cuando la llave se conecta en Δ la corriente, que era de aproximadamente 50% sube a 170%, o sea prácticamente igual a la del arranque en Y. En este caso la conexión estrella-tríangulo presenta ventajas porque si fuera conectado directo, absorbería de la red 600% de la corriente nominal. La llave estrella-tríangulo en general sólo puede ser empleada para arranques en vacío, o sea sin carga. La carga podrá ser aplicada sólo después de haber alcanzado la velocidad nominal. El instante en el cual la llave cambia de estrella a triángulo debe ser criteriosamente determinado para que este método de arranque sea efectivamente ventajoso cuando el arranque directo no es posible. En el caso de los motores con tres tensiones nominales (220/380/440/760 V), se debe optar por la conexión 220/380 V o 440/760 V, dependiendo de la red de alimentación.

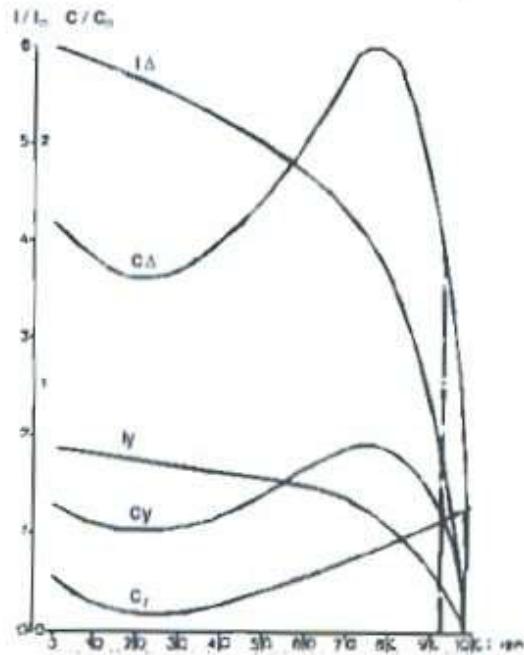


Figura 2.10

- I_Δ - corriente en triángulo
- I_Y - corriente en estrella
- C_Δ - par en triángulo
- C_Y - par en estrella
- C/C_r - relación entre par del motor y par nominal
- I_{An} - relación entre la corriente del arranque y la corriente nominal
- C_r - par resistente

Esquematicamente la conexión estrella-tríangulo en un motor para una red de 220 V se realiza de la forma indicada en la figura 2.11, teniendo en cuenta que la tensión por fase durante el arranque se reduce a 127 V.

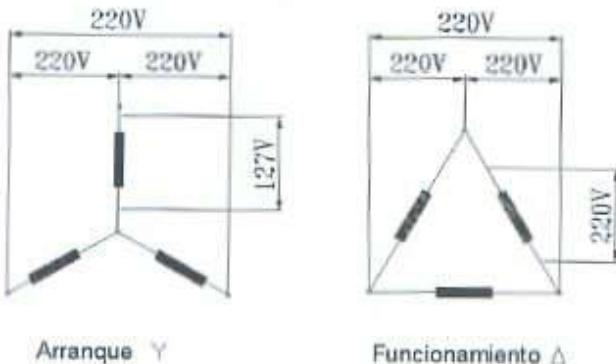


Figura 2.11

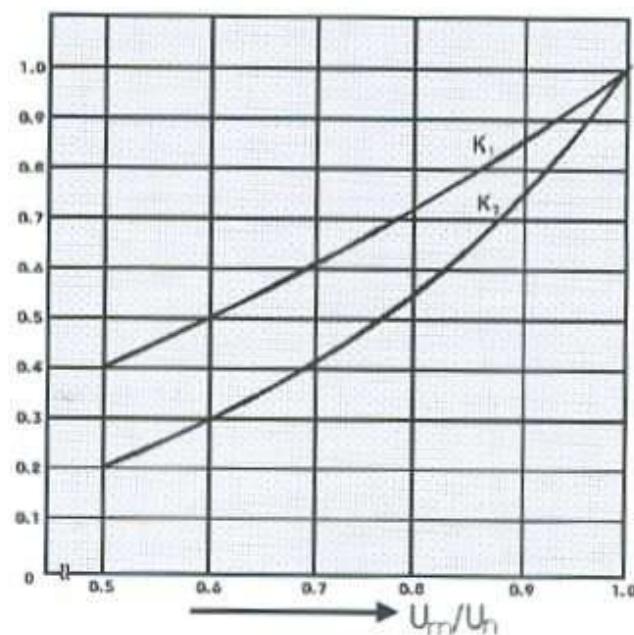
2.4.2 Arranque con llave compensadora (autotransformador)

La llave compensadora puede ser usada para el arranque en carga de motores. Esta reduce la corriente del arranque evitando una sobrecarga en el circuito pero dejando al motor con un par suficiente para el arranque y aceleración.

La tensión en la llave compensadora es reducida a través de un autotransformador que normalmente cuenta con taps en 50, 65 y 80% de la tensión nominal.

Para los motores que arrancan con una tensión menor que la tensión nominal, la corriente y el par de arranque deben ser multiplicados por los factores K_1 (factor de multiplicación de la corriente) y K_2 (factor de multiplicación del par) que se obtienen de la gráfica de la figura 2.12.

RELACION DE TENSIONES

Figura 2.12 - Factores de reducción K_1 y K_2 en función de las relaciones de tensión del motor y de la red (U_m/U_n)

Ejemplo: Para 85% de la tensión nominal

$$\left(\frac{I_r}{I_n} \right)_{85\%} = K_1 \cdot \left(\frac{I_r}{I_n} \right)_{100\%} = 0.8 \left(\frac{I_r}{I_n} \right)_{100\%}$$

$$\left(\frac{C}{C_n} \right)_{85\%} = K_2 \cdot \left(\frac{C}{C_n} \right)_{100\%} = 0.66 \left(\frac{C}{C_n} \right)_{100\%}$$

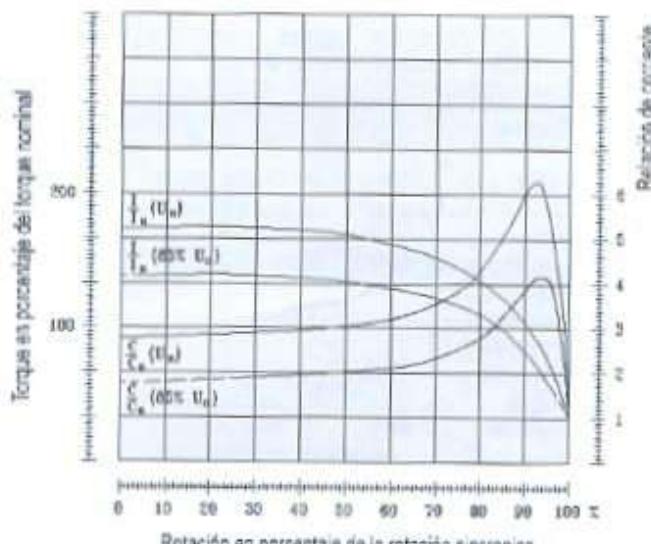


Figura 2.13 - Ejemplo de las características de desempeño de un motor de 425 CV, 71 polos, 4.160 V, cuando arranca con 85% de la tensión.

2.4.3 Comparación entre llaves estrella-triángulo y compensadoras "automáticas"

1) Estrella-triángulo (automática)

Ventajas:

- a) La llave estrella-triángulo es muy utilizada por su costo reducido.
- b) No tiene límite en cuanto al número de maniobras.
- c) Los componentes ocupan poco espacio.
- d) La corriente del arranque permanece reducida en aproximadamente 1/3.

Desventajas:

- a) La llave sólo puede ser utilizada en motores donde los seis bornes o terminales sean accesibles.
- b) La tensión de la red debe coincidir con la tensión en triángulo del motor.
- c) Con la corriente en el arranque reducida a 1/3 de la corriente nominal también se reduce el par de arranque a 1/3.
- d) Si el motor no alcanza por lo menos un 90% de su velocidad nominal, el pico de corriente en la comutación de estrella a triángulo será casi como si fuese un arranque directo, lo que es perjudicial para los contactos de los contactores y no tiene ninguna ventaja para la red eléctrica.

2) Llave compensadora (automática)

Ventajas:

- a) En el tap de 65% la corriente de línea es aproximadamente igual a la de la llave estrella-triángulo, pero en el pasaje de tensión reducida a la tensión de la red el motor no es desconectado y el segundo pico es reducido ya que el autotransformador por un breve lapso se convierte en una reactancia.
- b) Es posible variar el tap de 65% a 80% o hasta 90% de la tensión de la red para que el motor pueda arrancar satisfactoriamente.

Desventajas:

- a) La gran desventaja es la limitación de su frecuencia de maniobras. En la llave compensadora automática siempre es necesario conocer cuál va a ser la frecuencia de maniobras para determinar el autotransformador adecuado.
- b) La llave compensadora es mucho más cara que la llave estrella-triángulo debido al autotransformador.
- c) Debido al tamaño del autotransformador la construcción es voluminosa necesitándose paneles más grandes, lo que aumenta el precio.

2.4.4 Arranque con llave serie-paralelo

Para arrancar en serie-paralelo es necesario que el motor sea conectable para dos tensiones, la menor igual a la de la red y la otra el doble.

Este tipo de conexión exige nueve terminales en el motor y la tensión nominal más común es 220/440 V o sea: durante el arranque el motor es conectado en la configuración serie hasta alcanzar su velocidad nominal para cambiar a la configuración paralelo.

2.4.5 Arranque con resistor primario

En este método de arranque se colocan resistores en serie con una de las fases provocando una caída de tensión en los bornes del motor y consecuentemente una reducción de la corriente absorbida. Naturalmente el par de arranque también se reduce. Cuando el motor está próximo a su velocidad nominal, se conecta directamente a la red. Este método de arranque mejora el factor de potencia en el arranque, pero tiene el inconveniente de producir mayor pérdida de energía en los propios resistores. En la práctica es un método poco utilizado.

2.4.6 Arranque con inductancia primaria

Este método de arranque es similar al anterior. Se conecta una reactancia inductiva en las fases de alimentación. Así se tienen pérdidas menores, mayor factor de potencia y par máximo mayor que en el caso del resistor primario. Pero las inductancias son más caras y se utilizan en la práctica sólo para el arranque de motores de gran potencia y en media tensión.

2.4.7 Arranque electrónico (soft start)

Los avances en la electrónica permitieron la creación de la llave de estado sólido, la que consiste de un conjunto de pares de tiristores (SCR) (o combinaciones de tiristores/diodos), uno en cada borne de potencia del motor.

El ángulo de disparo de cada par de tiristores es controlado electronicamente para aplicar una tensión variable a los terminales del motor durante la

"aceleración". Este comportamiento muchas veces es llamado "arranque suave" (soft start). Al final del periodo del arranque, normalmente ajustable entre 2 y 30 segundos, la tensión alcanza su valor máximo luego de una aceleración suave o una rampa ascendente, en vez de ser sometido a incrementos o saltos repentinos, como ocurre con los métodos de arranque por autotransformador, conexión estrella-triángulo, etc. De esta manera se consigue mantener, como es deseable, la corriente de arranque (de la línea) próxima de la nominal y con variación suave.

Además de la ventaja del control de tensión (corriente) durante el arranque, la llave electrónica también presenta la ventaja de no contar con partes móviles o que generen arco, como sucede en las llaves mecánicas. Este es uno de los puntos fuertes de las llaves electrónicas, pues su vida útil es más larga (hasta centenas de millones de maniobras).

Pero hay que recordar que una vida útil tan larga, tiene poco que ver con el motor, el que puede fallar tempranamente por cuestiones que poco tienen que ver con el arranque.

2.5 Sentido de rotación de motores de inducción trifásicos

Un motor de inducción trifásico trabajará en cualquier sentido dependiendo de la conexión con la fuente eléctrica. Para invertir el sentido de rotación, se invierte cualquier par de conexiones entre el motor y la fuente eléctrica.

Los motores WEG poseen ventilador bidireccional, proporcionando su operación en cualquier sentido de rotación, sin perjudicar la refrigeración del motor.

3. Características de aceleración

3.1 Par

3.1.1 Curva par x velocidad

Definición

Según lo explicado en el capítulo 1.5.3, el motor de inducción tiene par nulo a la velocidad sincrónica. A medida que la carga aumenta, la velocidad del motor cae gradualmente hasta un punto en el que el par alcanza el valor máximo que el motor es capaz de entregar a velocidad normal. Si el par resistente aumentara más, la velocidad de rotación del motor caería bruscamente, pudiendo llegar a tratar el rotor. Si representáramos en un gráfico la variación del par con la velocidad para un motor normal, vamos a obtener una curva con el aspecto representado en la figura 3.1.

C_0 : Par básico - es el par calculado en función de la potencia y la velocidad sincrónica (n_s).

$$C_0 \text{ (kgfm)} = \frac{716 \times P \text{ (cv)}}{n_s \text{ (rpm)}} = \frac{794 \times P \text{ (kW)}}{n_s \text{ (rpm)}}$$

$$C_0 \text{ (Nm)} = \frac{7094 \times P \text{ (cv)}}{n_s \text{ (rpm)}} = \frac{9555 \times P \text{ (kW)}}{n_s \text{ (rpm)}}$$

C_p : Par nominal o a plena carga - es el par desarrollado por el motor a potencia nominal, bajo tensión y frecuencia nominales.

C_b : Par con rotor bloqueado o par de arranque - es el par mínimo desarrollado por el motor bloqueado, para todas las posiciones angulares del rotor, bajo tensión y frecuencia nominales.

Comentarios

- 1) Esta definición tiene en cuenta que el par con rotor bloqueado puede variar un poco según la posición en la que se trabaja el rotor.
- 2) Este par puede ser expresado en Nm o, más comúnmente, en porcentaje del par nominal.

$$C_p (\%) = \frac{C_p \text{ (Nm)}}{C_n \text{ (Nm)}} \times 100$$

- 3) En la práctica, el par con rotor bloqueado debe ser lo más alto posible para que el rotor pueda vencer la inercia inicial de la carga y pueda acelerarla rápidamente, principalmente cuando el arranque es con tensión reducida.

En la curva de la figura 3.1 destacamos y definimos algunos puntos importantes. Los valores de los torques relativos a estos puntos son especificados por la norma IEC 34-12, y son definidos como sigue:

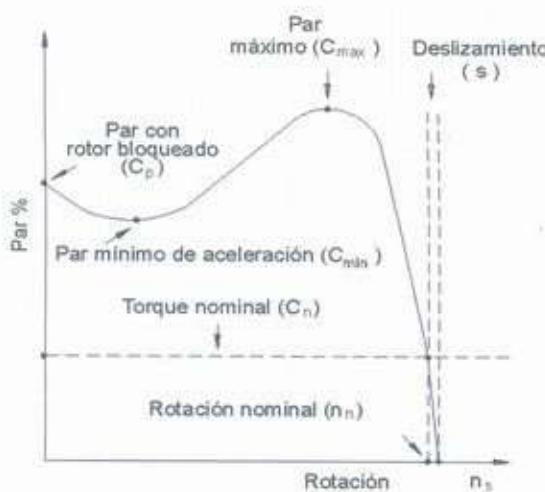


Figura 3.1 - Curva par x velocidad

C_{min} : Par mínimo - es el menor par desarrollado por el motor al acelerar desde velocidad cero hasta la velocidad correspondiente a su par máximo. En la práctica, este valor no debe ser muy bajo, o sea que la curva no debe presentar una depresión acentuada en la aceleración para que el arranque no sea muy largo, lo que recalientaría el motor especialmente en casos de inercia alta o arranque con tensión reducida.

C_{max} : Par máximo - es el mayor par desarrollado por el motor, bajo tensión y frecuencia nominales, sin disminución brusca de la velocidad.

En la práctica el par máximo debe ser lo más alto posible, principalmente por dos razones:

- 1) El motor debe ser capaz de vencer sin grandes dificultades, eventuales picos de carga como puede ocurrir en ciertas aplicaciones como ser molinos, prensas, mezcladores, etc.
- 2) El motor no debe perder bruscamente la velocidad cuando momentáneamente ocurren disminuciones de tensión excesivas.

3.1.2 Categorías - valores mínimos normalizados

De acuerdo a las características del par en relación a la velocidad y corriente en el arranque, los motores trifásicos de inducción con rotor de jaula de ardilla, son clasificados en categorías, cada una adecuada a un tipo de carga. Estas categorías son definidas por norma (IEC 34-12) y son las siguientes:

Categoría N

Par de arranque normal, corriente en el arranque normal, bajo deslizamiento. Constituyen la mayoría de los motores encontrados en el mercado y se prestan para ser utilizados moviendo cargas normales como ser bombas, máquinas operatrices, ventiladores.

Categoría H

Par de arranque alto, corriente de arranque normal, bajo deslizamiento. Usados para cargas que exigen mayor par de arranque como ser zarandas, transportadores, cargadores, cargas con inercia alta, molinos, etc.

Categoría D

Par de arranque alto, corriente de arranque normal, alto deslizamiento (más de 5%). Son usados en prensas excéntricas y máquinas similares, donde la carga presenta picos periódicos. También son usados en elevadores y cargas que necesitan un par de arranque muy alto y corriente de arranque limitada. Las curvas par x velocidad de las diferentes categorías pueden ser vistas en la figura 3.2.

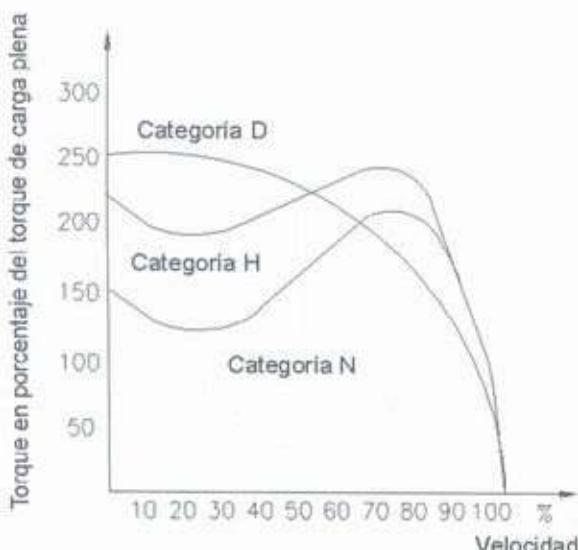


Figura 3.2 - Curvas Par x Velocidad para las diferentes categorías

En las tablas 3.1 y 3.2 se pueden observar los valores mínimos de par exigidos para los motores de categorías N y H (4, 6 y 8 polos), especificados por la norma IEC 34-12.

Para los motores de categoría D, de 4, 6 y 8 polos y potencia nominal igual o inferior a 150 cv se tiene, según la norma NEMA MG1-12.38.3, que: la razón entre el par con rotor bloqueado (C_b) y el par nominal (C_n) no debe ser inferior a 2,75. La norma no especifica ni los valores de C_{min} y C_{max} .

La norma IEC 34-12 no especifica los valores de par exigido para motores de 2 polos, categoría H.

Tabla 3.1 - Par con rotor bloqueado (C_p), par mínimo de aceleración (C_{min}) y par máximo (C_{max}), para motores de categoría N, relativos al par nominal (C_n).

Número de polos		2			4			6			8		
Gama de potencias nominales		C_p	C_{min}	C_{max}									
CV	kW	pu											
>0,54 ≤ 0,86	>0,4 ≤ 0,63	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
>0,86 ≤ 1,4	>0,63 ≤ 1,0	1,8	1,2	2,0	1,0	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
>1,4 ≤ 2,2	>1,0 ≤ 1,6	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
>2,2 ≤ 3,4	>1,6 ≤ 2,5	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
>3,4 ≤ 5,4	>2,5 ≤ 4,0	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
>5,4 ≤ 8,6	>4,0 ≤ 6,3	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
>8,6 ≤ 14	>6,3 ≤ 10	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
>14 ≤ 22	>10 ≤ 16	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>22 ≤ 34	>16 ≤ 25	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>34 ≤ 54	>25 ≤ 40	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
>54 ≤ 86	>40 ≤ 63	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
>86 ≤ 140	>63 ≤ 100	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
>140 ≤ 220	>100 ≤ 160	0,9	0,7	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6
>220 ≤ 340	>160 ≤ 250	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
>340 ≤ 540	>250 ≤ 400	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
>540 ≤ 860	>400 ≤ 630	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,6	1,6

Tabla 3.2 - Par con rotor bloqueado (C_p), par mínimo de aceleración (C_{min}) y par máximo (C_{max}), para motores de categoría H, relativos al par nominal (C_n).

Número de polos		4			6			8			
Gama de potencias nominales		C_p	C_{min}	C_{max}	C_p	C_{min}	C_{max}	C_p	C_{min}	C_{max}	
CV	kW	pu									
>0,54 ≤ 0,86	>0,4 ≤ 0,63	3,0	2,1	2,1	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9	
>0,86 ≤ 1,4	>0,63 ≤ 1,0	2,85	1,95	2,0	2,55	1,8	1,9	2,25	1,65	1,9	
>1,4 ≤ 2,2	>1,0 ≤ 1,6	2,85	1,95	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9	
>2,2 ≤ 3,4	>1,6 ≤ 2,5	2,7	1,8	2,0	2,4	1,65	1,9	2,1	1,5	1,9	
>3,4 ≤ 5,4	>2,5 ≤ 4,0	2,55	1,8	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9	
>5,4 ≤ 8,6	>4,0 ≤ 6,3	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9	
>8,6 ≤ 14	>6,3 ≤ 10	2,4	1,65	2,0	2,25	1,65	1,9	2,0	1,5	1,9	
>14 ≤ 22	>10 ≤ 16	2,25	1,65	2,0	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9	
>22 ≤ 34	>16 ≤ 25	2,1	1,5	1,9	2,1	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9	
>34 ≤ 54	>25 ≤ 40	2,0	1,5	1,9	2,0	1,5	1,9	2,0	1,4	1,9	
>54 ≤ 86	>40 ≤ 63	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	
>86 ≤ 140	>63 ≤ 100	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	
>140 ≤ 220	>100 ≤ 160	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	2,0	1,4	1,9	

Notas

a) Los valores de C_p/C_n son iguales a 1,5 veces los correspondientes a la categoría N, pero nunca menor que 2,0;b) Los valores de C_{min}/C_n son iguales a 1,5 veces los correspondientes a la categoría N, pero nunca menor que 1,4;c) Los valores de C_{max}/C_n son iguales a los correspondientes a la categoría N, pero nunca menor que 1,9 o al valor correspondiente de C_{min}/C_n .

3.1.3 Características de los motores WEG

A pesar de que los motores Weg son declarados en su mayoría como perteneciendo a la categoría N, la experiencia muestra que la mayoría de los motores encontrados en el mercado cuentan con valores reales típicos de par que exceden ampliamente los valores exigidos por la norma. Inclusive, en la mayoría de los casos exceden hasta los valores exigidos para la categoría H. Esto significa una curva par x velocidad bastante alta, implicando las siguientes ventajas:

- 1) Aceleración rápida en caso de arranque pesado como en bombas de pistón, cintas transportadoras cargadas, cargas de inercia alta, compresores con válvulas abiertas, etc.
- 2) Atender casos especiales como los mencionados en (1) con motores de stock, lo que implica ventajas de precio y plazo de entrega.
- 3) Permiten el uso de sistemas de arranque con tensión reducida como ser llaves estrella triángulo, sin perjuicio de la perfecta aceleración de la carga para casos normales.
- 4) Debido al valor elevado de par máximo, pueden enfrentar picos de carga momentáneos y caídas de tensión pasajeras sin pérdida brusca de velocidad. Esto es fundamental para el trabajo con máquinas que presentan grandes picos de carga como ser molinos, tamices, etc.

3.2 Inercia de la carga

El momento de inercia de la carga accionada es una de las características fundamentales para verificar, a través del tiempo de aceleración, si el motor consigue mover la carga dentro de las condiciones exigidas por el ambiente o por la estabilidad térmica del material aislante.

Momento de inercia es una medida de la resistencia que ofrece un cuerpo a un cambio en su movimiento de rotación alrededor de un eje dado. Depende del eje en torno al cual gira y también de la forma del cuerpo y de la manera en que la masa se encuentra distribuida. La unidad utilizada para el momento de inercia es kgm^2 .

El momento de inercia total del sistema es la suma de los momentos de inercia de la carga y del motor ($J_{\text{tot}} = J_m + J_c$).

En el caso de una máquina que tiene "velocidad diferente que el motor" (por ejemplo, en los casos de accionamientos a través de poleas o engranajes), se deberá tener en cuenta la velocidad nominal del motor según se indica abajo:

MOMENTO DE INERCIA EN VELOCIDADES DIFERENTES

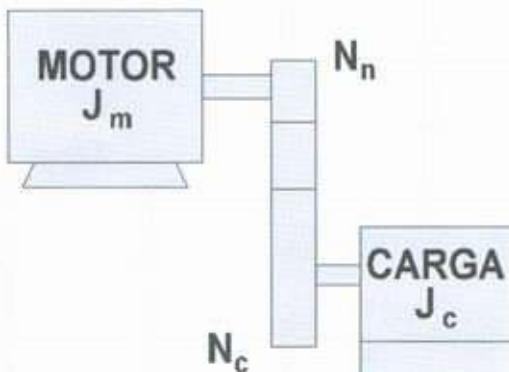


Figura 3.3 - Momento de inercia en velocidades diferentes

$$J_{\text{tot}} = J_c \left(\frac{N_c}{N_n} \right)^2 \quad (\text{kgm}^2)$$

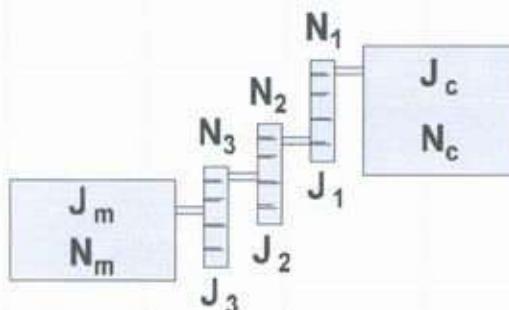


Figura 3.4 - Momento de inercia en velocidades diferentes

$$J_{\text{tot}} = J_c \left(\frac{N_c}{N_n} \right)^2 + J_m \left(\frac{N_c}{N_n} \right)^2 + J_c \left(\frac{N_c}{N_n} \right)^2 + J_m \left(\frac{N_c}{N_n} \right)^2$$

donde:
 J_{ce} - Momento de inercia de la carga referido al eje del motor
 J_c - Momento de inercia de la carga
 N_c - Velocidad de la carga
 N_n - Velocidad nominal del motor

$$J_c = J_m + J_{\text{ce}}$$

La inercia total de una carga es un factor importante para la determinación del tiempo de aceleración.

3.3 Tiempo de aceleración

Para verificar si el motor consigue accionar la carga, o para dimensionar una instalación, equipo de arranque o sistema de protección, es necesario conocer el tiempo de aceleración (desde el instante en que el equipo comienza a ser movido hasta que alcanza la velocidad nominal).

