

Manual de Contenido  
del Participante

# Máquinas Asincrónicas



# Propósito y Objetivos de este Manual

Este curso tiene como propósito profundizar los conocimientos referidos a los principales motores asincrónicos que se utilizan en las plantas de Ternium y brindar algunas claves para lograr su correcto funcionamiento y mantenimiento.

Los objetivos que deberá lograr el participante al finalizar el curso son:



Explicar que son y como funcionan los motores asincrónicos



Identificar distintos tipos de motores asincrónicos, su función características y componentes



Reconocer las características específicas de los motores trifásicos



Explicar la importancia del mantenimiento y la detección de posibles fallas que puedan surgir durante el funcionamiento de los motores.

Es importante comprender las consecuencias que el desconocimiento de los conceptos y principios explicados en este manual puede ocasionar en la seguridad y calidad del producto final.

# Cómo Utilizar este Manual



**CAPÍTULO 1**  
Conceptos básicos

5



**CAPÍTULO 2**  
Inducción a motores  
asíncronos

22



**CAPÍTULO 3**  
Motores asincrónicos  
trifásicos

44



**CAPÍTULO 4**  
Características de los  
motores asincrónicos

96



**CAPÍTULO 5**  
Mantenimiento  
de motores asincrónicos

139

**ANEXO**  
168

El manual contiene pequeñas figuras que se repiten en todos los capítulos y que son una forma de organización de la información para hacer más fácil y dinámica la lectura. Estas figuras se denominan íconos.

A continuación hay una descripción de la utilización de cada ícono, es decir en qué oportunidad aparecen:



### GLOSARIO

Explica términos y siglas.



### RECUERDE

Refuerza un concepto ya mencionado en el texto del manual.



### ANEXO

Profundiza conceptos.



### MANTENIMIENTO

Resalta procedimientos necesarios de mantenimiento.



### PREGUNTAS

Presenta preguntas disparadoras.



### ATENCIÓN

Destaca conceptos importantes.



### EJEMPLO

Ilustra con situaciones reales los temas tratados.



### ACTIVIDAD

Señala el comienzo de un ejercicio que le permitirá reforzar lo aprendido.



### EXAMEN FINAL

Señala el comienzo de la evaluación final.



### FIN DE CAPÍTULO

Señala la finalización del capítulo.



### FIN DE MANUAL

Señala la finalización del manual.

# Conceptos básicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 1

---

1.1 Introducción	6
1.2 Ecuaciones básicas	13

Este capítulo presenta las principales características de los motores asincrónicos y describe su mecanismo de funcionamiento.



## 1.1 Introducción

### Definiciones.

Los motores asincrónicos son motores de corriente alterna (en adelante, CA) que convierten la energía eléctrica en energía mecánica por medio del principio de inducción magnética

### GLOSARIO



#### Principio de inducción magnética:

Refiere al movimiento de un conductor a través de un campo magnético que induce un voltaje.

Si el conductor en movimiento dentro del campo magnético es parte de un circuito cerrado, entonces se inducirá una corriente.

### Principio de inducción magnética de los motores asincrónicos

1

Un conductor con corriente se coloca dentro de un campo magnético establecido.