El tiempo de aceleración puede ser determinado de forma aproximada por el par medio de aceleración.

$$t_a = \frac{2 \pi \cdot \text{rps} \cdot J_c}{C_a} = \frac{2 \pi \cdot \text{rps} \cdot (J_m + J_c)}{(C_{\text{med}} - C_{\text{res}})}$$

t_a - tiempo de aceleración en segundos

J_c - momento de inercia total en kgm^2

rps - velocidad nominal en rotaciones por segundo

C_{med} - par medio de aceleración del motor en Nm

C_{res} - par medio de aceleración de la carga relativo al eje en Nm

J_m - momento de inercia del motor

J_{ce} - momento de inercia de la carga relativo al eje

C_a - par medio de aceleración

El par medio de aceleración se obtiene a partir de la diferencia entre el par motor y el par resistente. Su valor debería ser calculado para cada intervalo de velocidad (la sumatoria de los intervalos daría el tiempo total de aceleración). Pero en la práctica es suficiente calcular el par medio gráficamente, o sea, la diferencia entre la media del par motor y la media del par resistente. Esta media puede obtenerse gráficamente observándose que la suma de las áreas A_1 y A_2 sea igual al área A_3 y que el área B_1 sea igual al área B_2 (ver figura 3.5).

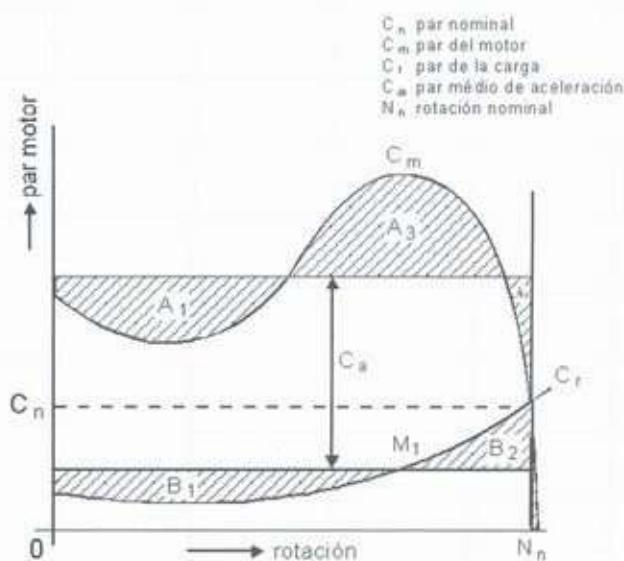


Figura 3.5 - Determinación gráfica del par medio de aceleración

3.4 Régimen de arranque

Debido al valor elevado de la corriente de arranque de los motores de inducción, el tiempo utilizado en la aceleración de cargas de inercia considerable implica aumento en la temperatura del motor. Si el intervalo entre arranques consecutivos es corto, resulta en un aumento excesivo de la temperatura en los bobinados, dañándolos o reduciendo su vida útil. La norma IEC 34-12 establece un régimen de arranque mínimo que los motores deben ser capaces

de soportar:

- a) Dos arranques sucesivos, el primero con el motor frío, o sea con sus bobinados a temperatura ambiente, y el segundo inmediatamente después, pero luego de haberlo desacelerado hasta lograr el reposo.
- b) Un arranque con motor caliente, o sea, con los bobinados a temperatura de régimen.

La primera condición simula el caso en que el primer arranque del motor es malogrado, como por ejemplo cuando la protección lo desenergiza, permitiendo un segundo intento. La segunda condición simula el caso de una desenergización del motor en forma accidental durante el funcionamiento normal, como por ejemplo por falta de energía en la red, permitiéndose retomar el funcionamiento luego del restablecimiento de la energía.

Como el calentamiento durante el arranque depende de la inercia de las partes giratorias de la carga movida, la norma establece los valores máximos de inercia de la carga para los cuales el motor debe ser capaz de cumplir las condiciones mencionadas. Los valores fijados para motores de 2, 4, 6 y 8 polos están indicados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 - Momento de inercia (J)

Potencia nominal	Número de polos			
	2	4	6	8
cv	kW		kgm ²	
0,54	0,4	0,018	0,099	0,273
0,86	0,63	0,026	0,149	0,411
1,4	1,0	0,040	0,226	0,624
2,2	1,6	0,061	0,345	0,952
3,4	2,5	0,091	0,516	1,42
5,4	4,0	0,139	0,788	2,17
8,6	6,3	0,210	1,19	3,27
14	10	0,318	1,80	4,95
22	18	0,485	2,74	7,56
34	25	0,725	4,10	11,3
54	40	1,11	6,26	17,2
86	63	1,67	9,42	26,0
140	100	2,52	14,3	39,3
220	160	3,85	21,8	60,1
340	250	5,76	32,6	89,7
540	400	8,79	49,7	137
860	630	13,2	74,8	206
				423

Notas

- a) Los valores se dan en función de masa-radio al cuadrado. Fueron calculados a partir de la ecuación:

$$J = 0,04 \cdot P^{0.8} \cdot p^{2.5}$$

donde: P - potencia nominal en kW
 p - número de pares de polos

- b) Para valores intermedios de potencia nominal, el momento de inercia externo debe ser calculado por la ecuación de la nota a).

Para cargas con inercia mayor que el valor de referencia de la tabla 3.3, caso posible para las potencias mayores, o para determinación del número de arranques permitidos por hora, se deberá consultar nuestra Ingeniería de Aplicación, indicando los siguientes datos de la aplicación:

- c) Potencia requerida por la carga. Si el régimen es intermitente, ver el último ítem: "régimen de funcionamiento".
- d) Velocidad de la máquina accionada.
- e) Transmisión: directa, correa plana, correa en "V", corriente, etc.
 - Relación de transmisión con croquis de las dimensiones y distancias entre poleas, si es transmisión por correas.
 - Cargas radiales anormales aplicadas en la punta del eje: tracción de la correa en transmisiones especiales, piezas pesadas sujetas al eje, etc.
 - Cargas axiales aplicadas en la punta del eje: transmisiones por engranaje helicoidal, empujes hidráulicos de bombas, piezas rotativas cesadas en montaje vertical, etc.

- f) Indicar el código de la forma constructiva si no fuera B3D.
- g) Par de arranque y máximo necesarios:
 - Descripción del equipo accionado en condiciones de utilización.
 - Momento de inercia o GD^2 de las partes móviles del equipo, y la velocidad a la que está referida.
- h) Régimen de funcionamiento. Si no se trata de régimen continuo, describir detalladamente el período típico de régimen, recordando especificar:
 - Potencia requerida y duración de cada período con carga;
 - Duración de los períodos sin carga (motor en vacío o motor desenergizado);
 - Inversiones del sentido de rotación;
 - Frenado a contra corriente.

3.5 Corriente con rotor bloqueado

3.5.1 Valores máximos normalizados

En la tabla 3.4 se indican los límites máximos de la corriente con rotor bloqueado en función de la potencia nominal del motor. Son válidos para cualquier cantidad de polos y están expresados en términos de la potencia aparente absorbida con el rotor bloqueado en relación a la potencia nominal, kVA/cv o kVA/kW.

Potencia aparente con rotor bloqueado

$$\text{kVA/cv} = \frac{\sqrt{3} I_b U}{P (cv) \cdot 1000}$$

Potencia nominal

$$\text{kVA/cv} = \frac{\sqrt{3} I_b U}{P (kW) \cdot 1000}$$

$\sqrt{3} I_b U$

$P (kW) \cdot 1000$

siendo: I_b - Corriente de rotor bloqueado, o corriente de arranque (A)

U - Tensión nominal (V)

P - Potencia nominal (cv o kW)

Tabla 3.4 - Potencia aparente con rotor bloqueado (S_p / P_n) para motores trifásicos, conforme IEC 34-12

Faja de potencias nominales	S_p / S_n		
cv	kW	kVA/cv	kVA/kW
> 0,54 ≤ 8,6	> 0,4 ≤ 6,3	9,6	13
> 8,6 ≤ 34	> 6,3 ≤ 25	8,8	12
> 34 ≤ 140	> 25 ≤ 100	8,1	11
> 140 ≤ 860	> 100 ≤ 630	7,4	10

3.5.2 Indicación de la corriente

La indicación del valor de la corriente de rotor bloqueado en la placa de identificación del motor es fecha a través de la letra código normalizada que da la indicación de la faja de valores kVA/cv. Los valores correspondientes a esas letras del código de arranque se muestran en la tabla 3.5.

$$\text{Código de arranque - kVA/cv} = \frac{(\frac{I_b}{I_n} \times 0,736)}{(\eta \cos \varphi)}$$

Tabla 3.5 - Código de arranque

Código	kVA / cv	Código	kVA / cv
A	0 - 3,14	L	9,0 - 9,99
B	3,15 - 3,54	M	10,0 - 11,09
C	3,55 - 3,99	N	11,2 - 12,49
D	4,0 - 4,49	P	12,5 - 13,99
E	4,5 - 4,99	R	14,0 - 15,99
F	5,0 - 5,59	S	16,0 - 17,99
G	5,6 - 6,29	T	18,0 - 19,09
H	6,3 - 7,09	U	20,0 - 22,09
J	7,1 - 7,99	V	22,4 o mas
k	8,0 - 8,99		

4. Regulación de velocidad en motores de inducción asincrónicos

4.1 Introducción

La relación entre velocidad, frecuencia, número de polos y deslizamiento está expresada por:

$$n = \frac{2}{(2p)} \cdot f \cdot 60 \cdot (1-s)$$

donde: n = rpm

f = frecuencia (Hz)

$2p$ = cantidad de polos

s = deslizamiento

Analizando la fórmula, podemos ver que para regular la velocidad de un motor asincrónico, podemos actuar en los siguientes parámetros:

- a) $2p$ = cantidad de polos
- b) s = deslizamiento
- c) f = frecuencia de la tensión (Hz)

4.2 Variación de la cantidad de polos

Existen tres formas de variar la cantidad de polos de un motor asincrónico, a saber:

- bobinados separados en el estator
- un bobinado con commutación de polos
- combinación de los dos anteriores.

En todos estos casos, la regulación de velocidad será discreta, sin pérdidas, pero la carcasa será mayor que la de un motor de velocidad única.

4.2.1 Motores de dos velocidades con bobinados separados

Esta versión presenta la ventaja de combinar bobinados con cualquier número de polos, pero esta limitada por el dimensionamiento electromagnético del núcleo (estator/rotor) y la carcasa es generalmente bastante mayor que la del motor de velocidad única.

4.2.2 Motores de dos velocidades con bobinado por commutación de polos

El sistema más común es el denominado "conexión Dahlander".

Esta conexión implica una relación de polos 1:2 con la consiguiente relación de velocidades de 1:2.

Pueden ser conectadas de las siguientes formas:

Par constante

El par en las dos velocidades es constante y la relación de potencia es del orden de 0,63:1. En este caso el motor tiene una conexión Δ / YY .

Ejemplo: motor 0,63/1cv - IV / II polos - Δ / YY .

Este caso se presta a las aplicaciones cuya curva de par resistente permanece constante con la velocidad.

Potencia constante

En este caso, la relación de par es 1:2 y la potencia permanece constante. El motor tiene una conexión YY / Δ .

Ejemplo: 10/10cv - IV / II polos YY / Δ

Par variable

En este caso la relación de potencia será de aproximadamente 1:4. Es muy aplicado a cargas como bombas, ventiladores.

Su conexión es Y / YY .

Ejemplo: 1/4cv - IV / II polos - Y / YY

4.2.3 Motores con más de dos velocidades

Es posible combinar un bobinado Dahlander con un bobinado simple o más.

De todas formas, no es común y solamente se utiliza en aplicaciones especiales.

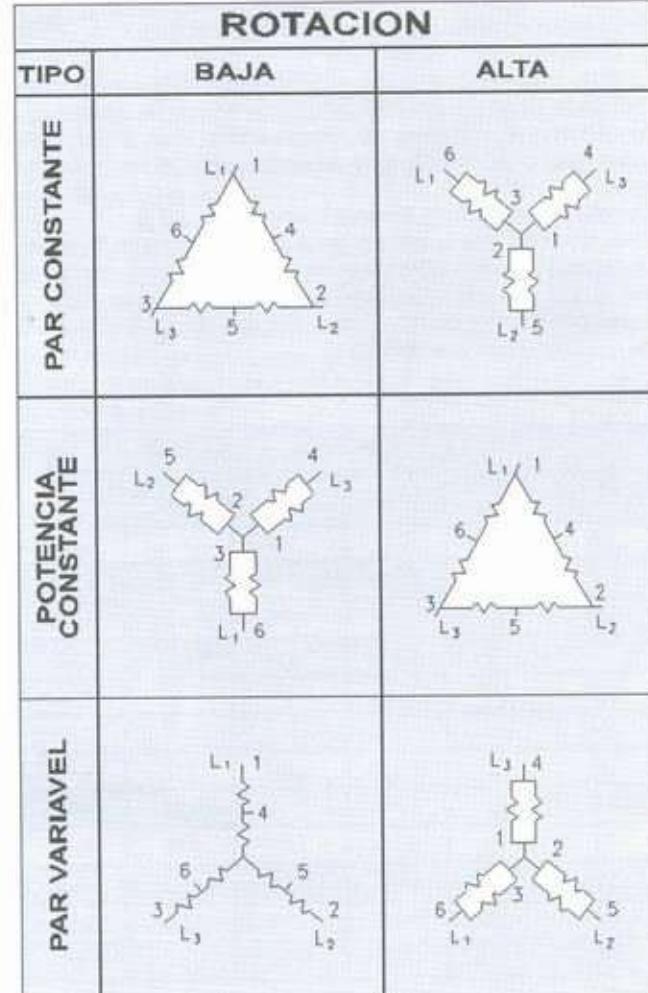


Figura 4.1 - Resumen de las conexiones Dahlander

4.3 Variación del deslizamiento

En este caso, la velocidad del campo giratorio se mantiene constante y la velocidad del rotor se altera de acuerdo con las condiciones exigidas por la carga, que pueden ser:

- a) variación de la resistencia rotórica
- b) variación de la tensión de estator
- c) variación de ambas simultáneamente

Estas variaciones son conseguidas mediante el aumento de las pérdidas rotóricas, lo que limita la utilización de este sistema.

4.3.1 Variación de la resistencia rotórica

Utilizado en motores de anillos. Se basa en la siguiente ecuación:

$$S = \frac{3R_2 I_2^2}{\omega_0 \cdot T} = \frac{P_{R2}}{\omega_0 \cdot T}$$

donde: P_{R2} = Pérdidas rotóricas (W)

ω_0 = Velocidad sincrónica en rd/s

T = Par del rotor

R_2 = Resistencia rotórica (ohms)

I_2 = Corriente rotórica (A)

La inserción de una resistencia externa en el rotor hace que el motor aumente el s, provocando la variación de velocidad. En la siguiente figura vemos el efecto del aumento de R_2 .

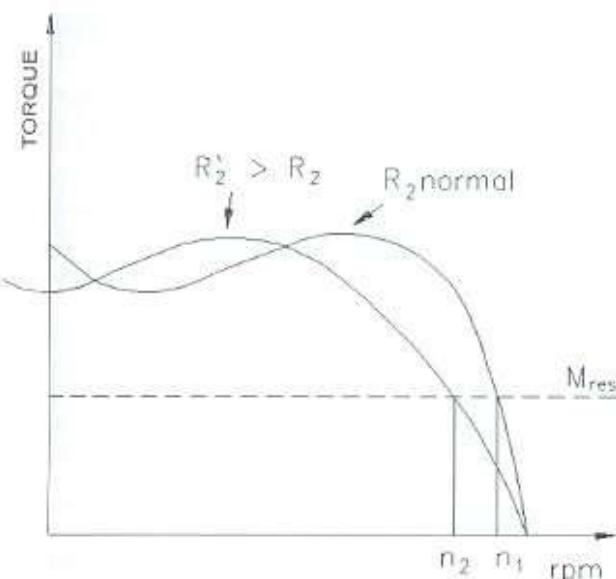


Figura 4.2 - Curva de par con variación de la resistencia rotórica

4.3.2 Variación de la tensión del estator

Es un sistema poco utilizado ya que también genera pérdidas rotóricas y la tasa de variación de velocidades es pequeña.

4.4 Variación de la frecuencia

Al variar la frecuencia de la tensión de estator se varía la velocidad del campo giratorio. Así, puede variarse la velocidad del rotor manteniéndose constante el deslizamiento de la máquina y por lo tanto las pérdidas pueden ser optimizadas de acuerdo con las condiciones de carga.

Al variarse la frecuencia de alimentación del motor de CA se varía su velocidad sincrónica lo que significa que todas las velocidades sincrónicas varían desde $f = 0$ hasta la máxima frecuencia del convertidor. El comportamiento del motor, que corresponde a su curva par x velocidad, permanece de la misma forma pero trasladada en la velocidad según la frecuencia, como muestra la figura 4.3.

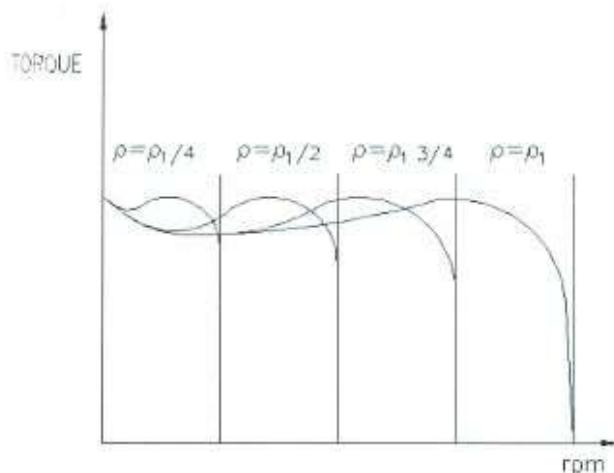


Figura 4.3 - Ejemplo de curva de par con tensión proporcional a la frecuencia

Técnicamente existen dos zonas de actuación: una con el flujo constante hasta la frecuencia nominal, y otra con debilitamiento del campo, correspondiente a aquella encima de la frecuencia nominal, o sea:

$$f = 0 \text{ Hz hasta } f_n \rightarrow \frac{U}{f} = \text{constante} = \text{flujo constante}$$

$$f > f_n \rightarrow U = \text{constante} = \text{debilitamiento de campo}$$

En la realidad para que sea posible tener esas dos zonas, son necesarias las siguientes consideraciones:

- 1) Si un motor autoventilado trabaja con velocidad menor a la nominal, tendrá su capacidad de refrigeración disminuida.
- 2) La tensión de salida de los convertidores tiene una forma de onda que no es perfectamente sinusoidal, lo que implica la existencia de armónicos de orden superior que provocan un aumento de las pérdidas del motor.

Debido a esto, es necesario reducir los torques y potencias admisibles del motor. Se aconseja normalmente seguir la siguiente curva:

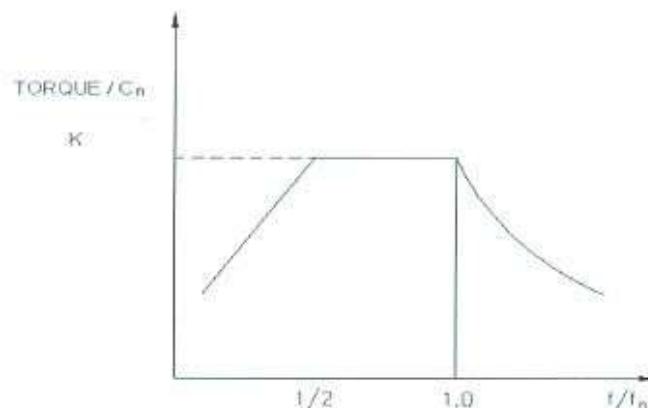


Figura 4.4 - Curva de par x frecuencia para uso del motor con convertidor de frecuencia

Donde K está en la zona de 0,7 a 1,0 y depende del contenido de armónicos del convertidor. Valores típicos son de 0,80 a 0,90.

4.4.1 Consideraciones sobre la aplicación de motores con control de velocidad por conversores de frecuencia

- a) Operación en velocidades por debajo de la velocidad obtenida con frecuencia nominal f_n . Generalmente hasta el 50% de la f_n , se utiliza el factor K (figura 4.4) de reducción de potencia o si deseamos, podemos utilizar el factor de servicio y/o aumento de la clase de aislación para mantener el par constante. Debajo del 50% de la frecuencia nominal, para mantener el par constante, generalmente debe aumentarse la relación U/f del convertidor.
- b) Operación en velocidades por encima de la velocidad obtenida con la frecuencia nominal f_n . En este caso, como el motor funcionará con debilitamiento del campo, la velocidad máxima estará limitada por el par máximo del motor y por la máxima velocidad periférica de las partes giratorias del motor (ventilador, rotor, cojinetes/rodamientos).
- c) Rendimiento: Como la tensión de alimentación no es sinusoidal, habrá armónicos que provocarán mayores pérdidas y consecuente reducción del rendimiento.
- d) Ruido: Variará sensiblemente en función de la frecuencia y del contenido de armónicos del convertidor.
- e) Operación en áreas explosivas:

ATENCIÓN: Los motores operando con convertidores de frecuencia en áreas con atmósferas explosivas deben ser dimensionados de común acuerdo entre el fabricante y el cliente y la especificación exacta de su funcionamiento deberá estar descrita en la placa de identificación del motor.

5. Características en régimen

5.1 Aumento de temperatura, clase de aislación

5.1.1 Calentamiento del bobinado.

Pérdidas

La potencia útil entregada por el motor en la punta de eje es menor que la potencia que el motor absorbe de la línea de alimentación, o sea, el rendimiento del motor es siempre inferior al 100%. La diferencia entre las dos potencias representa las pérdidas, que son transformadas en calor, lo que calienta el bobinado y debe ser disipado fuera del motor para evitar que la elevación de temperatura sea excesiva. Lo mismo sucede en todos los tipos de motores. En el motor de automóvil, por ejemplo, el calor generado por las pérdidas internas debe ser retirado del bloque por el sistema de circulación de agua con radiador o por el ventilador, en motores enfriados por aire.

Disipación de calor

El calor generado por las pérdidas en el interior del motor es disipado al aire ambiente a través de la superficie externa de la carcasa. En motores cerrados esa disipación es normalmente auxiliada por el ventilador montado en el propio eje del motor. Una buena disipación depende de:

- la eficiencia del sistema de ventilación;
 - el área total de disipación de la carcasa;
 - la diferencia de temperatura entre la superficie externa de la carcasa y la del ambiente ($t_{\text{ext}} - t_a$).
- un sistema de ventilación bien proyectado, además de tener un ventilador eficiente, capaz de mover un gran volumen de aire, debe dirigir ese aire de modo de "barri" toda la superficie de la carcasa, donde se da el intercambio de calor. De nada sirve un gran volumen de aire si se dispersa sin retirar el calor del motor.
 - El área total de disipación debe ser lo mayor posible. Un motor con una carcasa muy grande como para obtener mayor área será muy caro y pesado además de ocupar mucho espacio. Por eso, la superficie de disipación disponible está limitada por la necesidad de fabricar motores pequeños y livianos. Eso se compensa en parte aumentando el área disponible por medio de aletas de enfriamiento fundidas con la carcasa.
 - Un sistema de enfriamiento eficiente es aquel que consigue disipar la mayor cantidad de calor a través de la menor superficie de disipación. Para esto es necesario que la caída interna de temperatura, mostrada en la figura 5.1, sea minimizada. Esto quiere decir que debe haber una buena transferencia de calor del interior del motor a la superficie externa.

Lo que realmente queremos limitar es la elevación de temperatura en el bobinado sobre la temperatura del aire ambiente.

Esta diferencia (Δt) se llama comúnmente "elevación de temperatura" del motor y, como se indica en la figura 5.1, vale la suma de la caída interna y la caída externa.

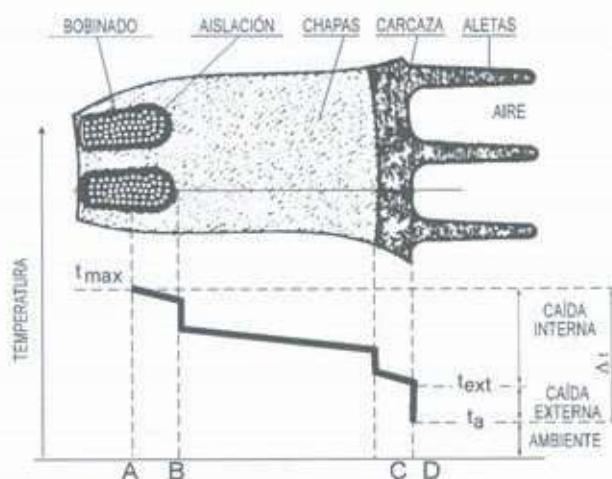


Figura 5.1

Como vimos, interesa reducir la caída interna (mejorar la transferencia de calor) para poder tener la mayor caída externa posible, pues ésta es la que realmente ayuda a disipar el calor.

La caída interna de temperatura depende de diversos factores como indica la figura 5.1, donde las temperaturas de ciertos puntos importantes del motor están representadas y explicadas a continuación:

- A - punto más caliente del bobinado, en el interior de la ranura, donde se genera el calor proveniente de las pérdidas en los conductores.
- AB - Caída de temperatura en la transferencia de calor del punto más caliente hasta los alambres externos. Como el aire es un pésimo conductor del calor, es importante que no haya "vacíos" en el interior de la ranura, o sea, las bobinas deben ser compactas y la impregnación con barniz debe ser perfecta.
- B - Caída a través de la aislación de la ranura y en el contacto de ésta con los conductores, de un lado, y con las chapas del núcleo del otro. El empleo de materiales modernos mejora la trasmisión de calor a través del aislante; una impregnación perfecta, mejora el contacto del lado interno, eliminando espacios vacíos; la buena alineación de las chapas estampadas, mejora el contacto del lado externo, eliminando capas de aire que perjudican la transferencia de calor.
- BC - Caída de temperatura por trasmisión a través del material de las chapas del núcleo.
- C - Caída en el contacto entre el núcleo y la carcasa. La conducción de calor será tanto mejor cuanto más perfecto sea el contacto entre las partes, dependiendo de la buena alineación de las chapas, y precisión de mecanizado de la carcasa. Las superficies irregulares dejan espacios vacíos entre ellas, resultando un mal contacto, y por lo tanto mala conducción del calor y elevada caída de temperatura en este punto.
- CD - Caída de temperatura por trasmisión a través del espesor de la carcasa.

Gracias a un proyecto moderno, uso de materiales avanzados, procesos de fabricación optimizados bajo un permanente control de calidad, los motores Weg presentan una excelente transferencia de calor del interior hacia la superficie, eliminando "puntos calientes" en el bobinado.

Temperatura externa del motor

Antiguamente era común verificar el calentamiento del motor midiendo la temperatura externa de la carcasa con la mano. En motores modernos, este método primitivo es completamente erróneo. Como vimos anteriormente, los criterios modernos de proyecto procuran optimizar la trasmisión de calor internamente, de modo que la temperatura del bobinado quede poco por encima de la temperatura externa de la carcasa, donde ella realmente contribuye para disipar las pérdidas. En resumen, la temperatura de la carcasa no da indicación del calentamiento interno del motor, ni de su calidad.

Un motor frío por fuera puede tener pérdidas mayores y temperatura más alta en el bobinado que un motor exteriormente caliente.

5.1.2 Vida útil del motor

Siendo el motor de inducción una máquina robusta y de construcción simple, su vida útil depende casi exclusivamente de la vida útil de la aislación de los bobinados. Esta es afectada por muchos factores como humedad, vibraciones, ambientes corrosivos y otros.

Entre todos los factores el más importante es, sin duda, la temperatura de trabajo de los materiales aislantes empleados.

Un aumento de 8 a 10 grados en la temperatura del aislante reduce su vida útil a la mitad.

Cuando hablamos de disminución de la vida útil del motor no nos referimos a las temperaturas elevadas cuando el aislante se quema y el bobinado es destruido repentinamente. La vida útil de la aislación (en términos de la temperatura de trabajo, bien por debajo de aquella en que el material se quema) se refiere al envejecimiento gradual del aislante, que se va resecando, perdiendo el poder aislante, hasta que no soporta más la tensión aplicada y produce el cortocircuito.

La experiencia muestra que la aislación tiene una duración prácticamente ilimitada si su temperatura se mantiene debajo de un cierto límite. Encima de este valor, la vida útil de la aislación se vuelve cada vez más corta, a medida que la temperatura de trabajo es más alta. Este límite de temperatura es mucho más bajo que la temperatura de "quemado" del aislante y depende del tipo de material empleado.

Esta limitación de temperatura se refiere al punto más caliente de la aislación y no necesariamente a todo el bobinado. Evidentemente, basta un punto débil en el interior de la bobina para que el bobinado quede inutilizado.

5.1.3 Clases de aislación

Definición de las clases

Como fue visto arriba, el límite de temperatura depende del tipo de material empleado. Para fines de normalización, los materiales aislantes y los sistemas de aislación (cada uno formado por la combinación de varios materiales) son agrupados en CLASES DE AISLACIÓN, cada una definida por el respectivo límite de temperatura, o sea, por la mayor temperatura que el material puede soportar continuamente sin que sea afectada su vida útil.

Las clases de aislación utilizadas en máquinas eléctricas y los respectivos límites de temperatura según IEC 34-1 (ítem 15), son las siguientes:

- Clase A (105 °C)
- Clase E (120 °C)
- Clase B (130 °C)
- Clase F (155 °C)
- Clase H (180 °C)

Las clases B y F son las comúnmente utilizadas en motores normales. La tabla 5.1 muestra los límites de temperatura recomendados por diversas normas internacionales y entidades clasificadoras.

Tabla 5.1 - Límites de elevación de temperatura por clase de aislación

NORMA	Máxima temperatura ambiente °C t _a	Máxima sobre elevación de temperatura permitida por clase de aislación, Δt en °C (método de variación de resistencia)			
		A	E	B	F
Brasil ABNT NBR - 7094	40	60	75	80	100
Norma Internacional IEC 34-1	40	60	75	80	100
Alemania VDE 0530 Parte 1	40	60	75	80	100
USA NEMA MG 1 y ASA	40	60	—	80	105
Canadá CSA C 22.2 No. 100	40	60	—	80	105
Gan Bretaña BS 2613	40	60	75	80	100
Australia AS 1359.32	40	60	75	80	100
Bélgica NBN 7	40	60	75	80	100
Dinamarca DS 5002	40	60	75	80	100
Francia NF CS1-112	40	60	75	80	100
Holanda VEMET N 1007	40	—	70	80	100
India IS 325 - 1961	40	60	75	80	—
Italia CBI 2-3	40	60	70	80	100
Noruega NEM AV	40	60	—	80	—
Austria OVE - M/0	40	—	75	80	100
Suecia SEN 200101	40	60	70	80	100
Suiza SEV 3009	40	60	75	80	100

5.1.4 Medida de aumento de temperatura del bobinado

Es muy difícil medir la temperatura del bobinado con termómetros o teropares, pues la temperatura varía de un punto a otro y nunca se sabe si el punto de medición está próximo al punto más caliente.

El método más preciso y más confiable para medir la temperatura de un bobinado es a través de la variación de su resistencia ohmica con la temperatura que aprovecha la propiedad de los conductores de variar su resistencia según una ley conocida. El aumento de temperatura por el método de la resistencia se calcula por medio de la siguiente fórmula, para conductores de cobre:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot (235 + t_1) + t_1 - t_2$$

Donde: Δt = elevación de temperatura

t_1 = temperatura del bobinado antes del ensayo, prácticamente igual a la del medio refrigerante, medida con termómetro

t_2 = temperatura del bobinado al final del ensayo

t_3 = temperatura del medio refrigerante al final del ensayo

R_1 = Resistencia del bobinado antes del ensayo

R_2 = Resistencia del bobinado al final del ensayo

5.1.5 Aplicación a motores eléctricos

La temperatura del punto más caliente del bobinado debe ser mantenida por debajo del límite de clase. La temperatura total vale la suma de la temperatura ambiente con el aumento de temperatura Δt más la diferencia que existe entre la temperatura media del bobinado y la del punto más caliente.

Las normas de motores fijan la máxima elevación de temperatura Δt de modo que la temperatura del punto más caliente quede limitada, basada en las siguientes consideraciones:

- La temperatura ambiente es, por norma, como máximo 40° y encima de eso las condiciones de trabajo son consideradas especiales.
- La diferencia entre la temperatura media y la del punto más caliente no varía mucho de motor a motor y su valor establecido en la norma, basado en la práctica, es 5 °C para las clases A y E, 10 °C para la clase B y 15 °C para las clases F y H.

Las normas de motores, por lo tanto, establecen un máximo para la temperatura ambiente y especifican una elevación de temperatura máxima para cada clase de aislación. De este modo queda indirectamente limitada la temperatura del punto más caliente del motor. Los valores numéricos y la composición de la temperatura admisible del punto más caliente se indican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 - Composición de la temperatura en función de la clase de aislación

Clase de aislación		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente °C		40	40	40	40	40
Δt = elevación de temperatura (método de la resistencia) °C		60	75	80	100	125
Diferencia entre el punto más caliente y la temperatura media °C		5	5	10	15	15
Total: temperatura del punto más caliente °C		105	120	130	155	180

Para motores de construcción naval, deberán ser obedecidos todos los detalles particulares de cada entidad clasificadora.

Entidades clasificadoras para uso naval	Máxima temperatura ambiente °C t _a	Máxima sobre elevación de temperatura permitida por clase de aislación, Δt en °C (método de variación de resistencia)			
		A	E	B	F
Germanischer Lloyd	45	55	70	75	95
American Bureau of Shipping	50	55	65	75	95
Bureau Veritas	50	50	65	70	90
Norske Veritas	45	50	65	70	90
Lloyd's Register of Shipping	45	50	65	70	90
Rita	45	50	70	75	--

5.2 Protección térmica de motores eléctricos

La protección térmica se efectúa por medio de termoresistencias (resistencia calibrada), termistores, termostatos o protectores térmicos. Los tipos de detectores a ser utilizados son determinados en función de la clase de temperatura del aislante empleado, de cada tipo de máquina y de la exigencia del cliente.

Tipos de protectores utilizados por Weg.

5.2.1 Termoresistores (Pt-100)

Son elementos cuya operación se basa en la característica de variación de la resistencia con la temperatura intrínseca a algunos materiales (generalmente platino, níquel o cobre). Poseen resistencia calibrada que varía linealmente con la temperatura posibilitando un seguimiento continuo del proceso de calentamiento del motor por el display del controlador, con alto grado de precisión y sensibilidad de respuesta. Su aplicación es amplia en los diversos sectores de técnicas de medición y automatización de temperatura en la industria. Generalmente, se aplica en instalaciones de gran responsabilidad como por ejemplo en régimen intermitente muy irregular. Un mismo detector puede servir para alarma y para desconexión.

Desventaja

Los elementos sensores y el circuito de control poseen un alto costo.

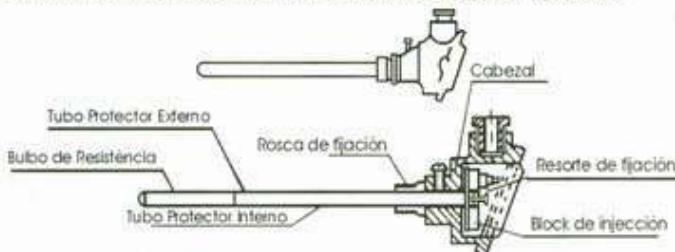


Figura 5.2 - Visualización del aspecto interno y externo de los termoresistores

5.2.2 Termistores (PTC y NTC)

Son detectores térmicos compuestos de sensores semiconductores que varían su resistencia bruscamente al alcanzar una determinada temperatura.

PTC - Coeficiente de temperatura positivo

NTC - Coeficiente de temperatura negativo

El tipo "PTC" es un termistor cuya resistencia aumenta bruscamente para un valor bien definido de temperatura, especificado para cada tipo. Esta variación brusca en la resistencia interrumpe la corriente del PTC, accionando un relé de salida, el cual desconecta el circuito principal. También puede ser utilizado para sistemas de alarma o alarma y desconexión (2 por fase).

Para el termistor "NTC" sucede lo contrario al PTC, por lo tanto, su aplicación no es normal en motores eléctricos, pues los circuitos electrónicos de control disponibles generalmente son para el PTC.

Los termistores tienen tamaño reducido, no sufren desgastes mecánicos y tienen una respuesta más rápida en relación a los otros detectores, aunque no permitan un seguimiento continuo del proceso de calentamiento del motor. Los termistores con sus respectivos circuitos electrónicos de control ofrecen protección completa contra sobrecalentamiento producido por falta de fase, sobrecarga, sub o sobre tensiones o frecuentes operaciones de inversión o conexión-desconexión. Tienen un bajo costo, en relación al Pt-100, pero necesitan un relé para comando de la actuación de la alarma u operación.



Figura 5.3 - Visualización del aspecto externo de los termistores (tamaño real)

5.2.3 Termostatos

Son detectores térmicos del tipo bimetálico con contactos de plata normalmente cerrados que se abren cuando ocurre determinada elevación de temperatura. Cuando la temperatura del bimetálico baja, este vuelve a su forma original instantáneamente, permitiendo el cierre de los contactos nuevamente. Los termostatos pueden ser destinados a sistemas de alarma, desconexión o ambos (alarma y desconexión) de motores eléctricos trifásicos cuando sea solicitado por el cliente.

Son conectados en serie con la bobina del contactor. Dependiendo del grado de seguridad y de la especificación del cliente, pueden ser utilizados tres termostatos (uno por fase) o seis termostatos (grupos de dos por fase).

Para operar en alarma y desconexión (dos termostatos por fase), los termostatos de alarma deben ser apropiados para actuación en la elevación de temperatura prevista del motor, en cuanto que los termostatos de desconexión deberán actuar en la temperatura máxima del material aislante.

TAMAÑO REAL

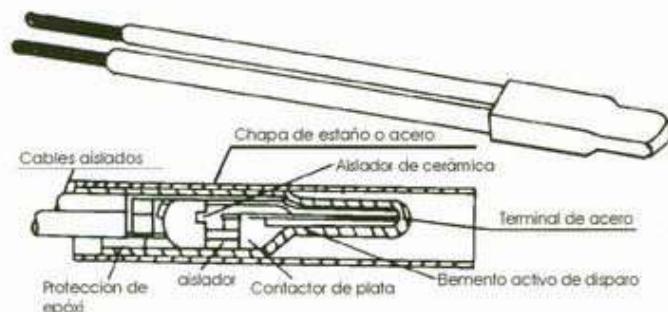


Figura 5.4 - Visualización del aspecto interno y externo del termostato

Los termostatos también son utilizados en aplicaciones especiales de motores monofásicos. En estas aplicaciones, el termostato puede ser conectado en serie con la alimentación del motor, siempre que la corriente del motor no sobrepase la máxima corriente admisible del termostato. En caso que esto ocurra, se conecta el termostato en serie con la bobina del contactor. Los termostatos son instalados en las cabezas de bobinas de fase diferentes.

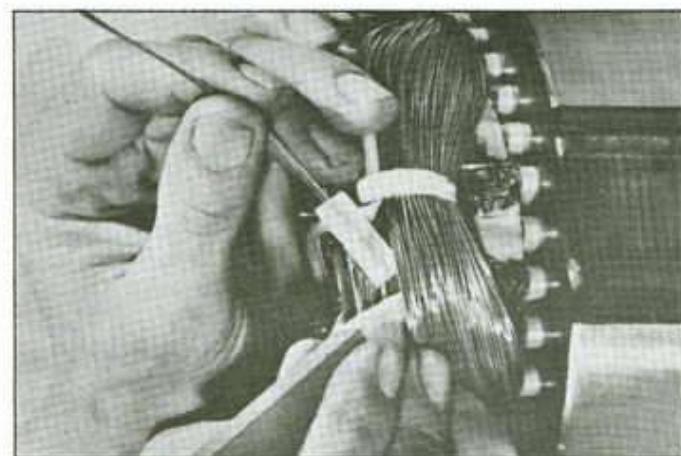


Figura 5.5 - Instalación del termostato en la cabeza de la bobina

5.2.4 Protectores térmicos

Son del tipo bimetálico con contactos normalmente cerrados. Utilizados principalmente para protección contra sobrecalentamientos en motores de inducción monofásicos, provocados por sobrecargas, trabamiento del rotor, caídas de tensión, etc. Se aplican cuando son especificados por el cliente. El protector térmico consiste básicamente en un disco bimetálico que posee dos contactos móviles, una resistencia y un par de contactos fijos.

El protector se conecta en serie con la alimentación y, debido a la disipación térmica causada por el pasaje de la corriente a través de la resistencia interna de éste, ocurre una deformación del disco tal que los contactos se abren y la alimentación del motor se interrumpe. Después de alcanzar una temperatura inferior a la especificada, el protector debe reconectar. En función de la reconexión, puede haber dos tipos de protectores:

- Protección con reconexión automática, en que el rearne se realiza automáticamente.
- Protector con reconexión manual, en que el rearne se realiza a través de un dispositivo manual.

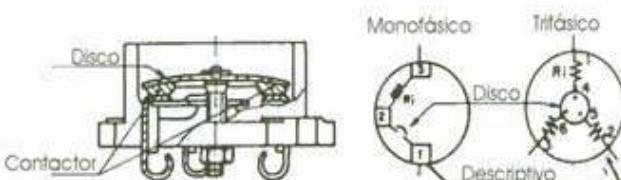


Figura 5.6 - Visualización del aspecto interno del protector térmico

El protector térmico también tiene aplicación en motores trifásicos aunque sólo en motores con conexión Y. El siguiente esquema de conexión puede ser utilizado:

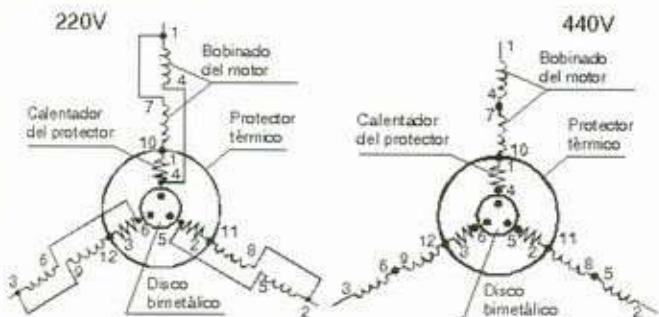


Figura 5.7 - Esquema de conexión del protector térmico para motores trifásicos

Ventajas

- Combinación de protector sensible a corriente y temperatura;
- Posibilidad de reconexión automática.

Desventajas

- Limitación de la corriente por estar el protector conectado directamente a la bobina del motor monofásico;
- Aplicación para motores trifásicos solamente en el centro de la conexión Y.

Tabla 5.3 - Comparativa entre los sistemas de protección más comunes

	TERMORESISTOR (Pt-100)	TERMISTOR (PTC Y NTC)	TERMOSTATO	PROTECTOR TÉRMICO
Mecanismo de protección	Resistencia calibrada	Resistor de avalancha	- Contactos móviles - bimetálicos	Contactos móviles
Disposición	Cabeza de bobina	Cabeza de bobina	- Insertado en el circuito - cabeza de bobina	Insertado en el circuito
Forma de actuación	Comando externo de actuación en la protección	Comando externo de actuación en la protección	- Actuación directa - Comando externo de actuación en la protección	Actuación directa
Límite de corriente	Corriente de comando	Corriente de comando	- Corriente del motor - Corriente de comando	Corriente del motor
Tipo de sensibilidad	Temperatura	Temperatura	Corriente y temperatura	Corriente y temperatura
Cantidad de unidades por motor	3 o 6	3 o 6	3 o 6 1 o 3	1
Tipo de comando	Alarma y/o desconexión	Alarma y/o desconexión	- Desconexión - Alarma y/o desconexión	Desconexión

	CAUSAS DE RECALENTAMIENTO		
	Protección en función de la corriente	Fusible y protector térmico	Protección con sondas térmicas en el motor
1. Sobre carga con corriente 1,2 veces la nominal	○	●	●
2. Regímenes de carga S1 a S8 EB 120	○	○	●
3. Frenajes; reversión de marchas y funcionamiento con arranques frecuentes	○	○	●
4. Funcionamiento con más de 15 arranques frecuentes	○	○	●
5. Rotor bloqueado	●	○	●
6. Falta de fase	○	○	●
7. Variación de tensión excesiva	○	●	●
8. Variación de frecuencia en la red	○	●	●
9. Temperatura ambiente excesiva	○	●	●
10. Calentamiento externo provocado por rodamientos, correas, poleas, etc.	○	○	●
11. Obstrucción de la ventilación	○	○	●

LEYENDA:

- NO PROTEGIDO
- SEMI PROTEGIDO
- TOTALMENTE PROTEGIDO

Tabla 5.4 - Comparativo entre sistemas de protección de motores

5.3 Régimen de servicio

Es el grado de regularidad de la carga a la que el motor es sometido. Los motores normales son proyectados para régimen continuo, la carga es constante, por tiempo indefinido e igual a la potencia nominal del motor.

El comprador debe indicar el régimen al que se va a someter el motor de la forma más exacta posible.

En los casos donde la carga no varía o en los que varía de forma previsible, el régimen puede ser indicado numéricamente o por medio de gráficos que representan las variables del motor en función del tiempo. Cuando el andamiento real de los valores en el tiempo es indeterminado, se debe indicar una secuencia ficticia no menos severa que la real.

5.3.1 Régimenes normalizados

Los regímenes tipo y los símbolos alfanuméricos que se les atribuye, son indicados a continuación:

a) Régimen continuo (S1)

Funcionamiento a carga constante de duración suficiente para que se alcance el equilibrio térmico (figura 5.8).

t_{c} = Funcionamiento en carga constante

θ_{max} = Temperatura máxima alcanzada

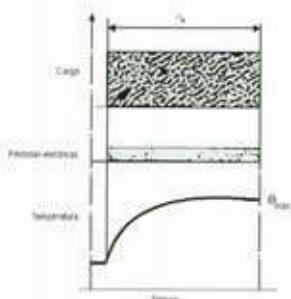


Figura 5.8

b) Régimen de tiempo limitado (S2)

Funcionamiento a carga constante durante un cierto tiempo inferior al necesario para alcanzar el equilibrio térmico, seguido de un período de reposo de duración suficiente para restablecer la igualdad de temperatura con el medio refrigerante (figura 5.9).

t_N = Funcionamiento en carga constante

θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

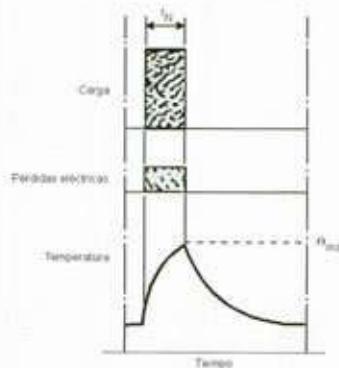


Figura 5.9

c) Régimen intermitente periódico (S3)

Secuencia de ciclos idénticos, cada uno incluyendo un período de funcionamiento a carga constante y un período de reposo, siendo los mismos muy cortos para que se alcance el equilibrio térmico durante un ciclo de régimen en el cual la corriente de arranque no afecte de modo significativo la elevación de temperatura (figura 5.10).

t_N = Funcionamiento en carga constante

t_R = Reposo

θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_R} \cdot 100\%$$

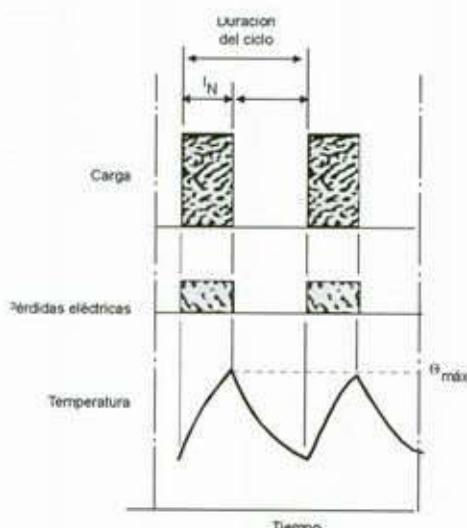


Figura 5.10

d) Régimen intermitente periódico con arranques (S4)

Secuencia de ciclos de regímenes idénticos, cada uno consistiendo de un período de arranque, un período de funcionamiento a carga constante y un período de reposo, siendo los mismos muy cortos para que se alcance el equilibrio térmico (figura 5.11).

t_D = Arranque

t_N = Funcionamiento en carga constante

t_R = Reposo

θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{t_D + t_N}{t_D + t_N + t_R} \cdot 100\%$$

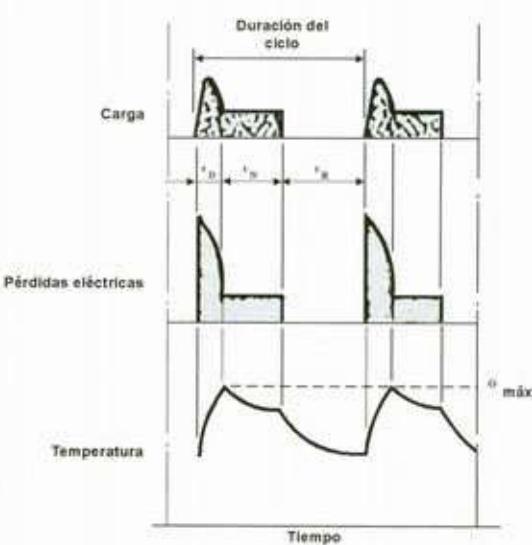


Figura 5.11

e) Régimen intermitente periódico con frenaje eléctrico (S5)

Secuencia de ciclos de regímenes idénticos, cada uno consistiendo de un período de arranque, un período de funcionamiento en carga constante, un período de frenaje eléctrico y un período de reposo, siendo los mismos muy cortos para que se alcance el equilibrio térmico (figura 5.12).

t_D = Arranque

t_N = Funcionamiento en carga constante

t_F = Frenaje eléctrico

t_R = Reposo

θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{t_D + t_N + t_F}{t_D + t_N + t_F + t_R} \cdot 100\%$$

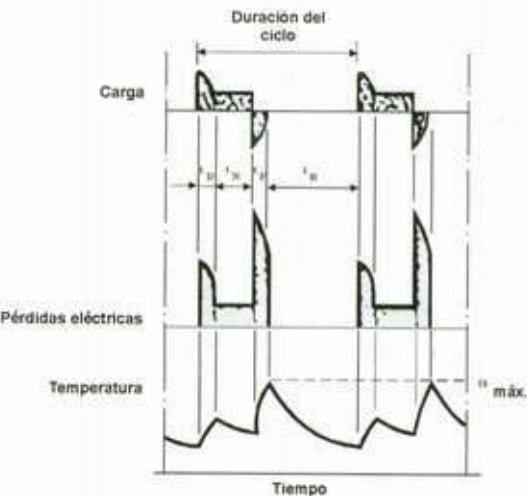


Figura 5.12

f) Régimen de funcionamiento continuo con carga intermitente (S6)
Secuencia de ciclos de regímenes idénticos, cada uno consistiendo de un período de funcionamiento a carga constante y un período de funcionamiento en vacío, no existiendo período de reposo (figura 5.13).

- t_N = Funcionamiento en carga constante
- t_V = Funcionamiento en vacío
- θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

$$\text{Factor de duración del ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_V} \cdot 100\%$$

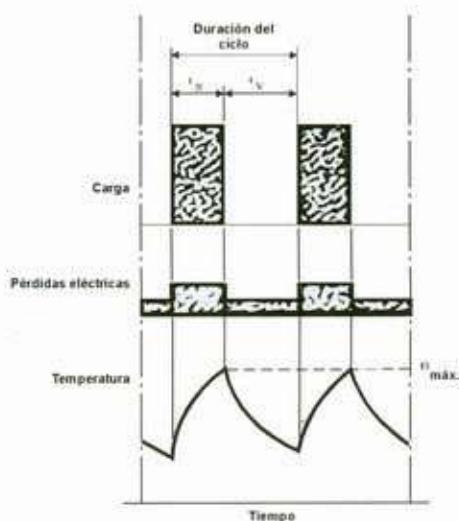


Figura 5.13

g) Régimen de funcionamiento continuo con frenaje eléctrico (S7)

Secuencia de ciclos de regímenes idénticos, cada uno consistiendo de un período de arranque, un período de funcionamiento a carga constante y un período de frenaje eléctrico, no existiendo período de reposo (figura 5.14).

- t_0 = Arranque
- t_N = Funcionamiento en carga constante
- t_F = Frenaje eléctrico
- θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

$$\text{Factor de duración del ciclo} = 1$$

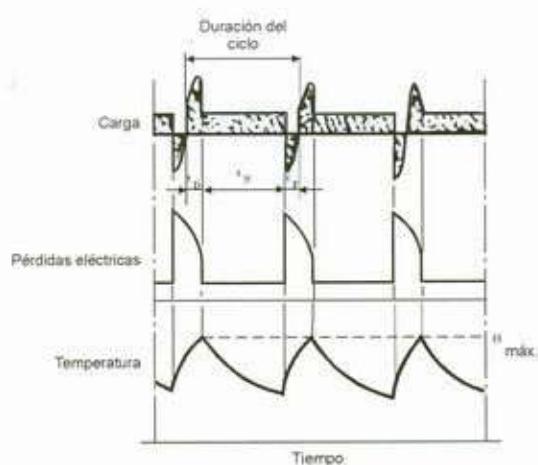


Figura 5.14

h) Régimen de funcionamiento continuo con cambio periódico en la relación carga/velocidad (S8)

Secuencia de ciclos de regímenes idénticos, cada uno consistiendo de un período de arranque, un período de funcionamiento a carga constante correspondiente a una velocidad de rotación predeterminada, seguidos de uno o más períodos de funcionamiento a otras cargas constantes correspondientes a diferentes velocidades de rotación. No existe período de reposo (figura 5.15).