2

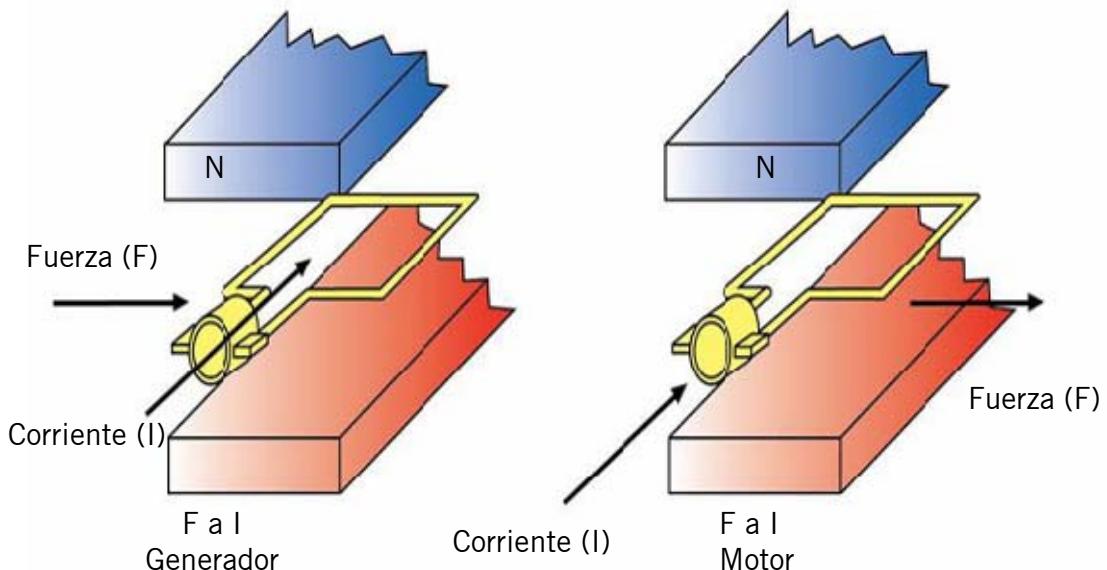
Este conductor se deja manipular por una fuerza, la cual trata de mover al conductor a través del campo magnético.

### RECUERDE



Para acceder a más información o profundizar sobre algún contenido de este manual, le recordamos que puede recurrir a los siguientes cursos: Inspección sensorial; Electricidad básica; Chavetas retenes y cojinetes; Generadores y motores de CC y CA sincrónicos; Escobillas eléctricas; y Mediciones eléctricas.

El principio de inducción magnética en un motor y un generador se ilustra en la figura:



### Principio de inducción de un motor y un generador

El campo magnético se coloca en una parte estacionaria del motor, llamada **estator**, y los conductores, al ser influenciados por el campo magnético, se colocan en una parte que pueda girar, llamada **rotor**.

El motor de CA, al igual que el motor de corriente continua (en adelante, CC), es una **máquina electromecánica que convierte energía eléctrica en energía mecánica**. El motor de CA, como su nombre lo indica, debe ser alimentado con un suministro de voltaje de CA

### GLOSARIO

Motor de CC:

Máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio.



## Leyes físicas

El funcionamiento del motor de CA se basa en las siguientes leyes físicas:

### Ley de Oersted - Ampere

Sostiene que el flujo de corriente eléctrica, a través de un conductor, produce un campo magnético a su alrededor que es proporcional a dicha corriente. Debido a que es una alimentación de CA, el campo magnético se encuentra variando en el tiempo.

### Ley de inducción de Faraday

Establece que se induce un voltaje en un conductor en movimiento dentro de un campo magnético (de tal forma que corte líneas de flujo). La magnitud de ese voltaje es proporcional a la velocidad con que corte las líneas. Este mismo efecto se tiene cuando el conductor está en un campo magnético variable.

### Ley de Biot y Savart

Indica que cualquier material que conduzca una corriente y se encuentre dentro de un campo magnético, experimentará una fuerza.

## ATENCIÓN

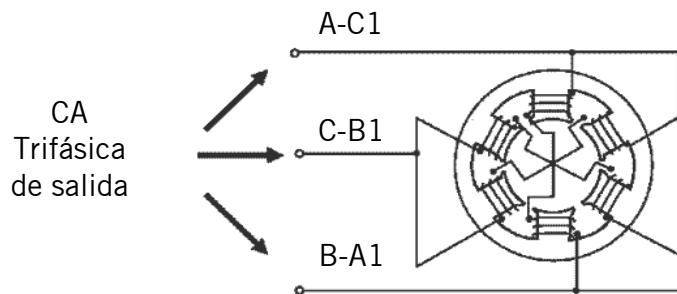
A diferencia de los motores de CC, los motores de CA se alimentan solamente en sus devanados del estator, los cuales son llamados **devanados de armadura**.