- $t_{F1} - t_{F2}$ = Frenaje eléctrica
- t_0 = Arranque
- $t_{N1} - t_{N2} - t_{N3}$ = Funcionamiento en carga constante
- θ_{\max} = Temperatura máxima alcanzada durante el ciclo

Factor de duración del ciclo:

$$\begin{aligned} &= \frac{t_0 + t_{N1}}{t_0 + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\% \\ &= \frac{t_{F1} + t_{F2}}{t_0 + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\% \\ &= \frac{t_{N1} + t_{N3}}{t_0 + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\% \end{aligned}$$

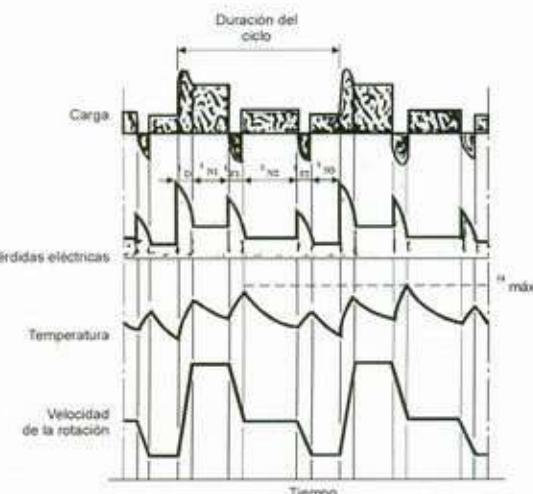


Figura 5.15

NOTA: En los regímenes S3 a S8 el período es, en general, suficientemente corto como para que no sea alcanzado el equilibrio térmico, de modo que el motor se calienta y enfria parcialmente en cada ciclo. Despues de un gran número de ciclos el motor alcanza una faja de elevación de temperatura de equilibrio.

i) Regímenes especiales

Donde la carga puede variar durante los períodos de funcionamiento, existe reversión o frenaje por contra corriente, etc., la elección del motor adecuado debe hacerse mediante una consulta a fábrica y depende de una descripción completa del ciclo:

- Potencia necesaria para accionar la carga o, si varía según un gráfico de potencia requerida durante un ciclo (la figura 5.14 muestra un gráfico simple donde la potencia varía en el período de carga).
- Par resistente de la carga.
- Momento de inercia total (GD^2 o J) de la máquina accionada, referida a su velocidad nominal.
- Número de arranques, reversiones, frenajes por contracorriente, etc.
- Duración de los períodos en carga y en reposo o vacío.

5.3.2 Designación del régimen tipo

El régimen tipo es designado por el símbolo descrito en el ítem 5.3. En el caso de régimen continuo, éste puede ser indicado, alternativamente, por la palabra "continuo". Ejemplos de las designaciones de los regímenes:

1) S2 60 segundos

La designación de los regímenes S2 a S8 es seguida por las siguientes indicaciones:

- S2, tiempo de funcionamiento a carga constante;
- S3 a S6, factor de duración del ciclo;
- S8, cada una de las velocidades nominales que constituyen el ciclo, seguidas de la respectiva potencia nominal y de su respectivo tiempo de duración.

La velocidad sincrónica n_s es función de la cantidad de polos y de la frecuencia de alimentación:

$$n_s = \frac{120}{2p} \times f \quad (\text{rpm})$$

5.6 Corriente nominal (A)

Es la corriente que el motor absorbe de la red cuando funciona a potencia nominal, bajo tensión y frecuencia nominales. El valor de la corriente nominal depende del rendimiento (η) y del factor de potencia ($\cos \phi$) del motor:

$$I = \frac{P (\text{kW}) \times 1000}{\sqrt{3} U \cdot \eta \cdot \cos \phi} = \frac{736 \times P (\text{cv})}{\sqrt{3} U \cdot \eta \cdot \cos \phi} \quad (\text{A})$$

Los valores típicos de corriente, rendimiento y factor de potencia de los motores Weg de II, IV, VI y VIII polos están indicados en los catálogos.

5.7 Rendimiento

El rendimiento depende del diseño y del tipo de motor, siendo su valor influenciado por la porción de energía eléctrica transformada en energía mecánica y por lo tanto por las pérdidas (eléctricas y mecánicas) que se presentan y que en definitiva son obtenidas por la diferencia entre la potencia entregada y la recibida.

Existen dos métodos principales para la determinación del rendimiento: por suma de pérdidas y por cálculo directo.

En el caso de valores garantizados la norma permite las siguientes tolerancias:

a) Por la suma de pérdidas:

- Motores de potencia igual o inferior a 75cv:
-0,15 x (1 - η)
- Motores de potencia nominal superior a 75cv:
-0,10 x (1 - η)

b) Por cálculo directo:

$$-0,15 x (1 - \eta)$$

5.7.1 Importancia del rendimiento

Es importante que el motor tenga un rendimiento alto por dos motivos: Primero, porque un rendimiento alto significa pérdidas bajas y por lo tanto menos calentamiento del motor.

Segundo, porque cuanto mayor es el rendimiento menor la potencia absorbida de la línea y por consiguiente menor el costo de la energía eléctrica a pagar en las cuentas mensuales. El rendimiento varía de acuerdo con la carga del motor. Los catálogos de los motores Weg indican los valores típicos del rendimiento en función de la carga. Estos valores son representados gráficamente en la figura 5.18.

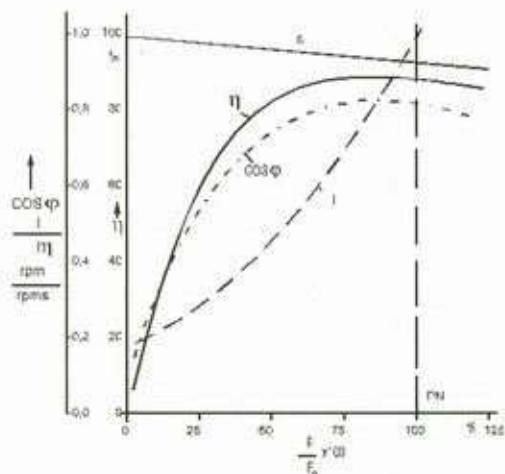


Figura 5.18 - Curvas características típicas de motores de inducción trifásicos

- | | |
|-------|---------------------|
| I | = Corriente |
| I_n | = Corriente nominal |
| P | = Potencia |
| P_n | = Potencia nominal |

- | | |
|-------------|-------------------------|
| rpm | = Velocidad |
| rpms | = velocidad asincrónica |
| η | = Rendimiento |
| $\cos \phi$ | = Factor de potencia |

5.8 Factor de potencia

Un motor no consume sólo potencia activa, luego convertida en trabajo mecánico, sino también potencia reactiva necesaria para la magnetización, la cual no produce trabajo.

En el diagrama de la figura 5.19 el vector P representa la potencia activa y el vector Q la potencia reactiva, que sumadas resultan en la potencia aparente S. La relación entre potencia activa medida en kW y la potencia aparente medida en kVA se llama factor de potencia.

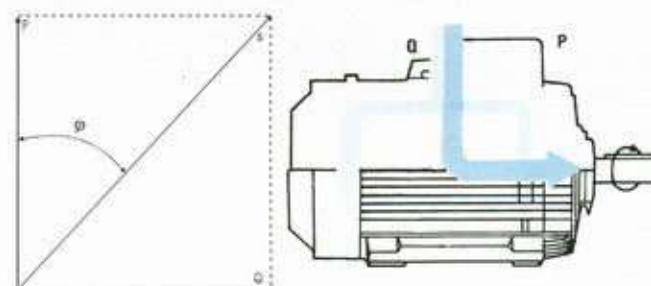


Figura 5.19 - El factor de potencia es determinado midiendo la potencia de entrada, la tensión y la corriente con carga nominal

5.8.1 Importancia del factor de potencia

Con vistas a optimizar el aprovechamiento del sistema eléctrico brasileño, reduciendo el tránsito de energía reactiva en las líneas de transmisión, subtransmisión y distribución, el documento número 85 del DNAEE del 25 de marzo de 1992 determinó que el factor de potencia de referencia de las cargas cambie de 0,85 a 0,92.

El cambio del factor de potencia da una mayor disponibilidad de potencia activa en el sistema, ya que la energía reactiva limita la capacidad de transporte de energía útil.

El motor eléctrico es una pieza fundamental pues dentro de las industrias representa más del 60% del consumo de energía. Lógicamente es imprescindible la utilización de motores con potencia y características bien adecuadas a su función. El factor de potencia varía con la carga del motor. Los catálogos Weg indican los valores típicos de esta variación que también son representados en la figura 5.18.

5.8.2 Corrección del factor de potencia

El aumento del factor de potencia se realiza conectando una carga capacitativa, en general un capacitor o motor sincrónico superexcitado, en paralelo con la carga.

Por ejemplo:

Se tiene un motor eléctrico trifásico de 100cv (75 kW) operando al 100% de la potencia nominal con factor de potencia original de 0,90. El factor de potencia deseado es de 0,95.

Solución:

Utilizándose la tabla 5.5, en la intersección de la línea 0.90 con la columna de 0.95 se obtiene el valor de 0.155 que multiplicado por la potencia del motor en kW da el valor de la potencia reactiva necesaria para aumentar el factor de potencia de 0,90 a 0,95.

$$\text{kVar necesario} = 75 \times 0.155 = 11,625 \text{ kVar.}$$

Tabla 5.5

6. Características del ambiente

La potencia admisible del motor de inducción es determinada teniendo en cuenta principalmente dos factores:

- Altitud a la que el motor será instalado;
- Temperatura del medio refrigerante.

Según la norma IEC 34-1 (Item 11), las condiciones usuales de servicio son:

- a) Altitud no superior a 1000m sobre el nivel del mar;
- b) Medio refrigerante (en la mayoría de los casos aire del ambiente) con temperatura no superior a los 40 °C, y exenta de elementos perjudiciales. Hasta estos valores de altitud y temperatura ambiente se consideran condiciones normales y el motor debe entregar, sin sobrecalentamiento, su potencia nominal.

6.1 Altitud

Los motores trabajando encima de 1.000m presentan problemas de calentamiento causado por el enrarecimiento del aire, y consecuentemente, disminución de su poder refrigerante.

El intercambio de calor insuficiente entre el motor y el aire circundante, aumenta la exigencia en la reducción de pérdidas, lo que también significa reducción de potencia.

Los motores tienen un calentamiento directamente proporcional a las pérdidas, y éstas varían aproximadamente en razón cuadrática con la potencia. Existen tres soluciones posibles:

- a) La instalación de un motor en altitudes mayores a 1.000 metros puede hacerse usando materiales aislantes de clase superior.
- b) Los motores con factor de servicio mayor que 1,0 (1,15 o mayor) trabajarán satisfactoriamente en altitudes mayores a 1.000m con temperatura ambiente de 40 °C siempre que la carga requiera solamente la potencia nominal del motor.
- c) Según la norma IEC 34-1 (Item 16), los límites de elevación de temperatura deben ser reducidos 1% por cada 100m de altitud por encima de 1.000m.

Esta reducción debe redondearse hacia el número de °C entero inmediato superior.

Ejemplo:

Un motor de 100cv, aislación clase B, trabaja a 1.500m por encima del nivel del mar. La elevación de temperatura permitida por la clase de aislación será reducida 5%.

$$\Delta T = 80 - 80 \cdot 0,05 = 76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.2 Temperatura ambiente

Los motores que trabajan en temperaturas inferiores a -20 °C presentan los siguientes problemas:

- a) Condensación excesiva, exigiendo drenaje adicional o instalación de resistencia de calentamiento en el caso que el motor permanezca parado por períodos largos.
- b) Formación de hielo en los rodamientos, provocando endurecimiento de la grasa o lubricante, exigiendo el empleo de lubricantes especiales o grasa anticongelante, según se especifica en el Manual de Instalación y Mantenimiento Weg.

En motores que trabajan a temperaturas ambientales constantemente superiores a 40 °C, el bobinado puede alcanzar temperaturas perjudiciales para el aislamiento.

Este hecho tiene que compensarse con un proyecto especial del motor usando materiales aislantes especiales, o por la reducción de la potencia nominal del motor.

6.3 Determinación de la potencia útil del motor para diversas condiciones de temperatura y altitud

Asociando los efectos de variación de temperatura y altitud, la capacidad de disipación de la potencia del motor puede ser obtenida multiplicando la potencia útil por un factor (α) según la tabla 6.1.

Tabla 6.1 - Factor de multiplicación de la potencia útil en función de la temperatura ambiente (T) en °C y de la altitud (H) en "m".

T/H	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
10							1,05
15						1,05	0,99
20					1,05	0,99	0,93
25				1,05	0,98	0,93	0,88
30			1,04	0,97	0,92	0,87	0,82
35		1,02	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77
40	1,00	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,72
45	0,92	0,87	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67
50	0,85	0,80	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62
55	0,77	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,57
60	0,71	0,67	0,64	0,60	0,57	0,55	0,52

Ejemplo:

Un motor de 100cv, aislación clase B, para trabajar a 2.000m de altura y 55°C De la tabla 6.1 - $\alpha = 0,70$, luego, $P'' = 0,7 \cdot P$

El motor podrá entregar apenas un 70% de su potencia nominal.

6.4 Atmósfera ambiente

6.4.1 Ambientes agresivos

Los ambientes agresivos tales como astilleros, instalaciones portuarias industria pesquera y múltiples aplicaciones navales, industria química y petroquímica, exigen que los equipamientos instalados sean perfectamente adecuados para soportar tales circunstancias con alta confiabilidad y sin presentar problemas de ningún tipo.

Para la utilización de motores en estos ambientes agresivos, Weg desarrolló una línea de motores, proyectados para atender los requisitos especiales y normalizados para las condiciones más severas que puedan encontrarse. Los motores deberán tener la siguientes características especiales:

- bobinados doblemente impregnados
- pintura anticorrosiva alquídica, interna y externa
- chapa de identificación de acero inoxidable
- elementos de montaje galvanizados
- ventilador de material que no provoque chispas
- retenes entre el eje y las tapas
- juntas de goma para aislar la caja de conexiones
- pasaje de los cables de conexión por la carcasa calafateado
- caja de conexiones de hierro fundido

En el caso de motores navales, las características de funcionamiento específicas son determinadas por el tipo de carga movida a bordo. De todas formas todos presentan las siguientes características especiales:

- elevación de temperatura reducida para funcionamiento en ambientes hasta 50 °C
- capacidad de soportar sin problemas, sobrecargas ocasionales de corta duración de hasta 60% por arriba del par nominal, según las normas de las Sociedades Clasificadoras.

Respecto a los controles rígidos para asegurar la confiabilidad en servicio los motores navales Weg se encuadran en las exigencias de construcción inspección y ensayos establecidos en las normas de las Sociedades Clasificadoras, entre las que se encuentran:

- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
- BUREAU VERITAS
- LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
- GERMANISCHER LLOYD

6.4.2 Ambientes conteniendo polvo o fibras

Para analizar si los motores pueden o no trabajar en estos ambientes, se debe informar los siguientes datos: tamaño y cantidad aproximada de las fibras contenidas en el ambiente. Tamaño y cantidad de fibras, son factores importantes ya que, dependiendo del tamaño, pueden provocar a lo largo del tiempo la obstrucción de la ventilación, provocando calentamiento del motor. Cuando

el contenido de fibras es elevado se debe usar filtros de aire o efectuar limpieza en los motores.

6.4.3 Lugares donde la ventilación del motor es perjudicada

En estos casos existen dos soluciones:

- 1) Utilizar motores sin ventilación;
- 2) Para motores con ventilación por ductos, se calcula el volumen de aire movido por el ventilador del motor, determinando la circulación de aire necesaria para la perfecta refrigeración del motor.

6.4.4 Ambientes peligrosos

Los motores a prueba de explosión son destinados a trabajar en ambientes clasificados como peligrosos por contener gases, vapores polvos o fibras inflamables o explosivas. El capítulo 7 (ambientes peligrosos) trata específicamente este asunto.

6.5 Grados de protección

Las carcásas y demás accesorios de los equipos eléctricos de acuerdo a las características del lugar donde serán instalados y de su accesibilidad, deben ofrecer un determinado grado de protección.

Por ejemplo, un equipo a ser instalado en un lugar expuesto a chorros de agua, debe poseer un envoltorio capaz de soportarlos, bajo determinados valores de presión y ángulo de incidencia, sin que haya penetración de agua.

6.5.1 Código de identificación

La norma IEC 34-5 define los grados de protección de los equipos eléctricos por medio de las letras características IP, seguidas por dos dígitos.

Tabla 6.2 - 1er. DIGITO : indica el grado de protección contra penetración de cuerpos extraños sólidos y contacto accidental

1er. DIGITO	
DIGITO	SIGNIFICADO
0	Sin protección
1	Cuerpos extraños de dimensiones mayores que 50mm
2	Cuerpos extraños de dimensiones mayores que 12mm
3	Cuerpos extraños de dimensiones mayores que 2,5mm
4	Cuerpos extraños de dimensiones mayores que 1,0mm
5	Protección contra acumulación de polvo perjudicial para el motor
6	Totalmente protegido contra el polvo

Tabla 6.3 - 2do. DIGITO : indica el grado de protección contra penetración de agua al interior del motor accidental

2do. DIGITO	
DIGITO	SIGNIFICADO
0	Sin protección
1	Gotas verticales de agua
2	Gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical
3	Aqua de lluvia hasta una inclinación de 60° con la vertical
4	Salpicaduras en todas las direcciones
5	Chorros de agua en todas las direcciones
6	Aqua de oleaje fuerte
7	Inmersión temporaria
8	Inmersión permanente

Las combinaciones de los dos dígitos, o sea, de los dos criterios de protección, están resumidos en la tabla 6.4.

Tener en cuenta que, de acuerdo a la norma, la calificación del motor en cada grado, en lo que se refiere a cada uno de los dígitos, está totalmente definida a través de ensayos normalizados y no está sujeta a interpretaciones, como sucedía anteriormente.

Tabla 6.4 - Grados de protección

Motor	Clases de protección	Ter. digito		2do. digito
		Protección contra contacto	Protección contra cuerpos extraños	
Motores abiertos	IP00	no tiene	no tiene	no tiene gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical
	IP02	no tiene	no tiene	gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical
	IP11	contacto accidental con la mano	cuerpos extraños sólidos de dimensiones mayores que 50mm	gotas verticales de agua
	IP12			gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical
	IP13			gotas de lluvia hasta una inclinación de 60° con la vertical
	IP21	contacto con los dedos	cuerpos extraños sólidos de dimensiones mayores que 12mm	gotas verticales de agua
Motores cerrados	IP22			gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical
	IP23			aqua de lluvia hasta una inclinación de 60° con la vertical
	IP44	contacto con herramientas	cuerpos extraños sólidos de dimensiones mayores que 1mm	gotas en todas las direcciones
	IP54	protección completa contra contacto	protección contra acumulación de polvos nocivos	salpicaduras en todas las direcciones
	IP55			chorros de agua en todas las direcciones
	IP(W)55	protección completa contra contacto	protección contra acumulación de polvos nocivos	lluvia y agua de mar

6.5.2 Tipos usuales de protección

Aunque los dígitos indicativos del grado de protección puedan ser combinados de muchas formas, sólo algunos tipos de protección son empleados en los casos normales: IP 21, IP 22, IP 23 y IP 44.

Los tres primeros son motores abiertos y el último es un motor totalmente cerrado. Para aplicaciones especiales más rigurosas, también son comunes los grados de protección IP 54 (ambientes con mucho polvo) y IP 55 (casos en los que los equipos son lavados periódicamente con mangueras como se en fábricas de papel).

Otros grados de protección para motores abiertos son raramente fabricados, ya que cualquier grado de protección satisface plenamente los grados de protección inferiores (dígitos menores).

Por ejemplo un motor IP 44 substituye con ventajas los motores IP 12, IP 22, y IP 23, presentando mayor seguridad contra exposición accidental a polvo y agua. Esto permite la programación de la producción para un único tipo que atienda todos los casos, con ventaja adicional para el comprador en los casos de ambientes menos exigentes.

6.5.3 Motores a prueba de ambientes agresivos

La letra (W) colocada entre las letras IP y los números que indican el grado de protección indica que el motor está protegido contra ambientes agresivos.

Ejemplo:

IP(W)55 significa un motor con grado de protección IP 55 en cuanto a polvo y agua, y además protegido contra ambientes agresivos (lluvia, mar, etc.), también llamados motores de uso naval.

Los ambientes agresivos exigen que los equipos sean perfectamente adecuados para soportar tales circunstancias con alta confiabilidad y sin presentar problemas de ningún tipo.

Weg produce una variada gama de motores eléctricos con características técnicas especiales, apropiadas para la utilización en astilleros, instalaciones portuarias, industrias pesqueras y múltiples aplicaciones navales, además de las industrias químicas y petroquímicas, y otros ambientes con condiciones agresivas. Son a prueba del tiempo y adecuados a los más severos regímenes de trabajo.

Los motores Weg para ambientes agresivos IP(W)55 se distinguen de los de protección IP 54 por las siguientes características:

- Bobinados doblemente impregnados (carcasa 225 a 355)
- Pintura anticorrosiva alquídica externa;
- Placa de identificación de acero inoxidable;
- Elementos de montaje galvanizados;
- Retenes entre el eje y las tapas;
- Juntas de goma para aislar la caja de conexiones;
- Pasaje de los cables de conexión por la carcasa aislado con esponja;
- Ventilador de material que no provoque chispas;
- Drenes automáticos de salida de agua condensada en el interior del motor;
- Terminal de tierra en el interior de la caja de conexiones;
- Bornera;
- Rodamientos con holgura C3 (carcasa 160L a 355);
- Sistemas de lubricación (graseras) (carcasa 225 a 355);

OPCIONALES (cuando exigidos por el cliente):

- Aislación clase F (155°C) o H (180°C);
- Pintura a base de resinas epoxi;
- Impregnado a base de resinas epoxi;
- Resistencias internas deshumedecedoras;
- Sondas térmicas bimétalicas;
- Termistores;
- Carcasa con caja de conexiones superior;
- Graseras de lubricación en carcasa 160 a 200;
- Laberinto metálico de tipo anillo nilos (carcasa 90 a 112) y taconite (carcasa 132 a 355);
- Ensayos de rutina, tipo, especial y prototípico, con o sin la presencia de un inspector.

6.6 Ventilación

Las pérdidas son inevitables en el motor y el calor que generan debe ser disipado, o sea, transferido al elemento de refrigeración del motor, usualmente el aire ambiente.

La forma como se hace el intercambio de calor entre las partes calientes del motor y el aire ambiente es lo que define el "Sistema de Ventilación" del motor.

La clasificación de los métodos de enfriamiento fue definida siguiendo la norma IEC 34-6.

Los sistemas usuales de ventilación son los siguientes:

SISTEMAS DE REFRIGERACION

Intercambiador de calor aire-aire (KGF, KAF)

IC 01 61

El motor puede presentar protección IP 44, IP 54, IP 55 o equivalentes. Cuenta con dos ventiladores acoplados al eje, uno interno y otro externo. El intercambiador de calor es montado en la parte superior del motor (figura 6.1).

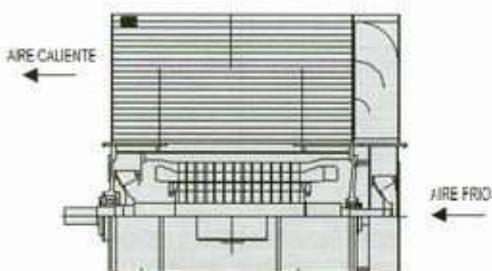


Figura 6.1

Abierto (autoventilado) (KGA, KAA)

IC 01

En este sistema el motor puede presentar protecciones IP 23, IP 24 o equivalentes correspondientes a motores abiertos. Cuenta con un ventilador interno acoplado al eje, el cual aspira el aire ambiente que luego de pasar a través de la máquina es devuelto caliente al medio ambiente (figuras 6.2A y 6.2B).

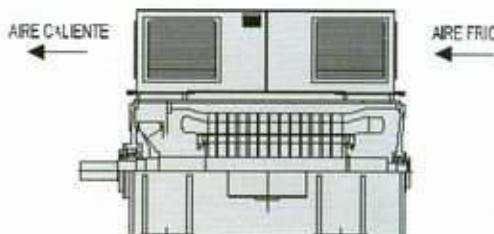


Figura 6.2a - Circulación del medio refrigerante a través del ventilador

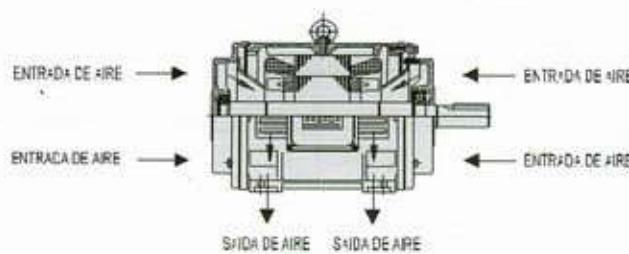


Figura 6.2b - Circulación del medio refrigerante a través de aletas en el rotor

Intercambiador de calor aire-agua (KGW, KAW)

IC W 37 A 81

El motor con intercambiador de calor aire-agua puede presentar protecciones IP 44, IP 54, IP 55 o equivalentes. El motor cuenta con un ventilador acoplado al eje (figura 6.3).

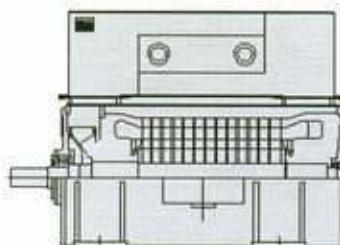


Figura 6.3

Autoventilado por ductos (KGD, KAD)

IC 33

En este sistema el motor presenta un ventilador acoplado internamente al eje, el cual aspira el aire de un recinto no contaminado que luego de atravesar el motor es devuelto al medio ambiente (figura 6.4).

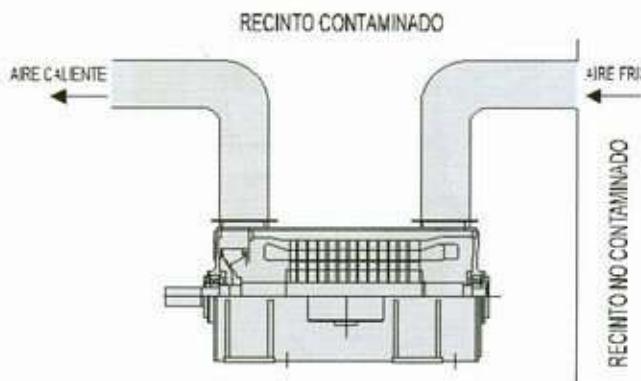


Figura 6.4

Ventilación independiente con intercambiador aire-agua (KGL, KAL)

IC W 37 A 81

En este sistema existe un ventilador independiente que fuerza la circulación del aire hacia adentro del motor, a través del intercambiador de calor aire-agua (figura 6.5).

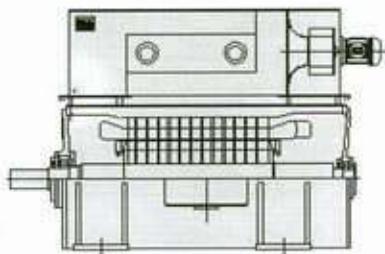


Figura 6.5

Ventilación independiente por ductos (KGT, KAT)

IC 35

El aire aspirado de un recinto no contaminado es canalizado a través de ductos hasta el motor (figura 6.6).

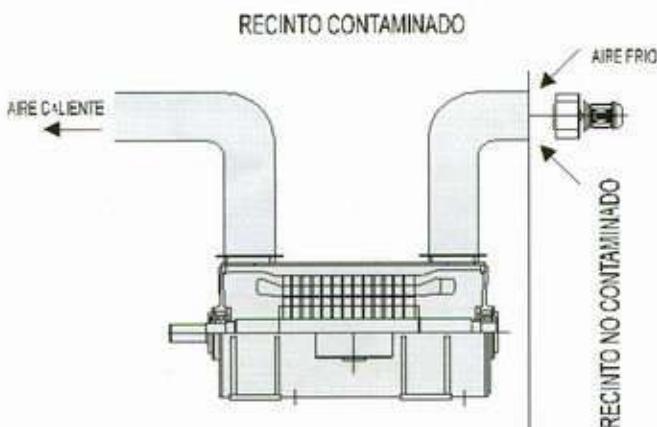


Figura 6.6

Ventilación independiente, motor abierto (KGV, KAV)

IC 06

El aire ambiente es forzado a circular a través del motor por un ventilador independiente acoplado a la parte superior del motor y luego es devuelto al medio ambiente (figura 6.7).

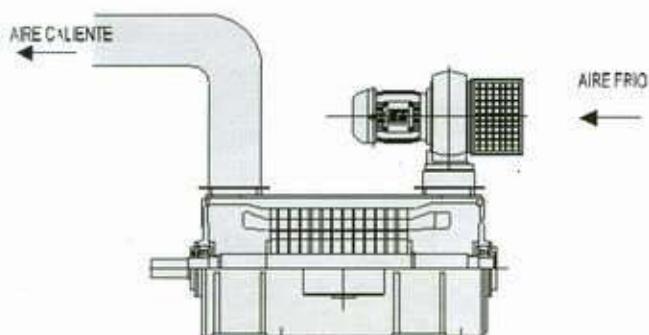


Figura 6.7

Ventilación independiente con intercambiador de calor aire-aire (KGI, KAI)

IC 06 66

En este sistema existe un ventilador independiente que fuerza la circulación interna de aire. Otro ventilador independiente aspira el aire ambiente y lo hace circular a través del intercambiador de calor aire-aire (figura 6.8).

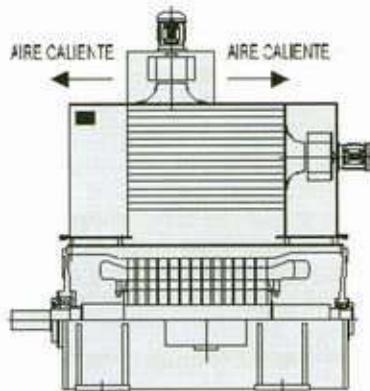


Figura 6.8

Motor totalmente cerrado

IC 01 41

Máquina totalmente cerrada, enfriada por ventilador, carcasa con aletas. Hay aletas en el rotor (figura 6.9).

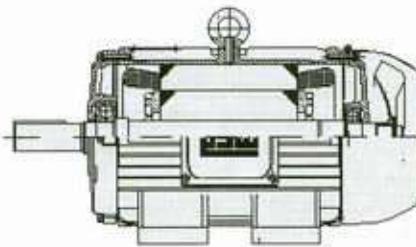


Figura 6.9

6.7 Resistencia de calentamiento

Las resistencias de calentamiento son colocadas cuando un motor eléctrico es instalado en ambientes muy húmedos con posibilidad de quedar desconectado por períodos largos e impiden la acumulación de agua en el interior del motor por la condensación del aire húmedo. Las resistencias de calentamiento aumentan la temperatura del interior del motor algunos grados por encima de la temperatura ambiente (5 a 10°C) cuando el motor queda apagado.

La tensión de alimentación de las resistencias de calentamiento deberá ser especificada por el cliente siendo disponibles en 110V, 220V y 440V. Dependiendo de la carcasa serán empleadas las resistencias de calentamiento según la tabla 6.5.

Tabla 6.5 - Resistencia de calentamiento

Carcasa	Potencia (W)
63 a 90	8
100 a 112	16
132	24
160 a 200	48
225 a 250	90
280 a 355	180

6.8 Límites de ruidos

Los motores Weg cumplen las normas NEMA y IEC que especifican los límites máximos de nivel de potencia sonora en decibeles. Los valores de la tabla 6.6 son los de la IEC 34-9.

Tabla 6.6 - Nivel de potencia sonora - dB(A) IEC 34-9

Grados de protección			IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44	IP22	IP44
Velocidad nominal (rpm) - "n"			n ≤ 960	960 < n ≤ 1320	1320 < n ≤ 1900	1900 < n ≤ 2360	2360 < n ≤ 3150	3150 < n ≤ 3750				
Fajas de potencias nominales, P			Nivel de potencia sonora dB (A)									
Generadores de corriente		Motores										
Alterno kVA	Continua kW	kW	CV									
P ≤ 1,1	P ≤ 1,1	P ≤ 1,5		73	73	76	76	77	78	79	81	81
1,1 < P ≤ 2,2	1,1 < P ≤ 2,2	1,5 < P ≤ 3,0		74	74	78	78	81	82	83	85	85
2,2 < P ≤ 5,5	2,2 < P ≤ 5,5	3,0 < P ≤ 7,5		77	78	81	82	85	86	86	90	89
5,5 < P ≤ 11	5,5 < P ≤ 11	7,5 < P ≤ 15		81	82	85	85	88	90	90	93	93
11 < P ≤ 22	11 < P ≤ 22	15 < P ≤ 30		84	86	88	88	91	94	93	97	97
22 < P ≤ 37	22 < P ≤ 37	30 < P ≤ 50		87	90	91	91	94	98	96	100	99
37 < P ≤ 55	37 < P ≤ 55	50 < P ≤ 75		90	93	94	94	96	100	98	102	101
55 < P ≤ 110	55 < P ≤ 110	75 < P ≤ 150		93	96	97	96	100	103	101	104	103
110 < P ≤ 220	110 < P ≤ 220	150 < P ≤ 300		97	99	100	102	103	106	103	108	105
220 < P ≤ 630	220 < P ≤ 630	300 < P ≤ 860		99	102	103	105	106	108	106	109	107
630 < P ≤ 1100	630 < P ≤ 1100	860 < P ≤ 1500		101	105	106	108	108	111	108	111	109
1100 < P ≤ 2500	1100 < P ≤ 2500	1500 < P ≤ 3400		103	107	108	110	109	113	109	113	110
2500 < P ≤ 6300	2500 < P ≤ 6300	3400 < P ≤ 8600		106	109	110	112	110	115	111	115	112

7. Ambientes peligrosos

7.1 Áreas de riesgo

Una instalación donde se manejen, procesen o almacenen continuamente productos inflamables, necesita de cuidados especiales que garanticen el mantenimiento del patrimonio y preserven la vida humana.

Los equipos eléctricos, por sus propias características, pueden representar fuentes de ignición, así sea por chisporroteo normal, debido a la apertura y cierre de contactos o por sobrecalentamiento de algún componente, sea intencional o causado por corrientes de defecto.

7.2 Atmósfera explosiva

Una atmósfera es explosiva cuando la proporción de gas, vapor, polvo o fibras es tal que una chispa proveniente de un circuito eléctrico, o el calentamiento de un aparato, provoca la explosión. Para que se inicie una explosión, son necesarios tres elementos:

Combustible + oxígeno + chispa = explosión.

7.3 Clasificación de las áreas de riesgo

De acuerdo con las normas IEC 79-10, las áreas de riesgo son clasificadas en:

Zona 0:

Región donde la ocurrencia de mezcla inflamable y/o explosiva es continua o existe por largos períodos. Por ejemplo, la región interna de un tanque de combustible. La atmósfera explosiva está siempre presente.

Zona 1:

Región donde la probabilidad de ocurrencia de mezcla inflamable y/o explosiva está asociada a la operación normal del equipamiento y del proceso. La atmósfera explosiva está frecuentemente presente.

Zona 2:

Lugares donde la presencia de mezcla inflamable y/o explosiva no es probable que ocurra, y si ocurre, es por pocos períodos. Pérdidas o uso negligente. La atmósfera explosiva puede accidentalmente estar presente.

De acuerdo con la norma NEC, las áreas de riesgo son clasificadas en divisiones:

División I - Región donde se presenta una ALTA probabilidad de ocurrencia de una explosión.

División II - Región de menor probabilidad.

COMPARATIVO ENTRE IEC Y NEC/API

Normas	Ocurrencia de la mezcla inflamable		
	continua	en condiciones normales	en condiciones anormales
IEC	Zona 0	Zona 1	Zona 2
NEC/API	División 1		División 2

Clases y grupos de las áreas de riesgo.

Clases - Se refieren a la naturaleza de la mezcla. El concepto de clases sólo es adoptado por la norma NEC.

Grupos - El concepto de grupo está asociado a la composición química de la mezcla.

Clase I:

Gases o vapores explosivos.

Según el tipo de gas o vapor, tenemos:

- GRUPO A - acetileno
- GRUPO B - hidrógeno, butadieno, óxido de eteno
- GRUPO C - éter etílico, etileno
- GRUPO D - gasolina, nafta, solventes en general.

Clase II:

Polvos combustibles o conductores.

Conforme el tipo de polvo, tenemos:

- GRUPO E
- GRUPO F
- GRUPO G

Clase III:

Fibras y partículas livianas e inflamables.

De acuerdo con la norma IEC 79-10, las regiones de riesgo son divididas en:

Grupo I - Para minas susceptibles a la liberación de grisú (gas a base de metano).

Grupo II - Para aplicación en otros lugares. Siendo divididos en IIA, IIB y IIC.

CORRESPONDENCIA ENTRE IEC Y NEC/API

Gases Normas	Grupo del acetileno	Grupo del hidrógeno	Grupo del eteno	Grupo del propano
IEC	Gr II C	Gr II C	Gr II B	Gr II A
NEC/API	Clase I Gr A	Clase I Gr B	Clase I Gr C	Clase I Gr D

CLASIFICACION DE AREAS SEGUN IEC Y NEC

Atmósfera explosiva	IEC-79-10	NEC
Gases o vapores	Zona 0 y Zona 1	Clase I División 1
	Zona 2	Clase I División 2
Polvos	* Zona 10	Clase II División 1
	* Zona 11	Clase II División 2
Fibras	* Zona 10	Clase III División 1
	* Zona 11	Clase III División 2

* en elaboración.

7.4 Clases de temperatura

La temperatura máxima en la superficie expuesta del equipamiento eléctrico debe ser siempre menor que la temperatura de ignición del gas o vapor. Los gases pueden ser clasificados para las clases de temperatura de acuerdo con su temperatura de ignición, por medio de la cual la máxima temperatura de superficie de la respectiva clase debe ser menor que la temperatura de los gases correspondientes.

CLASES DE TEMPERATURA

IEC		NEC		Temperatura de ignición de los gases y/o vapores
Clases de temperatura	Temperatura máxima de superficie	Clases de temperatura	Temperatura máxima de superficie	
	450	T1	450	> 450
T2	300	T2	300	> 300
		T2A	280	> 280
		T2B	260	> 260
		T2C	230	> 230
		T2D	215	> 215
T3	200	T3	200	> 200
		T3A	180	> 180
		T3B	165	> 165
		T3C	160	> 160
T4	135	T4	135	> 135
		T4A	120	> 120
T5	100	T5	100	> 100
T6	85	T6	85	> 85

7.5 Equipos para áreas de riesgo (opciones para los equipos)

Tipo de protección	Simbología IEC	Definición	Área de aplicación	Norma IEC
A prueba de explosión	Ex(d)	Capaz de soportar explosión interna sin permitir que se propague al medio externo.	zonas 1 y 2	IEC-79.1
Seguridad aumentada	Ex(e)	Medidas constructivas adicionales aplicadas a equipos que en condiciones normales de operación no producen arco, chispa o temperatura alta.	zonas 1 y 2	IEC-79.7
No encendible	Ex(n)	Dispositivo o circuitos que apenas en condiciones normales de operación no poseen energía suficiente para encender la atmósfera explosiva.	zona 2	IEC-79.15
Carcaza / gabinete hermético	Ex(h)	Carcaza / gabinete con cerramiento hermético (por fusión del material).	zona 2	PROY. IEC-31 (N) 36

Los ensayos y certificación de esos equipos serán desarrollados por el LABEX - Laboratorio de Ensayo y Certificación de Equipos Eléctricos con Protección contra Explosión -, que fue inaugurado el 16/12/1986 y pertenece al conglomerado de laboratorios del Centro de Investigaciones Eléctricas - CEPEL de la Eletrobrás. El cuadro de abajo muestra la selección de los equipos para las áreas clasificadas de acuerdo con la norma IEC 79-14 o VDE 0165.

IEC-79-14 / VDE 0165	
ZONA 0	● Ex-i u otros equipos, ambos especialmente aprobados para la zona 0
ZONA 1	Equipos con tipo de protección: ● a prueba de explosión Ex-d ● presurización Ex-p ● seguridad intrínseca Ex-i ● inmersión en aceite Ex-o ● seguridad aumentada Ex-e ● llenado con arena Ex-q ● protección especial Ex-s ● encapsulamiento Ex-m
ZONA 2	● Cualquier equipo certificado para zona 0 o 1 ● Equipos para zona 2 ● No encendible Ex-n

De acuerdo con la norma NEC, la relación de los equipos se muestra en el cuadro de abajo:

NORMA NEC	
DIVISION I	Equipos con tipo de protección: ● a prueba de explosión serán para clase I Ex-d ● presurización Ex-p ● inmersión en aceite Ex-o ● seguridad intrínseca Ex-i
DIVISION II	● Cualquier equipo certificado para división I ● Equipos incapaces de generar chispas o superficies calientes en carcasas/gabinetes de uso general: no encendibles.

7.6 Equipos de seguridad aumentada Protección Ex-e

Es el equipamiento eléctrico que bajo condiciones de operación no produce arcos, chispas o calentamiento suficientes para causar ignición de la atmósfera explosiva para el cual fue proyectado.

Tiempo t_e - tiempo necesario para que un bobinado de corriente alterna, cuando es recorrido por su corriente de arranque, alcance su temperatura límite, partiendo de la temperatura alcanzada en régimen nominal, considerando la temperatura ambiente en su máximo. Abajo mostramos los gráficos que ilustran cómo debemos proceder a la correcta determinación del tiempo " t_e " (figuras 7.1 y 7.2).

- A - temperatura 0°C
- B - temperatura ambiente máxima
- C - temperatura en servicio nominal
- D - temperatura límite

- t - tiempo
- 0 - temperatura
- 1 - elevación de la temperatura en servicio
- 2 - elevación de la temperatura con rotor bloqueado

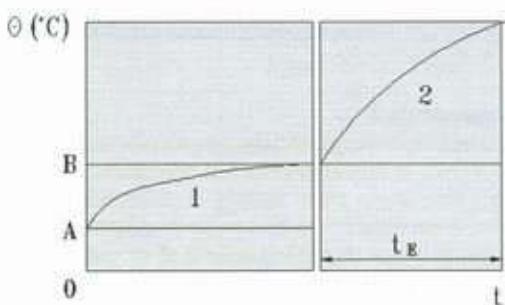


Figura 7.1 - Diagrama esquemático explicando el método de determinación del tiempo t_e

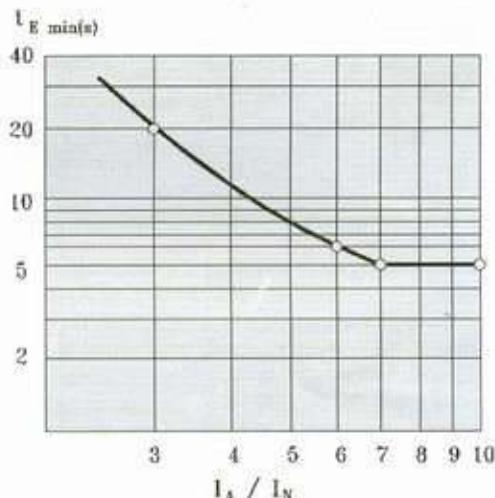


Figura 7.2 - Valor mínimo del tiempo " t_e " en función de la relación de corriente de arranque I_A / I_N

7.7 Equipos con carcasa/gabinete a prueba de explosión Ex-d

Es un tipo de protección en que las partes que pueden inflamar una atmósfera explosiva son confinadas a recintos cuyas paredes y juntas pueden soportar la presión durante una explosión interna de una mezcla explosiva y previenen la trasmisión de la explosión a una atmósfera explosiva vecina a la carcasa o gabinete (figura 7.3).

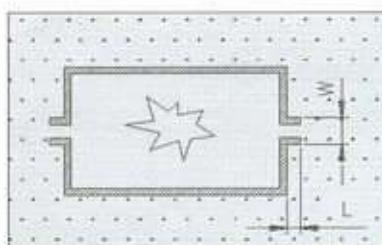


Figura 7.3 - Principio de la protección Ex-d

El motor eléctrico de inducción (de cualquier protección), no es estanco, o sea, intercambia aire con el medio externo. Cuando está en funcionamiento, el motor se calienta y el aire en su interior queda con una presión mayor que la externa (el aire es expelido); cuando se desconecta la alimentación, el motor se enfria y la presión interna disminuye, permitiendo la entrada de aire (que en este caso está contaminado). La protección Ex-d no permite que una eventual explosión interna se propague al ambiente externo.

Para la seguridad del sistema, la Weg controla los valores de los intersticios y las condiciones de terminación de las juntas, pues son responsables por el volumen de gas intercambiado entre el interior y exterior del motor.

Además de ejecutar pruebas hidrostáticas en el 100% de las tapas, cajas de conexión y carcasa con una presión cuatro veces mayor que la verificada en pruebas realizadas en laboratorios nacionales e internacionales de renombre, realiza también pruebas de explosión provocada en institutos de investigación reconocidos, como por ejemplo el IPT de São Paulo.

8. Características constructivas

8.1 Dimensiones

Las dimensiones de los motores eléctricos Weg están normalizadas de acuerdo a la norma IEC-72 la cual acompaña a la International Electrotechnical Commission - IEC-72. En estas normas la dimensión básica para la normalización de las dimensiones de montaje de máquinas eléctricas, es la altura del plano de la base al centro de la punta de eje, denominada H (figura 8.1).

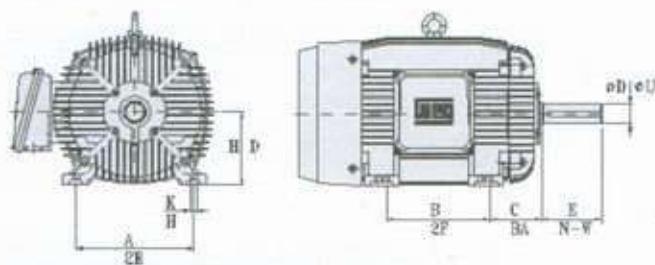


Figura 8.1

A cada altura de punta de eje H se asocia una dimensión C, distancia del centro del orificio de las patas del lado de la punta de eje al plano de apoyo de la punta de eje. De todas formas, a cada dimensión H pueden asociarse varias dimensiones B (dimensión axial de distancia entre centros de los orificios de las patas), resultando en motores más "largos" o más "cortos". La dimensión A, distancia entre centros de los orificios de las patas en sentido frontal, es única para carcasas con valores de H hasta 315 y pueden asumir múltiples valores a partir de la carcasa con H igual a 355mm.

Para los clientes que exigen carcasas según la norma NEMA la tabla 8.1 hace la comparación entre las dimensiones H-A-B-C-K-D-E de la IEC-72 y D-2E-2F-BA-H-U-NW de la norma NEMA.

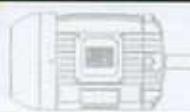
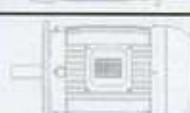
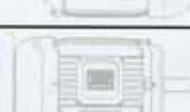
Tabla 8.1 - Comparación de dimensiones IEC y NEMA

IEC NEMA	H D	A 2E	B 2F	C BA	K H	D U	E N-W
90 S	90	140	100	56	10	246	50
143 T	88.9	139.7	101.6	57.15	8.7	22.2	57.15
90 L	90	140	125	56	10	246	50
145 T	88.9	139.7	127	57.15	8.7	22.2	57.15
112 S	112	190	114	70	12	286	60
162 T	114.3	190.5	114.3	70	10.3	28.6	69.9
112 M	112	190	140	70	12	286	60
184 T	114.3	190.5	139.7	70	10.3	28.6	69.9
132 S	132	216	140	89	12	386	80
213 T	133.4	216	139.7	89	10.3	34.9	85.7
132 M	132	216	178	89	12	386	80
215 T	133.4	216	177.8	89	10.3	34.9	85.7
160 M	160	254	210	108	15	426	110
254 T	158.8	254	209.6	108	13.5	41.3	101.6
160 L	160	254	254	108	15	426	110
256 T	158.8	254	254	108	13.5	41.3	101.6
180 M	180	279	241	121	15	486	110
284 T	177.8	279.4	241.3	121	13.5	47.6	117.5
180 L	180	279	279	121	15	486	110
286 T	177.8	279.4	279.4	121	13.5	47.6	117.5
200 M	200	318	267	133	19	55m6	110
324 T	203.2	317.5	266.7	133	16.7	54	133.4
200 L	200	318	305	133	19	55m6	110
326 T	203.2	317.5	304.8	133	16.7	54	133.4
225 S	225	356	286	149	19	60m6	140
354 T	228.6	355.6	285.6	149	19.0	60.3	149.2
225 M	225	356	311	149	19	60m6	140
365 T	228.6	355.6	311.2	149	19.0	60.3	149.2
250 S	250	406	311	168	24	65m6	140
404 T	254	406.4	311.2	168	20.6	73	184.2
250 M	250	406	349	168	24	65m6	140
405 T	254	406.4	349.2	168	20.6	73	184.2
280 S	280	457	368	190	24	75m6	140
444 T	279.4	457.2	368.4	190	20.6	85.7	215.9
280 M	280	457	419	190	24	75m6	140
445 T	279.4	457.2	419.1	190	20.6	85.7	215.9
315 S	315	508	406	216	28	80m6	170
504 Z	317.5	508	406.4	215.9	31.8	92.1	269.9
315 M	315	508	457	216	28	80m6	170
505 Z	317.5	508	457.2	215.9	31.8	92.1	269.9
355 M	355	610	560	254	30	100m6	210
586	368.3	584.2	558.8	254	30	98.4	295.3
355 L	355	610	630	254	30	100m6	210
587	368.3	584.2	635	254	30	98.4	295.3

8.2 Formas constructivas normalizadas

Se entiende por forma constructiva la disposición de las partes componentes de las máquinas en relación a su fijación, como por ejemplo la posición de sus cojinetes o punta de eje, y están normalizadas por la IEC 34-7, DIN 42950 y NEMA MG 1-4-03. La IEC 72-1 (item 4) determina que la caja de conexión de un motor debe quedar situada de modo que su línea central se encuentre en un sector comprendido entre la parte superior del motor y 10 grados por debajo de la línea central horizontal de éste, del lado derecho y mirando el motor desde el lado del accionamiento. El siguiente cuadro indica las diversas formas normalizadas.

Tabla 8.2 - Formas constructivas normalizadas (montaje horizontal)

Figura	Símbolo para					Fijación o montagem	
	Designación Weg	DIN 42950	IEC 34 Parte 7		Carcaza		
			Código I	Código II			
	B3D	B3	IM B3	IM 1001	con pies	montado sobre subestructura (*)	
	B3E						
	B5D	B5	IM B5	IM 3001	sin pies	fijado por la brida "FF"	
	B5E						
	B35D	B3/B5	IM B35	IM 2001	con pies	montado sobre subestructura por los pies, con fijación complementaria por la brida "FF"	
	B35E						
	B14D	B14	IM B14	IM 3601	sin pies	fijado por la brida "C"	
	B14E						
	B34D	B3/B14	IM B34	IM 2101	con pies	montado sobre subestructura por los pies, con fijación complementaria por la brida "C"	
	B34E						
	B6D	B6	IM B6	IM 1051	con pies	montado en pared, pies a la izquierda mirando desde el lado del accionamiento	
	B6E						

(*) Subestructura: bases, placa de base, fundaciones, vías, pedestales, etc.

Tabla 8.3 - Formas constructivas normalizadas (montaje vertical)

Figura	Símbolo para					Fijación o montagem
	Designación Weg	DIN 42950	IEC 34 Parte 7		Carcasa	
			Código I	Código II		
	B7D		IM B7	IM 1061	con pies	montado en pared, pies a la derecha mirando desde el lado del accionamiento
	B7E					
	B8D		IM B8	IM 1071	con pies	fijado en el techo
	B8E					
	V5	V5	IM V5	IM 1011	con pies	montado en pared o sobre subestructura
	V6	V6	IM V6	IM 1031	con pies	montado en pared o sobre subestructura
	V1	V1	IM V1	IM 3011	sin pies	fijado por la brida "FF" hacia abajo
	V3	V3	IM V3	IM 3031	sin pies	fijado por la brida "FF" hacia arriba
	V15	V1/V5	IM V15	IM 2011	con pies	montado en pared, con fijación complementaria por la brida "FF", hacia abajo
	V36	V3/V6	IM V36	IM 2031	con pies	montado en pared, con fijación complementaria por la brida "FF", hacia arriba
	V18	V18	IM V18	IM 3611	sin pies	fijado por la cara superior de la brida "C", hacia abajo
	V19	V19	IM V19	IM 3631	sin pies	fijado por la cara superior de la brida "C", hacia arriba

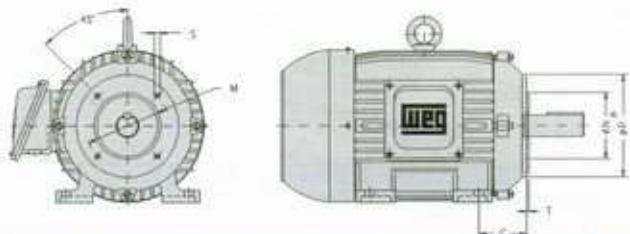
8.3 Motores con brida de sujeción

Según la norma IEC 72-1 las bridadas (también conocidas como platinas) pueden ser de dos tipos diferentes:

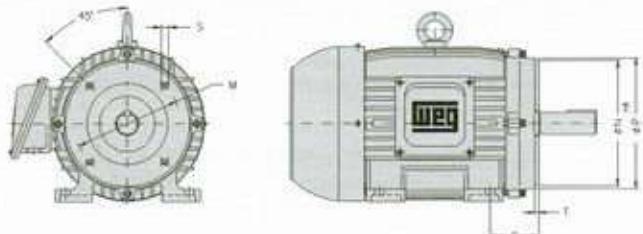
- con agujeros pasantes, llamadas bridadas FF;
- con agujeros roscados, llamadas bridadas FT o bridadas C.