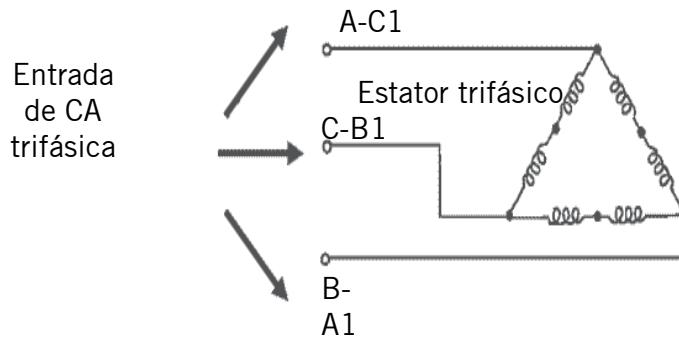
## Campo rotante trifásico

Antes de comprender el funcionamiento del campo rotante giratorio, es necesario conocer cómo se produce este campo.

En el esquema se señala un motor trifásico al cual se aplica una CA proveniente de una fuente trifásica. Los bobinados están conectados en triángulo y los dos bobinados de cada fase están devanados en el mismo sentido.



En todo instante el campo magnético producido por una de las fases en particular depende de la intensidad de corriente en esa fase. Si la intensidad es 0, el campo magnético también será 0. Si la intensidad es máxima, el campo magnético tendrá una fuerza máxima.



Como las intensidades de los tres bobinados tienen una diferencia de fase de  $120^\circ$ , los campos magnéticos producidos en ellos también tendrán una diferencia de fase en  $120^\circ$ .

Ahora bien, los tres campos magnéticos existentes en un instante dado se combinan para producir un sólo campo que acciona sobre el rotor.

De un instante al siguiente, los campos magnéticos se combinan, para producir un campo magnético cuya posición varía en un cierto ángulo.

Al completarse un ciclo de CA, el campo magnético se habrá desplazado  $360^\circ$ , o sea una revolución.

A continuación se explica cómo funciona el campo magnético giratorio.

En el diseño aparecen las tres ondas de intensidad aplicadas al estator. Estas ondas tienen la diferencia de fase de  $120^\circ$  entre sí. Las ondas pueden representar tres campos magnéticos alternos generados por las tres fases o bien las intensidades de las fases.

## GLOSARIO



**Bobina:**

Componente de un circuito eléctrico formado por un alambre aislado que se arrolla en forma de hélice con un paso igual al diámetro del alambre. Debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

**Devanado:**

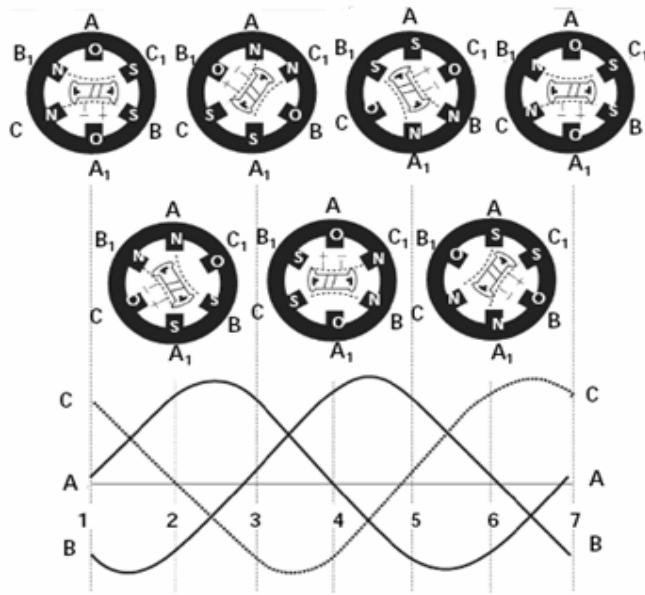
Sinónimo de bobina.

Tal como se ilustra en la siguiente figura, las ondas han sido identificadas con letras que corresponden con su fase respectiva.

Al aplicar las ondas, es posible combinar los campos magnéticos generados cada 1/6 de ciclo ( $60^\circ$ ) para determinar el sentido del campo magnético resultante. En el punto 1 la onda C es positiva y la B negativa lo cual significa que la corriente circula en sentido contrario entre las fases B y C y establece la polaridad magnética de las fases B y C. En el diagrama simplificado la polaridad aparece en el punto 1. Se observa que B1 es polo norte y que B es polo sur, mientras que C es polo norte y C1 es polo sur. Como en el punto 1 no hay flujo de corriente en la fase A, el campo magnético de ésta es 0. Los campos magnéticos que abandonan los polos B1 y C se moverán hacia los polos sur C1 y B más cercanos según la figura. Como los campos magnéticos de B y C son de amplitud igual, el campo magnético resultante estará comprendido entre los dos campos y tendrá el sentido que se ve en la figura.