Las bridadas FF, FT o C, deben tener cuatro u ocho agujeros espaciados simétricamente. Seguidamente presentamos las dimensiones de las bridadas más utilizadas:

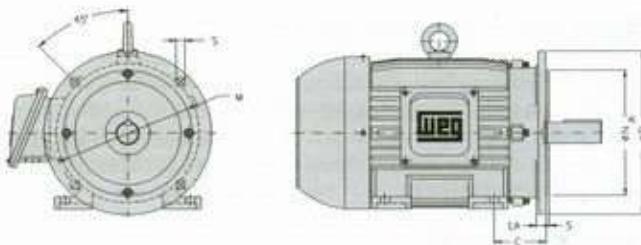
DIMENSIONES DE LA BRIDA



Cáscara IEC	DIMENSIONES DE LA BRIDA TIPO "C" DIN 42677							Cantidad agujeros
	Brida	C	Ø M	Ø N	Ø P	S	T	
63	C 90	40	75	60	90	M 5		2.5
71	C 105	45	85	70	105			4
80	C 120	50	100	80	120			4
90 S	C 140	56	115	95	140			4
90 L	C 140	56	115	95	140	M 8		3
100 L	C 160	63	130	110	160			4
112 M	C 160	70						3.5
132 S	C 200	89	165	130	200	M 10		
132 M	C 200	89	165	130	200	M 10		



Cáscara IEC	DIMENSIONES DE LA BRIDA "C"							Cantidad agujeros
	Brida	C	Ø M	Ø N	Ø P	S	T	
63	FC 95	40						
71	FC 95	45	95.2	76.2	143	1/4" 20 UNC		4
80	FC 149	50						
90 S	FC 149	56	149.2	114.3	165	3/8" 16 UNC		
90 L	FC 149	63						
100 L	FC 184	70						
112 M	FC 184	89	184.2	215.9	225			
132 S	FC 184	108				1/2" 13 UNC		
132 M	FC 228	121						
160 M	FC 228	133	228.6	266.7	280			
160 L	FC 228							
180 M	FC 279 C	149	279.4	317.5	395			
180 L	FC 279 C							
200 M	FC 355	168				5/8" 11 UNC		
200 L	FC 355	190	355.6	406.4	455			
225 S	FC 368	216	368.3	419.1	455			
225 M	FC 368							
250 S	FC 368							
250 M	FC 368							
280 S	FC 368							
280 M	FC 368							
315 S	FC 368							
315 M	FC 368							
355 M/L	FC 368							



Cáscara IEC	DIMENSIONES DE LA BRIDA TIPO "FF"										Cantidad agujeros
	Brida	C	Ø M	Ø N	Ø P	T	S	α			
63	FF 115	40	9	115	95	140	3				10
71	FF 130	45	9	130	110	160					
80	FF 165	50							3.5		
90 S	FF 165	56	10	165	130	200					12
90 L	FF 215	63									
100 L	FF 215	70	11	215	180	250					
112 M	FF 265	89	12	265	230	300					
132 S	FF 265	121									
132 M	FF 300	168									
160 M	FF 300	183									
160 L	FF 350	133									
180 M	FF 350	149									
180 L	FF 400	168									
200 M	FF 400	188									
200 L	FF 500	190									
225 S	FF 500	216									
225 M	FF 500	223									
250 S	FF 500	244									
250 M	FF 500	264									
280 S	FF 500	284									
280 M	FF 500	304									
315 S	FF 600	324									
315 M	FF 600	344									
355 M/L	FF 740	364									

8.4 Motofreno trifásico (monodisco)

8.4.1 Descripción general

El motofreno consiste en un motor de inducción acoplado a un freno monodisco formando una unidad integral, compacta y robusta. El motor de inducción es totalmente cerrado con ventilación externa y con las mismas características de robustez y desempeño de la línea de motores Weg IP54.

El freno es de construcción robusta, con pocas partes móviles, lo que asegura larga duración con un mínimo de mantenimiento.

La doble cara de las pastillas forma una gran superficie de fricción que proporciona pequeña presión sobre las mismas, bajo calentamiento y mínimo desgaste.

Además, el freno es enfriado por la propia ventilación del motor. Como resultado, el conjunto presenta duración más larga enfrentando sin problemas los servicios más pesados.

La bobina de accionamiento del electroimán, protegida con resina epoxi, funciona continuamente con tensiones de 10% por encima o por debajo de la nominal. Su alimentación es por corriente continua, suministrada por un puente rectificador compuesto de diodos de silicio y varistores que suprimen picos de tensión indeseables y permiten una rápida desconexión de la corriente. La alimentación en corriente continua proporciona mayor rapidez y uniformidad de operación al freno.

La alimentación del puente rectificador por corriente alterna obtenida de una fuente independiente o de los terminales del motor, podrá ser 110/220V, 440V o 575V de acuerdo con las características del conjunto puente rectificador-bobina de freno.

8.4.2 Aplicaciones

El motofreno Weg encuentra sus aplicaciones más comunes en: máquinas-herramienta, telares, máquinas de embalaje, transportadores, lavadoras y embotelladoras, bobinadoras, guinchos, puentes-grúa, elevadores, ajustes de rodillos laminadores y máquinas gráficas.

En fin, en equipos donde se exigen paradas rápidas por cuestiones de seguridad, posicionamiento y ahorro de tiempo.

8.4.3 Funcionamiento del freno

Cuando el motor es desconectado de la red, el control también interrumpe la corriente de la bobina y el electroimán deja de actuar. Los resortes de compresión empujan la armadura en la dirección del motor. Las pastillas, que están alojadas en el disco de frenaje, son comprimidas entre las dos superficies de fricción, la armadura y la tapa, frenando el motor hasta su detención. (Al arrancar de nuevo, el control conecta la corriente en la bobina, que conecta el motor accionando el electroimán). La armadura es atraída contra la carcasa del electroimán, venciendo la resistencia de los resortes.

Las pastillas, al quedar libres, se corren axialmente en sus alojamientos quedando separadas de las superficies de fricción. Así, cesa la acción de frenado, dejando arrancar libremente al motor.

8.4.4 Instalación

El motofreno puede ser montado en cualquier posición siempre que el freno no quede sujeto a penetración excesiva de agua, aceite, polvos abrasivos, etc., a través de la entrada de aire. Cuando está montado en la posición normal el conjunto motofreno cumple con el grado de protección IP54 de la IEC 34-5.

8.5 Pintura

Los siguientes planes de pintura presentan las soluciones que son adoptadas para cada aplicación.

PLANES DE PINTURA

USO RECOMENDADO	PLAN	COMPOSICION
AMBIENTES NO AGRESIVOS: no recomendado para exposición directa a vapores de ácidos, álcalis y solventes.	201	- 1 mano con 30 a 40 µm de pintura fondo primer sintético alquídico. - 1 mano con 30 a 40 µm de pintura de acabado esmalte sintético alquídico.
AMBIENTES INDUSTRIALES AGRESIVOS PROTEGIDOS: con resistencia a vapores de ácidos, álcalis y solventes, como industrias químicas, petroquímicas y fábricas de papel de celulosa.	202	- 1 mano con 70 a 80 µm de pintura fondo epoxi poliamida. - 2 manos con 35 a 70 µm cada una de pintura de acabado epoxi poliamida.
AMBIENTES DE BAJA AGRESIVIDAD: no recomendado para exposición directa a vapores de ácidos, álcalis y solventes.	203	- 1 mano con 30 a 40 µm de pintura fondo primer sintético alquídico por inmersión. - 1 mano con 30 a 40 µm de pintura fondo primer sintético alquídico por pulverización. - 1 mano con 30 a 40 µm de pintura de acabado esmalte sintético alquídico.
AMBIENTES INDUSTRIALES MARITIMOS DESPROTEGIDOS: con resistencia a salpicaduras de ácidos, álcalis y solventes.	204	- 1 mano con 75 a 90 µm de pintura fondo de etil silicato de zinc. - 1 mano con 120 a 140 µm de pintura primer epoxi poliamida - 2 manos con 35 a 75 µm cada una de pintura de acabado poliuretano alifático.
AMBIENTES INDUSTRIALES AGRESIVOS DESPROTEGIDOS: con vapores de ácidos, álcalis y solventes, como industrias químicas, petroquímicas y fábricas de papel y celulosa.	205	- 2 manos con 85 a 100 µm cada una de pintura fondo epoxi poliamida. - 2 manos con 35 a 75 µm cada una de pintura de acabado poliuretano alifático.
AMBIENTES INDUSTRIALES MARITIMOS PROTEGIDOS: con resistencia a salpicaduras de ácidos, álcalis y solventes.	206	- 1 mano con 75 a 90 µm de pintura fondo de etil silicato de zinc. - 1 mano con 40 a 45 µm de pintura primer epoxi poliamida. - 3 manos con 80 a 115 µm cada una de pintura de acabado epoxi poliamida.
AMBIENTES NO AGRESIVOS: no recomendados para exposición directa a vapores de ácidos, álcalis y solventes.	207	- 1 mano con 30 a 40 µm de pintura fondo primer sintético alquídico. - 1 mano con 30 a 40 µm de pintura de acabado laca nitrocelulosa reactiva

Tabla 8.4

Rotación Nominal (rpm)	Deformación de la base elástica (mm)
3600	1,0
1800	4,5
1200	10
900	18

8.6 Vibración

La vibración de una máquina eléctrica está intimamente relacionada con su montaje y por eso es en general deseable efectuar las mediciones de vibración en las reales condiciones de instalación y funcionamiento. Todavía, para permitir la evaluación del balanceo y de la vibración de máquinas eléctricas girantes, es necesario efectuar tales mediciones con la máquina desacoplada, bajo condiciones de ensayo determinadas conforme ítems 8.6.1 a 8.6.3 de forma a permitir la reproductibilidad de los ensayos y obtención de medidas comparables.

8.6.1 - Libre Suspensión

Esta condición es obtenida por la suspensión de la máquina por resorte o por el montaje de esta máquina sobre un soporte elástico (resorte, caucho, etc.). La deformación de la base elástica en función de la rotación de la máquina debe ser como mínimo igual a los valores de la tabla 8.4.

La masa efectiva del soporte elástico no debe ser superior a 1/10 de la masa de la máquina, a fin de reducir la influencia de la masa y de los momentos de inercia de las partes del soporte elástico sobre el nivel de vibración medido.

8.6.2 - Chaveta

Para el balanceo y medición del grado de vibración de las máquinas con canal de chaveta en la punta del eje, este canal debe ser ocupado con media chaveta, recortada de forma a ocupar hasta la línea que secciona el eje del elemento a ser acoplado.

NOTA: Una chaveta rectangular de largo idéntica a la chaveta utilizada en la máquina en operación normal y media altura o una chaveta de medio largo y altura normal (que debe ser centralizada en el canal de la chaveta a ser utilizada) son admisibles como procedimientos alternativos.

8.6.3 - Puntos de Medición

Las mediciones del grado de vibración deben ser efectuadas sobre los cojinetes, en la proximidad del eje, en tres direcciones perpendiculares, con la máquina en operación funcional normal (con eje horizontal o vertical).

La localización de los puntos de medición y los sentidos a que se refieren los niveles de grado de vibración están especificados en la figura 8.2.

ENSAYO DE VIBRACION

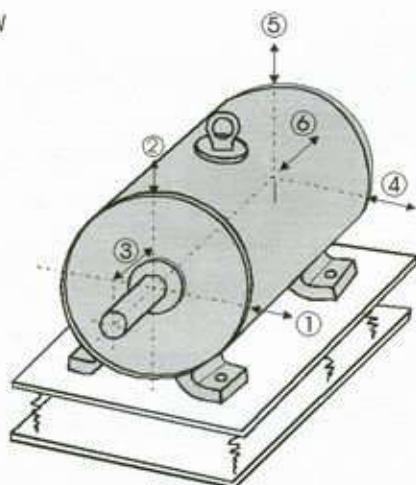


Figura 8.2 - Puntos de medición de vibración

La tabla 8.5 indica los valores admisibles para la máxima velocidad de vibración, para las carcazas IEC 56 a 355 dentro de los grados de balanceo normal, reducido y especial.

Tabla 8.5 - Límites recomendados para la severidad de vibración, conforme IEC 34 - 14

Balanceo	Velocidad rpm de la máquina	Máximo valor eficaz de la velocidad de vibración para la altura H del eje		
		56 a 132	160 a 225	250 a 355
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
N (normal)	600 a 1800 1800 a 3600	1,8 1,8	1,8 2,8	2,8 4,5
R (reducida)	600 a 1800 1800 a 3600	0,71 1,12	1,12 1,8	1,8 2,8
S (especial)	600 a 1800 1800 a 3600	0,45 0,71	0,71 1,12	1,12 1,8

Notas:

- Para el valor de pico multiplicar los valores de la tabla por $\sqrt{2}$.
- Los valores de la tabla arriba son válidos para mediciones realizadas con la máquina a vacío y desacoplada, funcionando en la frecuencia y tensión nominales.
- Para máquinas que giran en los dos sentidos los valores de la tabla se aplican a ambos sentidos.
- La tabla arriba no se aplica a máquinas montadas en el local de instalación (ver ISO 3945 y ISO 2372), motores trifásicos con interruptor, motores monofásicos, motores trifásicos con alimentación monofásica, o a máquinas acopladas a sus máquinas de accionamiento o cargas accionadas.

La tabla 8.6 abajo indica los valores para la máxima velocidad de vibración para las carcazas Nema 42 a 587 con balanceo normal, conforme Norma Nema MG-7.08 (1993).

Tabla 8.6

Rotación Nominal (rpm)	Máximo valor eficaz de la velocidad de vibración (mm/s)
3600	2,7
1800	2,7
1200	2,7
900	2,1
720	1,6
600	1,4

Obs.: Las notas 1 a 4 de la tabla 8.5, son también válidas.

8.7 Balanceo

8.7.1 Definición

Según la norma ISO 1940, el balanceo es un proceso que procura mejorar la distribución de masas de un cuerpo de modo que éste gire en sus cojinetes sin fuerzas de desbalanceo.

8.7.2 Tipos de balanceo

Las principales aplicaciones por tipo de balanceo, son presentados en la tabla 8.7

Tabla 8.7 - Tipos de balanceo

Balanceo	Tipo de máquina
Normal (N)	○ Máquinas sin requisitos especiales tales como: Máquinas gráficas, laminadoras, molinos, bombas centrífugas, máquinas textiles, transportadores, etc.
Reducido (R)	○ Máquinas de precisión para trabajo sin vibración, tales como: Máquinas a ser instaladas sobre fundación aislada a prueba de vibración, mandriladoras y fresadoras de precisión, tornos, taladros de coordenadas, etc.
Especial (S)	○ Máquinas para trabajo de alta precisión, tales como: rectificadoras, balanceadoras, mandril de coordenadas, etc.

8.8 Puesta a tierra

8.8.1 Finalidad de la puesta a tierra

La puesta a tierra busca proteger a los operadores de las máquinas accionada contra posibles cortocircuitos entre la parte energizada y la carcasa del motor.

8.8.2 Calibres mínimos de conductores de puesta a tierra

Tabla 8.8

Potencias		II Polos 3.600 rpm	IV Polos 1.800 rpm	VI Polos 1.200 rpm	VIII Polos 900 rpm
CV	kW	sección mm ²	sección mm ²	sección mm ²	sección mm ²
hasta 10	hasta 7,5	4	4	4	6
12,5	9	6	6	6	6
15	11	6	6	6	6
20	15	10	10	10	10
25	18,5	10	10	10	16
30	22	16	16	16	16
40	30	16	16	16	16
50	37	25	25	25	25
60	45	25	25	25	25
75	55	35	35	35	35
100	75	35	35	35	70
125	90	70	70	70	70
150	110	70	70	70	70
200	150	70	70	70	70
250	185	70	70	70	70
300	220	70	70	70	70
350	250	70	70	70	70
400	275	70	70	70	-
450	330	70	70	70	-
500	365	-	70	-	-

La fijación del conductor de puesta a tierra es a través de tornillo o conecto identificado en el motor por este símbolo ↓

La resistencia de la tierra debe estar de acuerdo con la IEC 364-5-54.

8.9 Elementos de trasmisión

Los elementos de trasmisión tales como poleas, acoplamientos, etc., deben ser balanceados dinámicamente antes de ser instalados y deben estar perfectamente alineados entre sí, como muestra la figura 8.3.

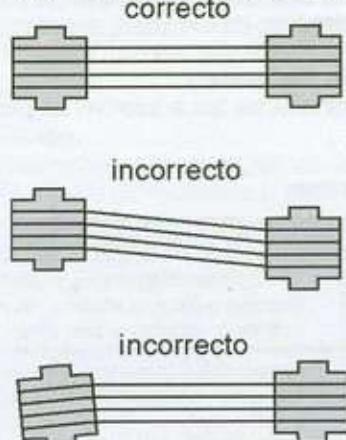


Figura 8.3 - Alineación correcta de las poleas

Las correas que trabajan desviadas lateralmente transmiten esfuerzos de sentido alterante al rotor, y podrán dañar los apoyos de los cojinetes. El deslizamiento de la correa podrá ser evitado con la aplicación de un material resinoso.

La tensión de la correa deberá ser apenas suficiente para evitar el deslizamiento en el funcionamiento (figura 8.4).

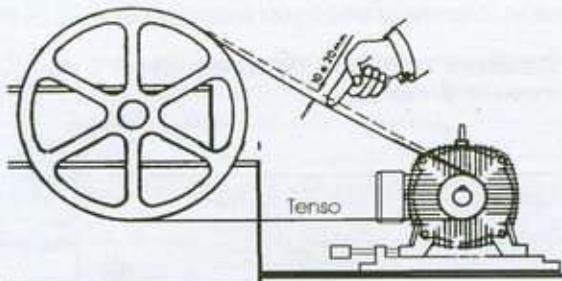


Figura 8.4 - Tensiones en la correa

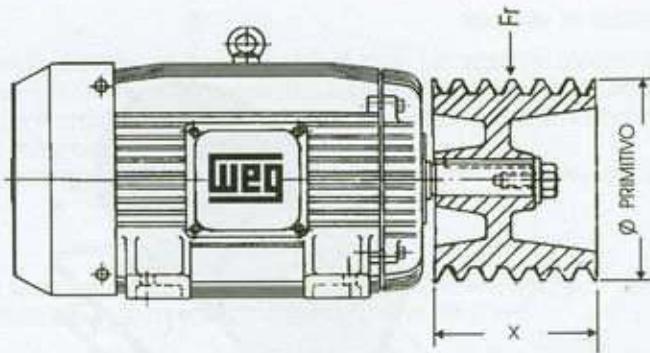
Debe evitarse el uso de poleas demasiado pequeñas; éstas provocan flexiones del motor debido a que la tracción en la correa aumenta a medida que disminuye el diámetro de la polea.

Cuando se utiliza un acoplamiento por medio de poleas y correas, se debe observar:

- Las correas deben ser estiradas apenas lo suficiente para evitar deslizamiento en el funcionamiento;
- El diámetro mínimo de las poleas no debe ser inferior al de la tabla 8.9.
- Habiendo necesidad de aplicación de poleas de diámetros menores que los de la tabla 8.9, en otras potencias y polaridades, consultar la Red de Asistencia técnica Weg más próxima.

Tabla 8.9- Diámetro primitivo mínimo

Carcaza	Potencia	Polos	Rodamientos de esferas					
			Medida X (mm)					
			20	40	60	80	100	120
63	0,33	IV	22					
71	0,75	IV	24	42				
80	1,5	IV	36	42				
90	3	IV	65	72	78			
100	5	IV	75	82	88			
112	7,5	IV	65	70	90			
132	15	IV		110	115	125		
160	20	VI		150	155	170	200	
180	25	VI			145	150	155	185
200	60	IV			220	220	230	230



Carcaza	Potencia	Polos	Rodamientos de Esferas:					
			Medidas X (mm):					
			50	80	110	140	170	210
225	75	II	140	145	150	160		
	75	IV	220	230	240	250		
250	100	II	185	195	200	210		
	100	IV	290	310	320	330		
280	150	II	300	310	320	330		
	125	VI	410	420	440	450		
315	250	II	600	630	630	650		
	200	VI	560	580	600	630		
355	350	II	1050	1050	1100	1100	1100	
	500	VI	1150	1200	1200	1200	1200	1300

Importante:

- Velocidades periféricas para poleas macizas en hierro fundido gris Fe 20 es V=35 m/s
- Utilizar poleas de acero cuando la velocidad periférica sea mayor que 35 m/s
- Para correas en "V" la velocidad no debe superar 30 m/s.

8.10 Esfuerzos axiales y radiales

Los esfuerzos axiales máximos admitidos sobre los cojinetes de los motores Weg, hasta la carcasa 355, están en la tabla 8.10:

Tabla 8.10 - Carga máxima axial admisible en kgf

Carcaza	Motores totalmente cerrados IP54 - 60Hz							
	Posición / forma constructiva							
63	II	28	37	43	-	28	37	43
71	IV	30	41	48	54	37	50	59
80	VII	36	49	57	65	48	66	77
90	IX	46	63	76	85	50	68	84
100	XI	49	67	81	92	70	95	115
112	XII	69	93	113	130	122	166	201
132	XIII	85	118	141	160	145	202	241
160	XV	122	168	192	221	208	280	324
180	XVII	-	222	254	287	-	379	439
200	XIX	170	225	271	310	319	421	499
225	XXI	406	538	632	712	406	538	632
250	XXIII	397	528	617	696	397	528	617
280	XXV	382	608	721	814	382	608	721
315	XXVII	349	567	675	766	349	567	675
355	XXIX	318	638	748	846	318	638	748

Motores totalmente cerrados IP54 - 60Hz								
Carcaza	Posición / forma constructiva							
	I		II		III		IV	
	F_{a_1}	F_{a_2}	F_{a_1}	F_{a_2}	F_{a_1}	F_{a_2}	F_{a_1}	F_{a_2}
II	27	35	42	-	27	35	42	-
IV	29	39	46	53	36	49	57	65
VI	34	46	54	62	47	63	74	84
VIII	43	58	72	80	47	64	79	89
100	44	60	74	85	65	89	109	123
112	62	84	104	121	116	157	191	218
132	72	103	123	139	133	186	222	250
160	97	141	159	192	183	253	291	340
180	-	186	203	236	-	344	388	445
200	122	161	208	252	271	355	436	508
225	340	454	540	620	340	454	540	620
250	319	425	497	576	319	425	497	576
280	259	451	541	636	259	451	541	636
315	161	327	400	493	161	327	400	493
355	46	215	249	271	46	215	249	271

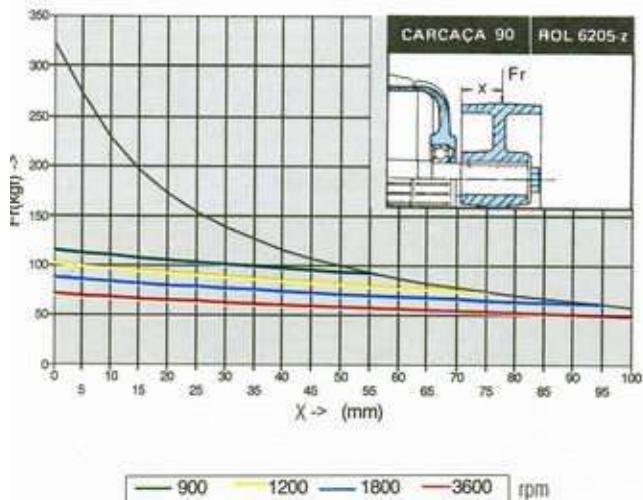
OBS.: F_{a_1} = carga sobre el rodamiento trasero

F_{a_2} = carga sobre el rodamiento delantero

Los esfuerzos radiales máximos se determinan, para cada carcasa, por medio de gráficos.

INSTRUCCIONES PARA UTILIZACION DE LOS GRAFICOS

Carcaza 90



1. Carga máxima radial sobre el eje.

2. Carga máxima radial sobre los rodamientos.

Donde: X - Mitad del ancho de la polea (mm)

F_r - Fuerza máxima radial en función del diámetro y ancho de la polea.

Ejemplo:

Verificar si el motor 4cv, 11 polos, 60 Hz, soporta un esfuerzo radial de 50 kgf, siendo el ancho de la polea de 100 mm.

Carcaza : 90L

F_r : 50 kgf

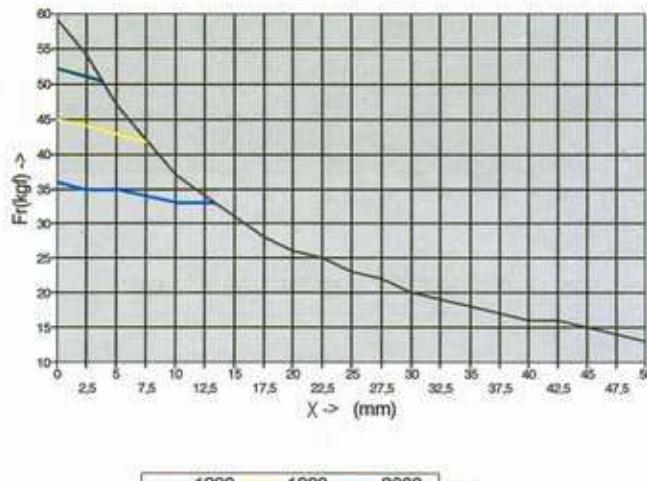
X : 50 mm

1. Marcar la distancia X

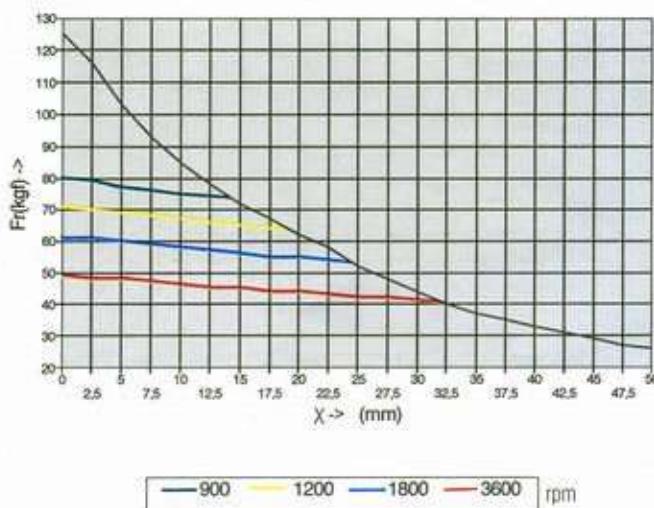
2. Encontrar la línea $n = 3.600$ del ruléman:

Se verifica que este rodamiento soporta una carga radial de 60 kgf.