En el punto 2, o sea  $60^\circ$  después, las ondas de intensidad de entrada en las fases A y B son iguales y contrarias, mientras que la onda C es 0. Se puede ver que ahora el campo magnético resultante ha girado  $60^\circ$ . En el punto 3 la onda B es 0 y el campo resultante ha girado otros  $60^\circ$ . Desde el punto 1 hasta el punto 7 (correspondiente a un ciclo de CA), se puede observar que el campo magnético resultante ha girado una revolución por cada ciclo de CA suministrada al estator.

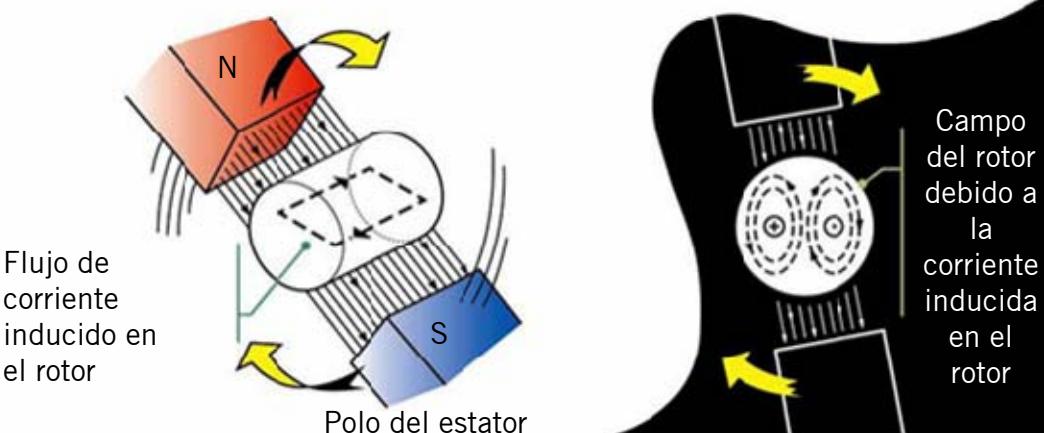
Con esto llega a la conclusión de que, **al aplicar CA trifásica a tres bobinados distribuidos simétricamente en torno al estator, se produce un campo magnético giratorio.**



### El rotor gira con el campo magnético

## Funcionamiento

El **campo magnético giratorio atraviesa las barras del rotor e induce corriente en ellas**. Esta corriente inducida, a su vez, genera alrededor de los conductores del rotor un campo magnético que tratará de alinearse con el campo magnético del estator. Sin embargo, como el campo magnético del estator gira continuamente, el rotor no puede alinearse con él sino que siempre debe seguirlo.



### Inducción de un campo magnético en el rotor

**ACTIVIDAD. 1 Verdadero / Falso**

Este ejercicio permite verificar la comprensión sobre las definiciones de los motores asincrónicos.



Leer cada una de las siguientes afirmaciones e indicar si es Verdadera o Falsa.

- |   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| 1 | Los motores asincrónicos convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante el movimiento rotatorio. | A) Verdadero<br>B) Falso |
| 2 | El campo magnético se coloca en el rotor, que es la parte del motor que puede girar.                           | A) Verdadero<br>B) Falso |
| 3 | El motor de CA como el motor de CC transforman la energía eléctrica en mecánica .                              | A) Verdadero<br>B) Falso |
| 4 | Un bobinado produce un campo giratorio cuando se le aplica CA en torno a su estator                            | A) Verdadero<br>B) Falso |

**ACTIVIDAD. 2 Leyes**

Este ejercicio permite reforzar los conocimientos sobre las leyes de los motores asincrónicos.



Unir con flechas el nombre de la Ley con la definición correspondiente.

Ley de Oersted - Ampere

El flujo de corriente eléctrica, a través de un conductor, produce un campo magnético a su alrededor que es proporcional a dicha corriente.