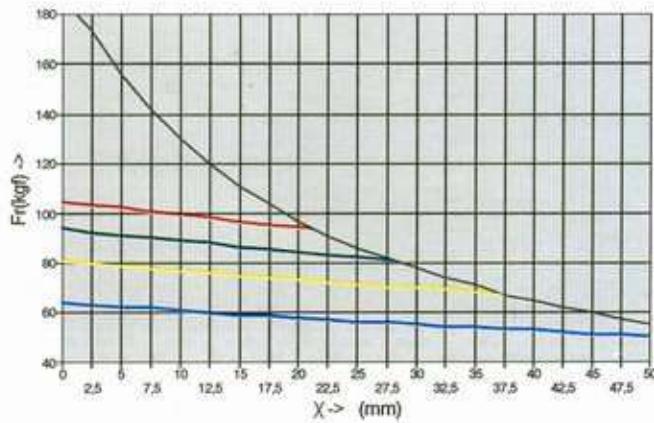
Carcaza 63



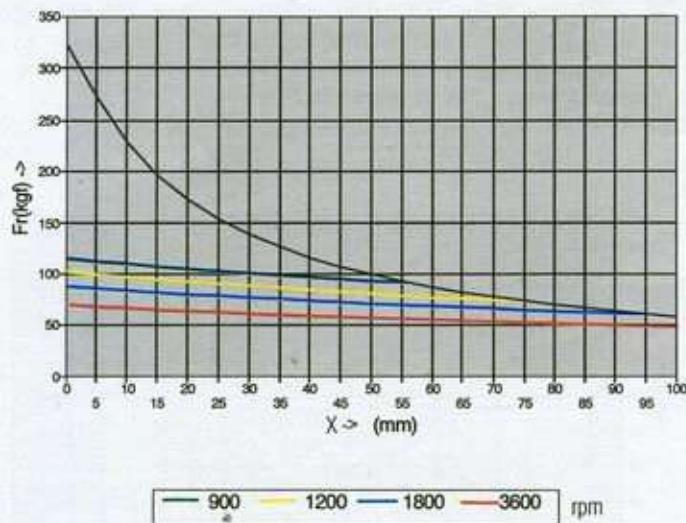
Carcaza 71



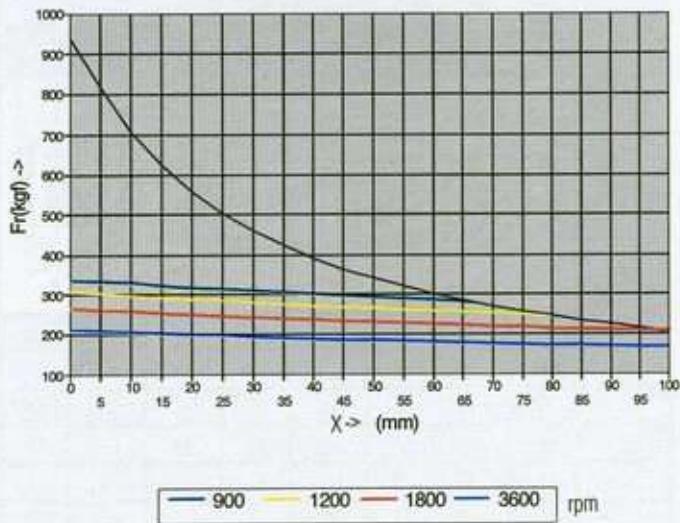
Carcaza 80



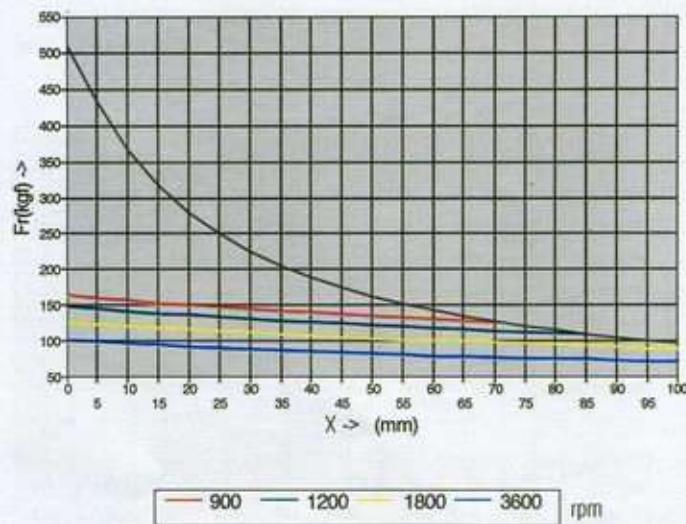
Carcaza 90



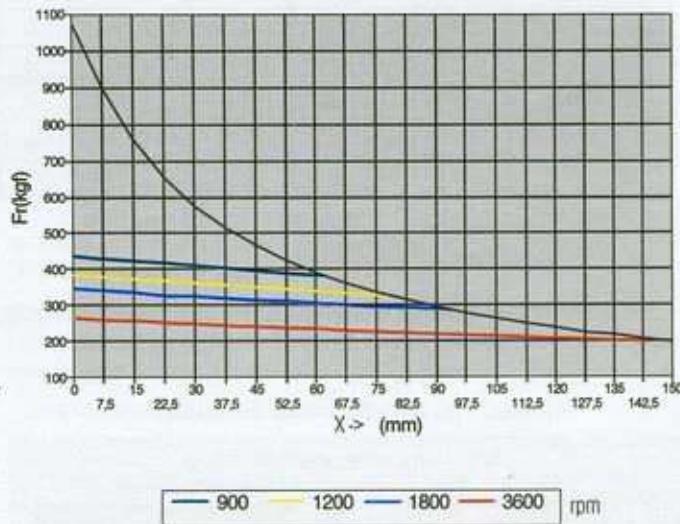
Carcaza 132



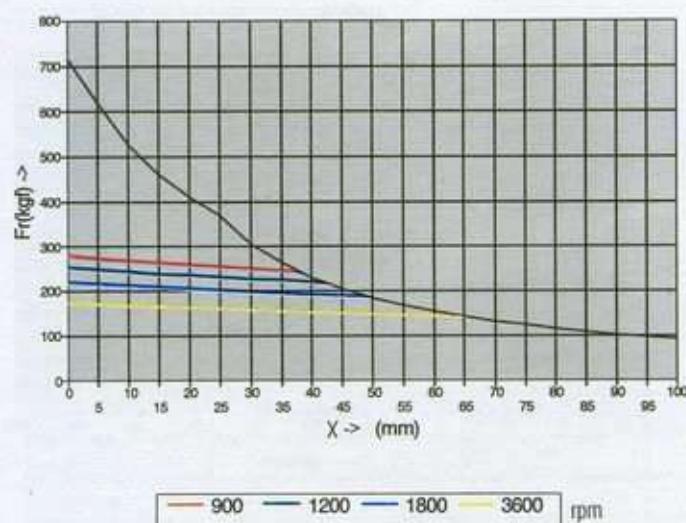
Carcaza 100



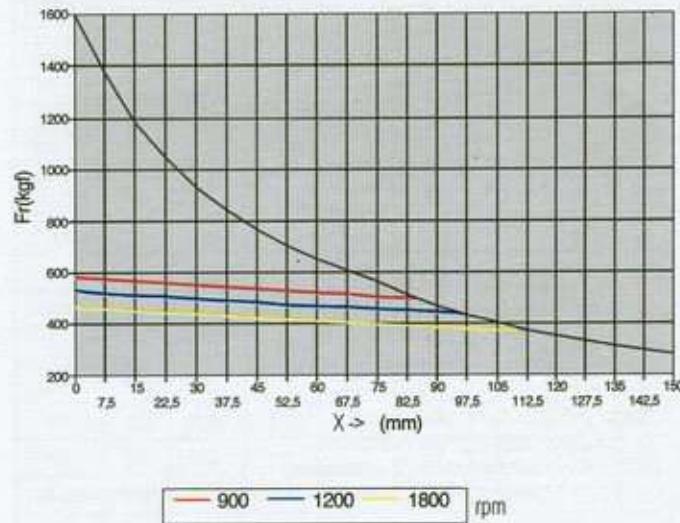
Carcaza 160



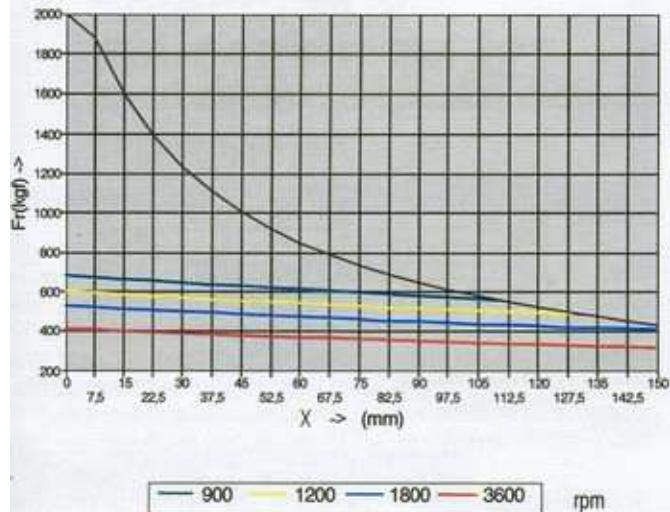
Carcaza 112



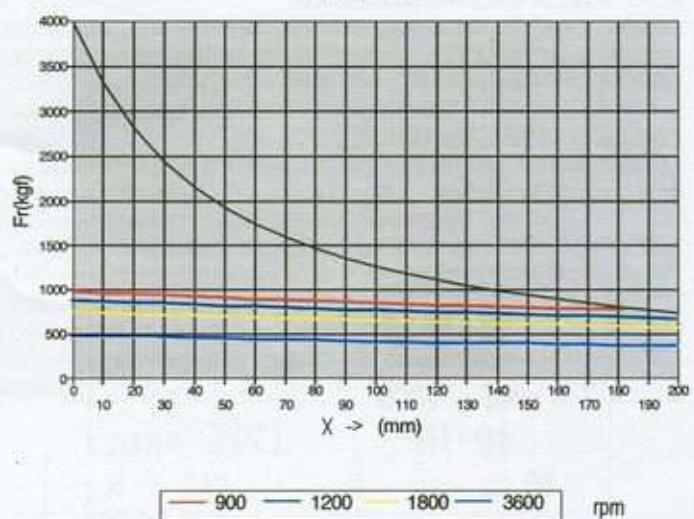
Carcaza 180



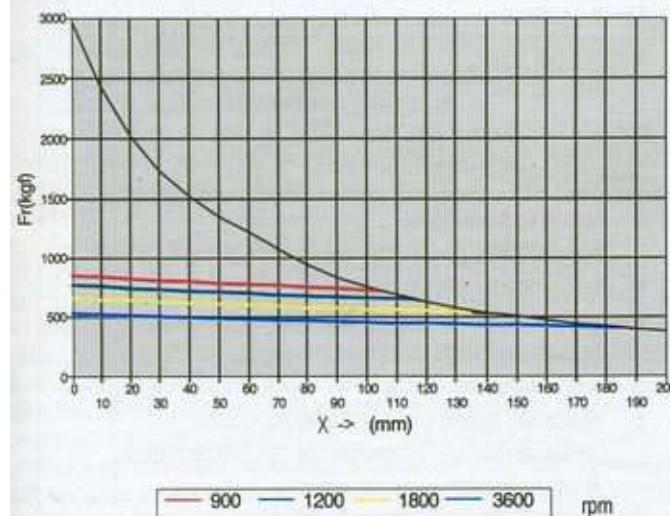
Carcaza 200



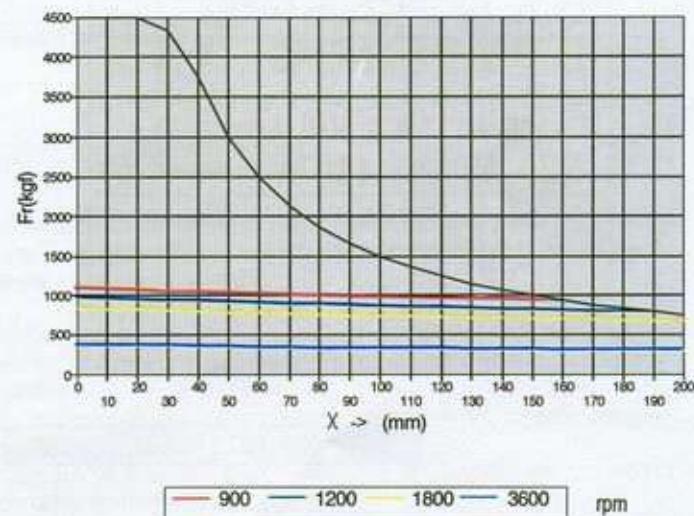
Carcaza 280



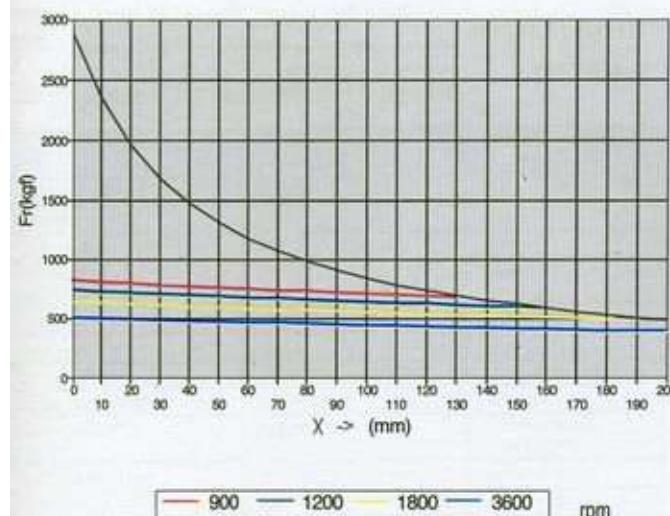
Carcaza 225



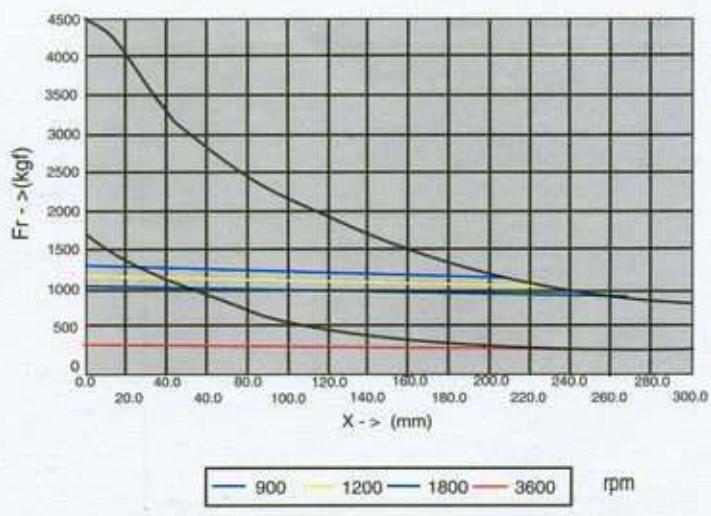
Carcaza 315



Carcaza 250



Carcaza 355



8.11 Placa de identificación

La placa de identificación contiene las informaciones que determinan las características nominales y de desempeño de los motores que son definidas por la IEC 34-1 (ítem 27).

Codificación - LINEA WEG MOTORES LTDA.

La codificación del motor eléctrico Weg se expresa en la placa de identificación en el campo MOD (modelo).

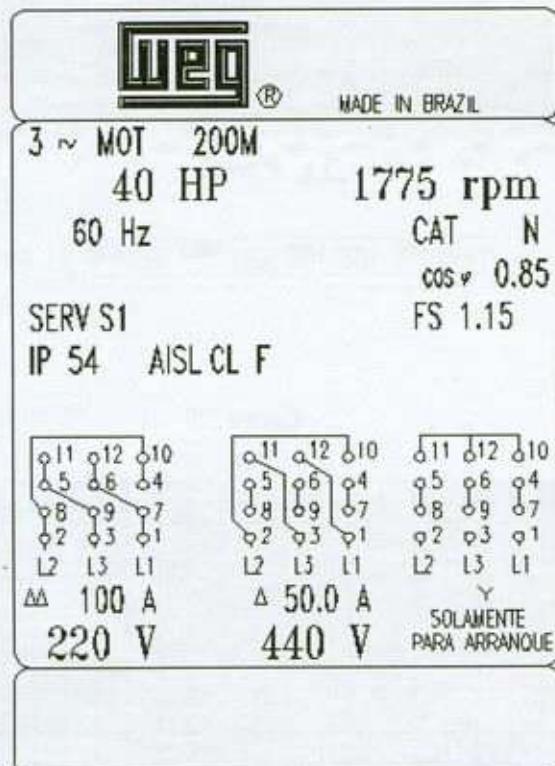


Figura 8.5 - Placa de identificación

Ejemplo:

MOD	JM	112M	0992
-----	----	------	------

Línea

Carcaza

Mes y año de fabricación

Codificación - LINEA WEG MAQUINAS LTDA

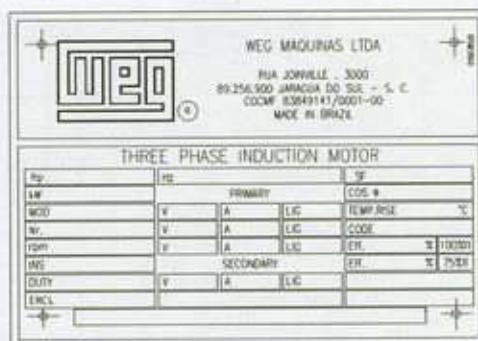


Figura 8.6 - Placa de identificación

Ejemplo:

MOD	K	A	F	800	C
-----	---	---	---	-----	---

Línea del motor

KAF

Tipo de motor

A - Motor de anillos
G - Motor de jaula

Sistema de refrigeración

- A - Abierto (auto-ventilado)
- F - Intercambiador de calor aire-aire
- W - Intercambiador de calor aire-agua
- I - Ventilación forzada (independiente) con intercambiador de calor aire-aire
- D - Autoventilado por ductos
- T - Ventilación forzada (independiente) por ductos
- L - Ventilación forzada (independiente) con intercambiador de calor aire-agua
- V - Ventilación forzada (independiente) abierto

Carcaza

355, 400, 450, 500, ...

Perforación de patas

L, A, B, C, D, E

9. Selección y aplicación de los motores eléctricos trifásicos

En la ingeniería de aplicación de motores es común, y en muchos casos práctico, comparar las exigencias de la carga con las características del motor. Existen muchas aplicaciones que pueden ser resueltas con más de un tipo de motor, y la selección de un tipo determinado no siempre excluye el uso de los otros tipos.

Con el advenimiento de las computadoras, el cálculo puede ser perfeccionado, obteniéndose resultados precisos que resultan en máquinas dimensionadas de forma más económica.

Los motores de inducción Weg, de jaula de ardilla o de anillos rozantes, de baja y media tensión, tienen un campo de aplicación vasto, y especialmente en los sectores de siderúrgica, minería, papel y celulosa, saneamiento, químico y petroquímico, y cemento entre otros, haciendo cada vez más importante la selección del tipo adecuado para cada aplicación.

La selección del tipo adecuado de motor, con respecto al tipo, par, factor de potencia, rendimiento y elevación de temperatura, aislación, tensión y grado de protección mecánica, sólo puede ser efectuada luego de un análisis cuidadoso, considerando parámetros como: costo inicial, capacidad de la red, necesidad de corrección del factor de potencia, par requerido, efecto de inercia de la carga, necesidad o no de regulación de la velocidad, exposición de la máquina a ambientes húmedos, poluidos o agresivos.

El motor asincrónico de jaula de ardilla es el más empleado en cualquier aplicación industrial debido a su construcción robusta y simple, aparte de ser la solución más económica, tanto en términos de motores como de comando y protección.

El medio más adecuado en la actualidad para reducir los gastos de energía es usar los motores Weg de la línea de Alto Rendimiento Plus. Está comprobado por tests que estos motores especiales tienen hasta un 30% menos pérdidas, lo que realmente significa economía. Estos motores son proyectados y construidos con la más alta tecnología, con el objetivo de reducir las pérdidas e incrementar el rendimiento. Esto proporciona consumo de energía bajo y menor gasto. Son los más adecuados para aplicaciones con variación de tensión. Son testeados de acuerdo a la norma IEC 34-2 y sus valores de rendimiento certificados son estampados en la placa de identificación del motor. La técnica de ensayo es el método B de la IEEE 112. Los valores de rendimiento son obtenidos a través del método de separación de pérdidas de acuerdo a IEC 34-2. Los motores de alto rendimiento serie Plus son normalizados según la norma IEC, manteniendo la relación potencia/carga, por lo tanto son intercambiables con todos los motores normalizados existentes en el mercado. Aparte del costo más elevado que el del motor de jaula de ardilla, la aplicación de los motores de anillos rozantes es necesaria para arranques pesados (inercia alta), movimientos con velocidad ajustable o cuando es necesario limitar la corriente de arranque manteniendo un par de arranque alto.

Tabla 9.1 - Comparación entre diferentes tipos de máquinas

Tipo	Motor de Inducción de jaula de ardilla	Motor de Inducción de anillos rozantes
Proyecto	Rotor no bobinado	Rotor bobinado
Corriente de arranque	Alta	Baja
Par de arranque	Bajo	Alto
Corriente de arranque / corriente nominal	Alto	Bajo
Par máximo	> 160% del par nominal	> 160% del par
Rendimiento	Alto	Alto
Equipo de arranque	Sencillo para arranque directo	Relativamente sencillo
Equipo de protección	Sencillo	Sencillo
Espacio requerido	Pequeño	El rotor necesita espacio grande
Mantenimiento	Pequeño	En los anillos
Costo	Bajo	Alto

Para la selección correcta de los motores es importante considerar las características técnicas de la aplicación y las características de la carga, en lo que se refiere a aspectos mecánicos para calcular:

a) Par de arranque

Par requerido para vencer la inercia estática de la máquina y producir movimiento.

Para que una carga arrancando desde velocidad cero alcance su velocidad nominal, es necesario que el par del motor sea siempre superior al par resistente.

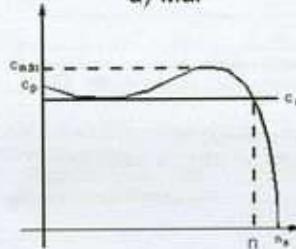
b) Par de aceleración

Par necesario para acelerar la carga hasta la velocidad nominal.

El par del motor debe ser siempre mayor que el par de la carga, en todos los puntos entre cero y la velocidad nominal. En el punto de intersección de las dos curvas, el par de aceleración es nulo, o sea, se alcanza el punto de equilibrio a partir del cual la velocidad permanece constante.

Este punto de intersección de las dos curvas debe corresponder a la velocidad nominal.

a) Mal



b) Bien

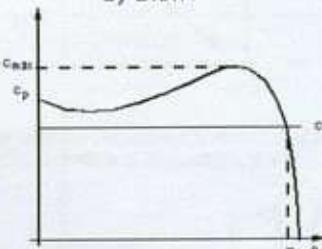


Figura 9.1 - Selección del motor considerando el par resistente de la carga

Donde:
 C_{\max} = Par máximo
 C_p = Par de arranque
 C_r = Par resistente
 n_s = Velocidad sincrónica
 n = Velocidad nominal

El par de aceleración pasa por valores bastante diferentes en la fase de arranque. El par medio de aceleración (C_s) se obtiene a partir de la diferencia entre el par motor y el par resistente.

c) Par nominal

Par nominal necesario para mover la carga en condiciones de velocidad específica.

El par requerido para el funcionamiento normal de una máquina puede ser constante o variar entre límites distantes.

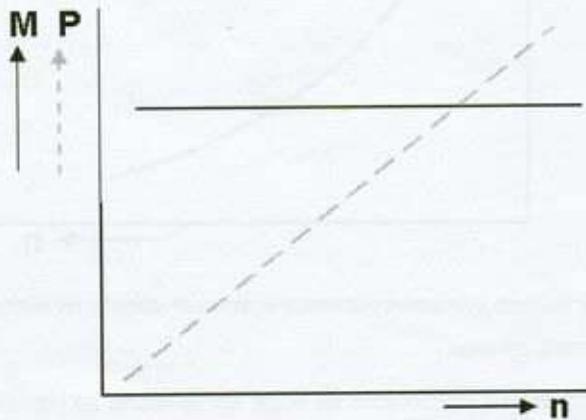
Cuando el par es variable, el par máximo debe ser suficiente como para soportar los picos momentáneos de carga.

Las características de funcionamiento de una máquina en cuanto al par pueden ser divididas en tres clases:

Par constante

En la máquinas de este tipo, el par permanece constante durante la variación de la velocidad y la potencia aumenta proporcionalmente a la velocidad.

— Par requerido por la máquina
 — Potencia requerida por la máquina

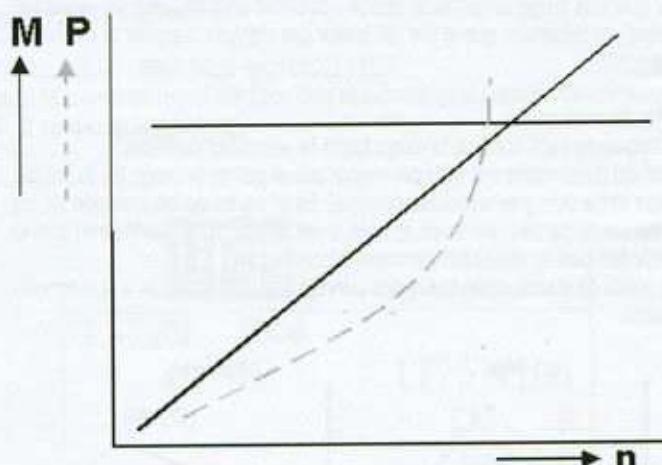


M = Par resistente: Constante

P = Potencia: proporcional al número de rotaciones por minuto (n)

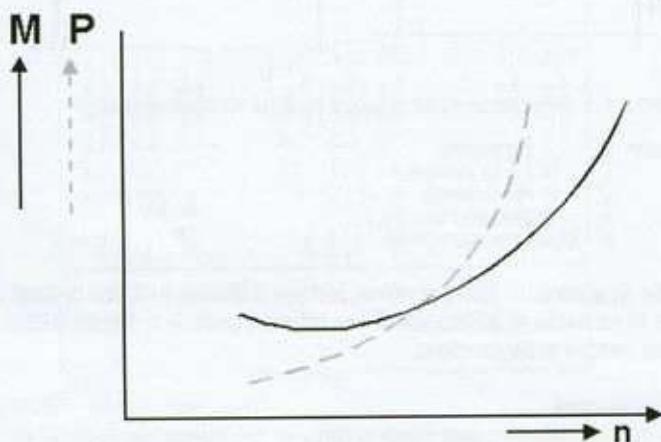
Par variable

Se encuentran casos de par variable en las bombas, ventiladores, donde el par varía con el cuadrado de la velocidad.



M = Par resistente: proporcional a las rotaciones por minuto (n^2)

P = Potencia: proporcional al número de rotaciones por minuto al cuadrado (n^3)

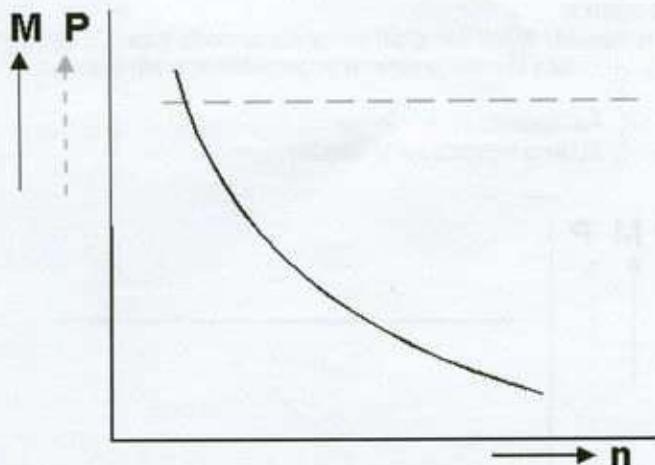


M = Par resistente: proporcional al número de rotaciones por minuto al cuadrado (n^2)

P = Potencia: proporcional al número de rotaciones por minuto al cubo (n^3)

Potencia constante

Las aplicaciones de potencia constante requieren una potencia igual a la nominal para cualquier velocidad.



M = Par resistente: inversamente proporcional al número de rotaciones por minuto (n)

P = Potencia constante

Para una correcta especificación del motor, son necesarias las siguientes informaciones en la consulta:

Características de la red de alimentación

- Tensión de alimentación del motor (y de los calentadores internos, si necesarios)
- Frecuencia nominal en Hz
- Método de arranque (cuando no se informe lo contrario, se considerará arranque directo)

Características del ambiente

- Altitud
- Temperatura ambiente
- Atmósfera ambiente

Características constructivas

- Forma constructiva
- Potencia en kW, velocidad en rpm
- Factor de servicio
- Protección térmica
- Sentido de rotación (horario o antihorario, mirando desde el lado del accionamiento)

Características de la carga

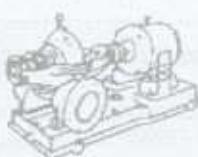
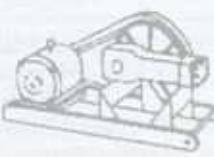
- Momento de inercia de la máquina accionada y a qué velocidad está referida
- Curva de par resistente
- Datos de la transmisión
- Magnitud y sentido de cargas axiales, cuando existentes
- Magnitud y sentido de cargas radiales, cuando existentes
- Régimen de funcionamiento de la carga (nº de arranques por hora).

En resumen, la selección correcta del motor implica que el mismo satisfaga las exigencias requeridas por la aplicación específica.

En este aspecto el motor debe ser capaz de:

- Acelerar la carga en tiempo suficientemente corto para que el calentamiento no dañe las características físicas de los materiales aislantes;
- Funcionar en el régimen especificado, sin que la temperatura de sus diversas partes sobrepase la clase del aislante, o que el ambiente provoque la destrucción del mismo;
- Desde el punto de vista económico, funcionar con valores de rendimiento y factor de potencia dentro de la faja óptima para la cual fue proyectado.

9.1 Guía de selección del tipo de motor para diferentes cargas

Tipo de carga	Par requerido		Características de la carga	Tipo de motor usado
	Arranque	Máximo		
 Bombas centrífugas; ventiladores; taladradoras; compresores; rectificadoras; trituradoras.	Entre 1 y 1,5 veces el par nominal	Valores máximos entre 200% y 250% del nominal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Condiciones de arranque fáciles tales como: engranajes intermedios, baja inercia o uso de acoplamientos especiales, simplifican el arranque. ○ Máquinas centrífugas tales como: bombas donde el par aumenta en función del cuadrado de la velocidad hasta un máximo que se consigue a velocidad nominal. ○ En la velocidad nominal puede estar sujeta a pequeñas sobrecargas. 	<input type="radio"/> Par normal <input type="radio"/> Corriente de arranque normal <input type="radio"/> Categoría N
 Bombas de pistón; compresores; cargadores; alimentadores; laminadoras de barras.	Entre 2 y 3 veces el par nominal	No mayor que 2 veces el par nominal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Par de arranque alto para vencer la inercia elevada, presión de rechazo, fricción de parada, rigidez en los procesos de materiales o condiciones mecánicas similares. ○ Durante la aceleración, el par exigido baja hasta el valor del par nominal. ○ Es inconveniente exponer el motor a sobrecargas durante el funcionamiento nominal. 	<input type="radio"/> Par de arranque alto <input type="radio"/> Corriente de arranque normal <input type="radio"/> Categoría N
 Prensas punzonadoras; aparejos; puentes grúa; guíñches; cizallas mecánicas; bombas hidráulicas para pozos.	3 veces el par nominal	Requiere 2 a 3 veces el par nominal. Son consideradas las pérdidas durante los picos de carga.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cargas intermitentes que requieren par de arranque alto o bajo. Requieren arranques frecuentes, paradas y reversas. ○ Máquinas tales como prensas, puncionadoras, que pueden usar volantes para soportar los picos de potencia. ○ Una pequeña regulación es conveniente para disminuir los picos de potencia y reducir los esfuerzos mecánicos en el equipo accionado. ○ La alimentación precisa ser protegida de los picos de potencia resultantes de las fluctuaciones de carga. 	<input type="radio"/> Par de arranque alto <input type="radio"/> Corriente de arranque normal <input type="radio"/> Alto deslizamiento <input type="radio"/> Categoría D
 Ventiladores; maquinaria-herramientas; mezcladores; transportadores.	Algunas veces se necesita sólo de parte del par nominal, y muchas otras, de varias veces éste.	1 a 2 veces el par nominal en cada velocidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Dos, tres o cuatro velocidades fijas son suficiente. ○ No es necesario el ajuste de velocidad. ○ El par de arranque puede ser pequeño (ventiladores) o alto (transportadores). ○ Las características de funcionamiento en varias velocidades pueden variar entre potencia constante, par constante o características de par variable. ○ Máquinas para cortar metal tienen potencia constante; cargas de desgaste son típicas de par constante; ventiladores son de par variable. 	<input type="radio"/> Par normal o alto (múltiples velocidades)

10. Ensayos

La finalidad de este capítulo es definir los ensayos que pueden ser realizados por solicitud de los clientes, con o sin presencia de un inspector.

Son agrupados en ENSAYOS DE RUTINA, TIPO, PROTOTIPO y ESPECIAL. Para la realización de estos ensayos se debe seguir la norma IEC 34-2 la cual define los procedimientos para la ejecución del ensayo.

A continuación son listados los ensayos de rutina, tipo, prototípico y especial. Otros ensayos no citados pueden ser realizados por el fabricante, siempre que exista un acuerdo entre las partes interesadas.

10.1 Ensayos de rutina

- a) Ensayo de resistencia eléctrica en frío.
- b) Ensayo en vacío. Medición de corriente y potencia absorbida con tensión nominal.
- c) Ensayo con rotor bloqueado. Medición de corriente y potencia consumida y, par, en tensión nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- d) Ensayo de tensión secundaria para motores con rotor bobinado.
- e) Ensayo de tensión soportable.

10.2 Ensayos de tipo

- a) Ensayo de resistencia eléctrica en frío.
- b) Ensayo en vacío. Medición de corriente y potencia absorbida con tensión nominal.
- c) Ensayo con rotor bloqueado. Medición de corriente y potencia consumida y par, en tensión nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- d) Ensayo de tensión secundaria para motores con rotor bobinado.
- e) Ensayo de aumento de temperatura.
- f) Ensayo de resistencia eléctrica en caliente.
- g) Ensayos relativos a la potencia entregada. Medición del rendimiento, factor de potencia, corriente y velocidad con 50%, 75% y 100% de la potencia nominal.
- h) Ensayo de par máximo en tensión nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- i) Ensayo de tensión soportable.

10.3 Ensayos de prototípico

- a) Ensayo de resistencia eléctrica en frío.
- b) Ensayo en vacío. Medición de corriente y potencia absorbida con tensión nominal.
- c) Ensayo en vacío. Obtención de las curvas características de corriente y potencia absorbida en función de la tensión. La tensión debe ser nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- d) Ensayo con rotor bloqueado. Medición de corriente y potencia consumida y par, en tensión nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- e) Ensayo de tensión secundaria para motores con rotor bobinado.
- f) Ensayo de aumento de temperatura.
- g) Ensayo de resistencia eléctrica en caliente.
- h) Ensayos relativos a la potencia entregada. Medición del rendimiento, factor de potencia, corriente y velocidad con 50%, 75% y 100% de la potencia nominal.
- i) Ensayos relativos a la potencia entregada. Obtención de las curvas características de rendimiento, factor de potencia, corriente y velocidad de rotación en función de la potencia entregada.
- j) Ensayo de par máximo en tensión nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- k) Ensayo de tensión soportable.

10.4 Ensayos especiales

- a) Ensayo con rotor bloqueado. Obtención de las curvas características de corriente, potencia consumida y par en función de la tensión.
- b) Ensayo de arranque. Obtención de las curvas características de par y corriente en función de la velocidad. La velocidad debe ser la nominal o reducida (en el caso que no sea posible con la nominal).
- c) Ensayo de sobrevelocidad.
- d) Ensayo de nivel de ruido.
- e) Ensayo de tensión en el eje.
- f) Ensayo de vibración.

11. Anexos

11.1 Sistema Internacional de Unidades - SI

MAGNITUD	NOMBRE	UNIDAD
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s ²
Aceleración angular	radian por segundo al cuadrado	rad/s ²
Actividad	uno sobre segundo	s ⁻¹
Ángulo plano	radian	rad
Ángulo sólido	esteroradián	sr
Área	metro cuadrado	m ²
Calor de masa	Joule por kilogramo-Kelvin	J/kgK
Cantidad de luz	lumen-segundo	lm.s
Carga eléctrica	Coulomb	C
Capacidad	Faradio	F
Caudal	metro cúbico por segundo	m ³ /s
Conductancia	Siemens	S
Conductividad térmica	Watt por metro-Kelvin	W/mK
Conductividad	Siemens por metro	S/m
Convergencia	dioptría	dí
Densidad de flujo de energía	Watt por metro cuadrado	W/m ²
Dosis absorbida	Joule por kilogramo	J/kg
Eficiencia lumínica	lumen por Watt	lm/W
Emitancia lumínosa	lumen por metro cuadrado	lm/m ²
Energía	Joule	J
Entropía	Joule por Kelvin	J/K
Excitación lumínosa	lux-segundo	lx.s
Exposición	Coulomb por kilogramo	C/kg
Flujo (de masa)	kilogramo por segundo	Kg/s
Flujo luminoso	lumen	lm
Flujo magnético	Weber	Wb
Frecuencia	Hertz	Hz
Fuerza	Newton	N
Gradiente de temperatura	Kelvin por metro	K/m
Impulso	Newton-segundo	Ns
Inducción magnética	Tesla	T
Inductancia	Henrio	H
Intensidad de campo eléctrico	Volt por metro	V/m
Intensidad de campo magnético	Ampere por metro	A/m
Intensidad luminosa	candela	cd
Intensidad energética	Watt por esteroradián	W/sr
Intensidad de corriente	Ampere	A
Intervalo de frecuencias	octava	
Longitud	metro	m
Luminancia energética	Watt por esteroradián-metro cuadrado	W/sr m ²
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m ²
Luminosidad	lux	lx
Masa	kilogramo	Kg
Masa específica	kilogramo por metro cúbico	Kg/m ³
Momento de fuerza	Newton-metro	Nm
Momento cinético	kilogramo por metro cuadrado-segundo	Kgm ² /s
Momento de inercia	kilogramo-metro cuadrado	Kgm ²
Nivel de potencia	Bel	B
Número de ondas	uno por metro	m ⁻¹
Potencia	Watt	W
Presión	Newton por metro cuadrado	N/m ²

MAGNITUD	NOMBRE	UNIDAD
Reluctancia	Ampere por Weber	A/Wb
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω
Resistividad de masa	Ohm-kilogramo por metro cuadrado	Ω kg/m ²
Resistividad	Ohm-metro	Ω m
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Tensión eléctrica	Volt	V
Tensión superficial	Newton por metro	N/m
Tiempo	segundo	s
Velocidad angular	radian por segundo	rad/s
Velocidad	metro por segundo	m/s
Viscosidad dinámica	Newton-segundo por metro cuadrado	Ns/m ²
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m ² /s
Volumen	metro cúbico	m ³

11.2 Conversión de unidades

De	multiplicar por	para obtener		
			A	B
Acre	4047	m ²		
Acre	0,001563	milas ²		
Acre	43560	pies ²		
Almósfera física	76	cm.Hg		
Almósfera técnica	1	kgf/cm ²		
Almósfera física	1,033	kgf/cm ²		
Almósfera física	10332	kgf/m ²		
Almósfera física	14,70	Libras-fuerza/pol. ²		
			B	
BTU	3,94.10 ⁻⁴	HP.h		
BTU	2.928.10 ⁻⁴	kW.h		
BTU/h	107,5	kgm/s		
BTU/h	0,2931	W		
BTU/h ² (°F)	0,0173	W/cm ² (°C)		
Pie		cm		
BTU/h ² (°F)	0,0833	BTU/h.pie ² (°F)		
Pie		Pie		
BTU/h.Pie ² .°F	5,68.10 ⁻⁴	W/cm ² .°C		
BTU/h.Pie ² .°F	3,94.10 ⁻⁴	HP/pie ² .°F		
BTU/min	0,01758	kW		
BTU/min	17,58	W		
BTU/seg	2,93.10 ⁻⁴	kW		
BTU/s	3,93.10 ⁻⁴	HP		
BTU/s	3,94.10 ⁻⁴	CV		
			C	
Caloría (gramo)	3,9683.10 ⁻³	BTU		
Caloría (gramo)	1,5596.10 ⁻⁶	HP.h		
Caloría (gramo)	1,1630.10 ⁻⁶	kW.h		
Caloría (gramo)	3600/860	Joule		
Cal/s.cm ² (°C)	4,19	W/cm ² (°C)		
cm		cm		
Cal/kg.cm ² °C	7380	BTU/h.pie ² .°F		
Cal/kg.cm ² °C	4,19	W/cm ² °C		
Cal/kg.cm ² °C	2,91	HP/pie ² .°F		
Caballo-vapor (cv)	0,9863	HP		
cv	632	kcal		
cv	542,5	Lb.pie/s		
cv	75	kg.m/s		
cv	735,5	W		
cm de Hg	0,3937	pulgada		
cm ³	1,308.10 ⁻⁶	yarda ³		
cm ³	3,531.10 ⁻⁶	pie ³		
cm ³	0,06102	Pol. ³		
cm	0,01316	atmósfera física		
cm de Hg	136	kg/m ²		
cm ²	1,076.10 ⁻³	pie ²		
cm ²	0,1550	pol. ²		

De	multiplicar por	para obtener
cm/s	1,1969	pie/min
cm/s	0,036	km/h
D		
Dina	1,020.10 ⁻⁶	grama
Dina	2,248.10 ⁻⁶	Libra
E		
Erg	9,480.10 ⁻¹¹	BTU
Erg	1,020.10 ⁻³	g.cm
Erg	3,7250.10 ⁻¹⁴	HP.h
Erg	10 ⁻⁷	J
Erg	0,2778.10 ⁻¹³	kW.h
Erg	7,367.10 ⁻⁸	Libra-fuerza.pie
Erg	2,389.10 ⁻¹¹	kcal
Erg	1,020.10 ⁻⁶	kgm
Erg/s	1,341.10 ⁻¹⁰	HP
Erg/s	1,433.10 ⁻⁹	kcal/min.
Erg/s	10 ⁻¹⁰	kW
Erg/s	4,427.10 ⁻⁶	Libra-fuerza.pie/min.
Erg	1,020.10 ⁻⁶	kgm
Erg/s	1,341.10 ⁻¹⁰	HP
Erg/s	1,433.10 ⁻⁹	kcal/min.
Erg/s	10 ⁻¹⁰	kW
Erg/s	4,427.10 ⁻⁶	Libra-fuerza.pie/min.
Erg/s	7,3756.10 ⁻⁸	Libra-fuerza.pie/s
G		
Grado Celsius	$(\frac{9}{5}C - 32)$	Grado Fahrenheit
Grado Celsius	$(^{\circ}C + 273,15)$	Grado Kelvin
Grado Fahrenheit	$(^{\circ}F - 32) \frac{5}{9}$	Grado Celsius
Grado (trigonometrico)	0,01745	radian
Gramo	9,804.10 ⁻⁵	j/cm
Gramo	0,205.10 ⁻³	Libra
Gramo/cm	5,600.10 ⁻³	Libra/pol
Gramo/cm ³	0,03613	Libra/pol ³
H		
Hectárea	2,471	acre
HP	42,44	BTU/min
HP	1,014	cv
HP (caldera)	33479	BTU/h
HP	10,68	kcal/min
HP	76,04	kg.m/s
HP	0,7457	kW
HP	33000	libra-fuerza.pie/min.
HP	550	Libra-fuerza.pie/s
HP.h	2,684.10 ⁶	J
HP.h	0,7457	kW.h
HP.h	1,98.10 ⁶	Libra-fuerza.pie
HP.h	2,737.10 ⁶	kgm
J		
Yarda ³	0,7646	m ³
Joule	9,480.10 ⁻⁴	BTU
Joule	0,7376	Libra-fuerza.pie
Joule	2,389.10 ⁻⁶	kcal
Joule	22,48	Libra
Joule/s	1	W
K		
$\frac{^{\circ}C}{m}$	0,671	$\frac{^{\circ}F}{Pie}$
$\frac{^{\circ}C}{m}$	8,05	$\frac{^{\circ}F}{pol}$
$\frac{^{\circ}C}{m}$	2,77.10 ⁻³	$\frac{Cal/s.cm^2}{cm}$
$\frac{^{\circ}C}{m}$	0,0116	$\frac{W/cm^2}{cm}$
kcal/h.m ² .°C	0,205	$\frac{BTU/h.pie^2}{^{\circ}F}$

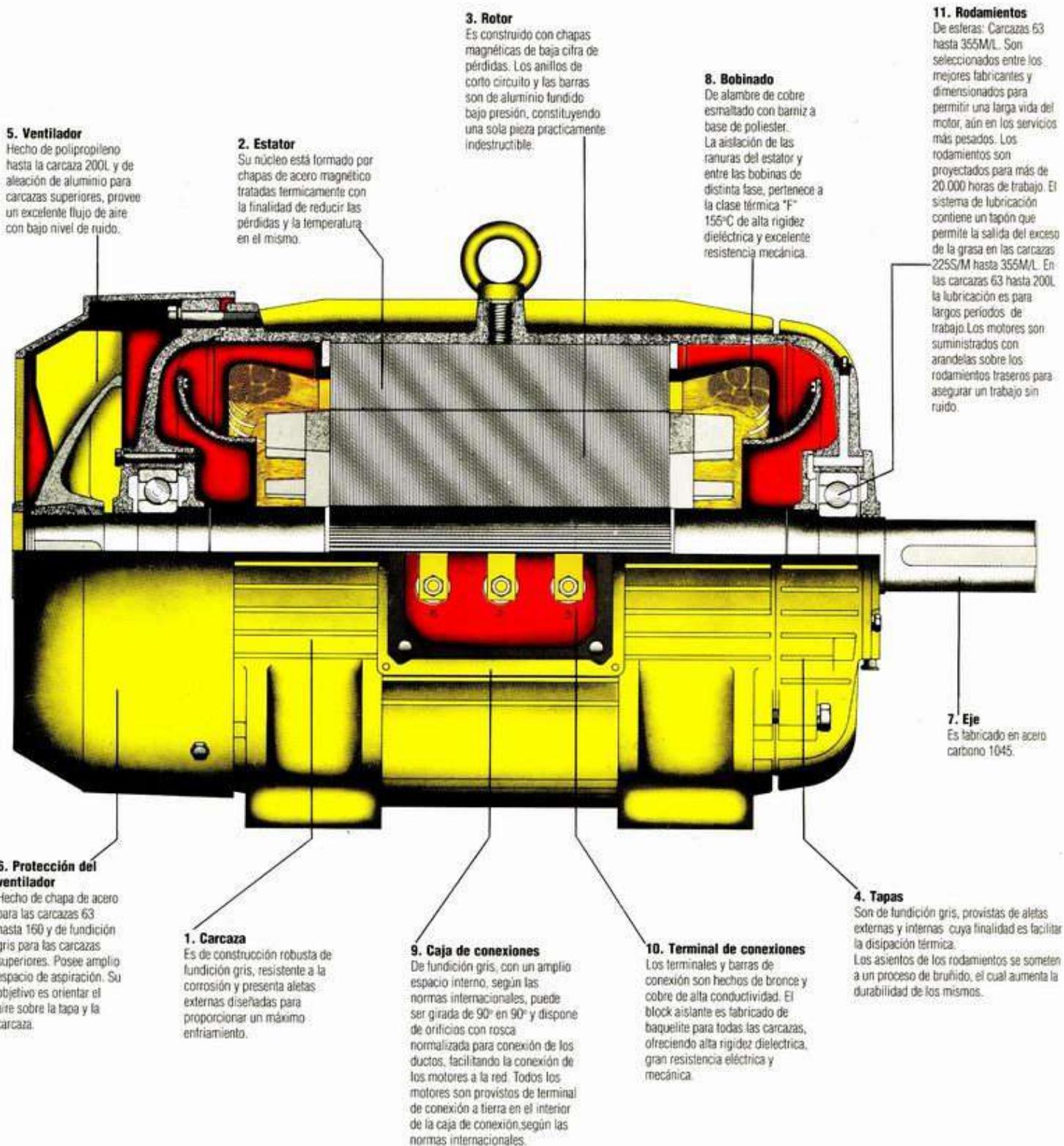
De	multiplicar por	para obtener
kcal/h.m ² .°C	2,78.10 ⁵	Cal/s.cm ² .°C
kcal/h.m ² .°C	1,16.10 ⁴	W/cm ² .°C
kcal/h.m ² .°C	8,07.10 ³	HP/pie ² .°C
L		
Libra-fuerza.pie/s	0,1945	kcal/min
Libra-fuerza.pie/s	1,356.10 ³	kW
Libra-fuerza.pie ³	0,01602	g/cm ³
Libra-fuerza.pie ³	16,02	kg/m ³
Libra-fuerza.pol	17,86	atmósfera
Libra-fuerza.pol ²	0,06804	kg/cm ²
Libra-fuerza.pol ³	0,07301	Libra-fuerza.pol ³
Libra-fuerza.pie/min	1728	kcal/min
Libra-fuerza.pie/min	3,24.10 ⁴	kW
Libra-fuerza.pie/s	2,260.10 ⁵	BTU/min
Libra-fuerza	0,07717	onza
Litro	16	galón
Litro/min	0,2642	pie ³ /s
Libra-fuerza/pie	5,886.10 ⁴	kcal
Libra-fuerza/pie	1,488	kg/m
Libra-fuerza/pie	3,766.10 ⁷	kW.h
Libra-fuerza/pie	0,1383	kgm
Libra-fuerza/pie ²	4,725.10 ⁴	atmósfera física
Libra-fuerza/pie ²	4,882	kg/m ²
M		
m	1,094	Yarda
m	5,396.10 ⁻⁴	milla marítima
m	6,214.10 ⁻⁴	milla terrestre
m	39,37	pol.
m ³	35,31	pie ³
m ²	61023	pol. ³
m	1,667	cm/s
m/min	0,03238	nó
m/min	0,05408	pies/s
m ²	10,76	pie ²
m ²	1550	pol. ²
m.kg	7,233	Libra-fuerza.pie
m/s	2,237	milla/h
m/s	196,8	pie/min
Micrómetro	10 ⁴	m
Milla/h	26,82	m/min
Milla/h	1467	pie/s
Milla (marítima)	2027	Yarda
Milla (marítima)	1,853	km
Milla (marítima)	6080,27	pie
Milla cuadrada	2,590	km ²
Milla terrestre	1609	m
Milla terrestre	0,8684	milla marítima
Milla terrestre	5280	pie
Milla	0,001	pulgada
Milímetro	0,03937	pulgada
N		
Newton	1,10 ⁶	Dina
Nó	1,8532	km/h
Nó	1,689	pie/s
O		
Onza	437,5	grano
Onza	28,349	gramo
Onza	31,103	gramo
P		
Pie	0,3048	m
Pie/min	0,508	cm/s
Pie/min	0,01667	pie/s
Pies/s	18,29	m/min
Pie/s	0,6818	milla/h
Pie/s	0,5921	nó
Pie/s	1,097	km/h
Pie ²	929	cm ²
Pie	30,48	cm
Pie ³	28,32	litro
Pie ³ /Lb	0,06242	m ³ /kg
Pie ³ /min	472	cm ³ /s
Pol. ³	0,01639	litro

De	multiplicar por	para obtener
Pol. ³	1,639.10 ⁵	m ³
Pol. ³	5,787.10 ⁻⁴	pie ³
Q		
kg	2,205	Libra
kgf/cm ²	2048	Libra-fuerza/pie ²
kgf/cm ²	14.22	Libra-fuerza/pol ²
kgf/cm ³	0,06243	Libra/pie ³
kgf/cm ³	3,613.10 ⁵	Libra/pol ³
km	1094	Yarda
km	3281	pie
km	0,6214	Milla
km ²	0,3861	Milla ²
km ²	10.76.10 ⁻⁶	pie ²
km/h	27.78	cm/s
km/h	0,6214	Milla/h
km/h	0,5396	no
km/h	0,9113	pie/s
kilocaloría	3,9685	BTU
kilocaloría	1,585.10 ³	cv.h
kilocaloría	1,560.10 ²	HP.h
kilocaloría	4,186	J
kilocaloría	426,9	kgm
kilocaloría	3,088	Libra-fuerza.pie
kgf	9,807	J/m (N)
kilagrámmetro	9,294.10 ³	BTU
kilagrámmetro	9,804	J
kilagrámmetro	2,342.10 ³	kcal
kilagrámmetro	7,233	libra-fuerza.pie
kW	56,92	BTU/min
kW	1,341	HP
kW	14,34	kcal/min
kW/h	3413	BTU
kW/h	859850	Cal
kW/h	1,341	HP.h
kW/h	3,6.10 ⁶	J
kW/h	2,655.10 ⁶	Libra pie
kW/h	3,671.10 ⁶	kgm
R		
Radian	3438	min.
rpm	6,0	grado/s
rpm	0,1047	radian/s
Radian/s	0,1592	rpm
T		
Ton.corta	2000	Libra
Ton.corta	907.18	kg
Ton.larga	2240	Libra
Ton.larga	1016	kg
Ton.	2205	Libra
W		
Watt	0,05688	BTU/min
Watt	1,341.10 ⁻³	HP
Watt	0,01433	kcal/min
Watt	44,26	Libra-fuerza.pie/min
Watt	0,7378	Libra-fuerza.pie/s

11.3 Apendice de Normas

Principales normas utilizadas en máquinas eléctricas giratorias		
Número de registro	Título	Asunto
IEC 34-7	Máquinas Eléctricas Giratorias	Clasificación de las formas constructivas y montajes
IEC 34-6	Máquinas Eléctricas Giratorias	Clasificación de los métodos de enfriamiento.
IEC 79-10	Carcasas/Gabinetes a Prueba de Explosión para Equipos Eléctricos	Clasificación.
IEC 34-2	Máquinas Eléctricas Giratorias	Determinación de las características - Método de ensayo.
IEC 72-1	Máquina Eléctrica Giratoria	Dimensiones y potencias - Normalización.
IEC 34-5	Carcasa/gabinete de Equipos Eléctricos - Protección	Grado de protección mecánica proporcionada por las carcasas/gabinetes.
IEC 85	Materiales Aislantes Eléctricos: Clasificación térmica	Clasificación.
IEC 34-1	Máquinas Eléctricas Giratorias	Motores de inducción - Especificación.
IEC 34-9	Máquinas Eléctricas Giratorias	Límites de ruido - Especificación.
ISO 1680-1	Máquinas Eléctricas Giratorias	Nivel de ruido transmitido a través del aire - Método de medición en un campo libre sobre un plano reflector / Método de ensayo.
IEC 72-1	Máquinas Eléctricas Giratorias	Motores de inducción de jaula de ardilla, trifásicos, cerrados - Correspondencia entre potencia nominal y dimensiones - Normalización.
IEC 34-8	Máquinas Eléctricas Giratorias	Identificación de los terminales y del sentido de rotación - Normalización.
IEC 79-0	Material Eléctrico para atmósferas explosivas	Reglas Generales

COMPONENTES DEL MOTOR



WEG Equipamientos Eléctricos S.A.
(Headquarters San Francisco - Córdoba)
Sgo. Pampiglione 4849
Parque Industrial San Francisco
2400 - San Francisco
Phone(s): +54 (3564) 421484
Fax: +54 (3564) 421459
wegee@weg.com.ar
www.weg.com.ar