Ley de inducción de Faraday

Cualquier material que conduzca una corriente y se encuentre dentro de un campo magnético, experimentará una fuerza

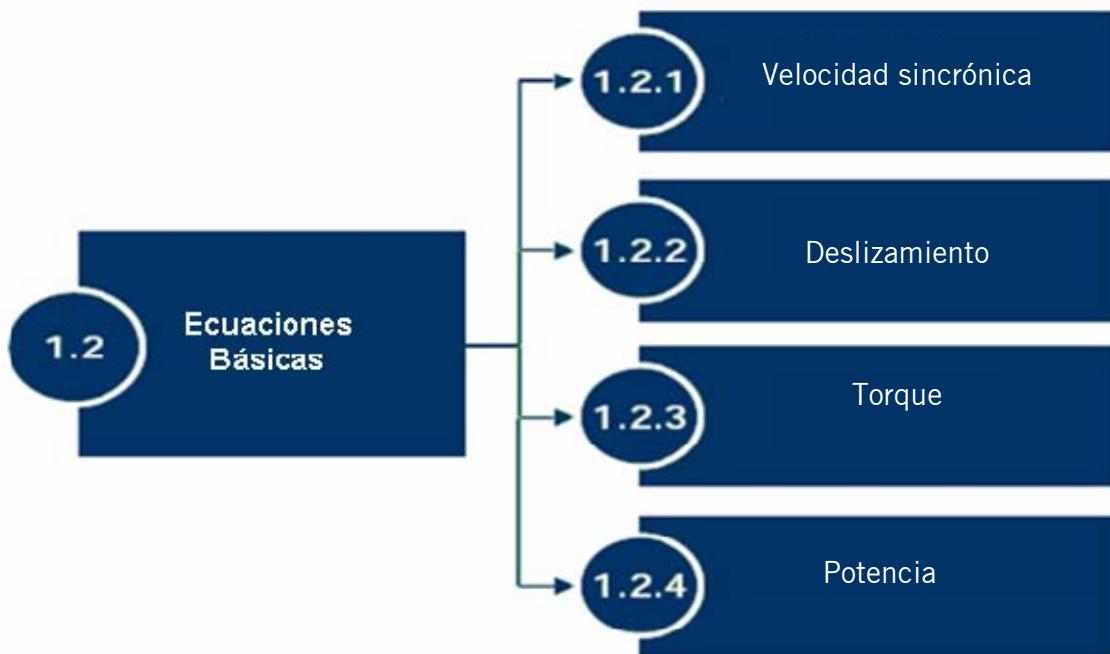
Ley de Biot y Savart

La magnitud de un voltaje inducido dentro de un campo magnético es proporcional a la velocidad con que corte las líneas.

## 1.2 Ecuaciones básicas

### Presentación

A continuación se detallan las ecuaciones generales para comprender el funcionamiento de los motores asincrónicos de CA.



#### 1.2.1. Velocidad sincrónica

La velocidad a la que gira un campo magnético se le conoce como velocidad sincrónica. La fórmula que se emplea para calcular la velocidad sincrónica es:

$$N_s = \frac{60 \times f}{P}$$

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

Donde:

**N<sub>s</sub>**: Velocidad sincrónica en RPM.

**f**: Frecuencia de alimentación en Hertz (Hz).

**P**: Número de pares de polos.

**P**: Número de polos del motor.

**EJEMPLO**

Si se aplica esta ecuación para un motor de 4 polos (2 pares), alimentado por un suministro de CA cuya frecuencia es 60 Hz, se tiene:

$$N_s = \frac{60 \times f}{P} = \frac{60 \times 60 \text{ Hz}}{2} = 1800 \text{ RPM}$$

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 60 \text{ Hz}}{4} = 1800 \text{ RPM}$$

Así como para 2 polos se tiene 3600 RPM, para 6 polos 1200 RPM, para 8 polos 900 RPM y para 10 polos 720 RPM.

Si se aplica esta ecuación para un motor de 4 polos (2 pares), alimentado por un suministro de CA cuya frecuencia es 50 Hz, se tiene:

$$N_s = \frac{60 \times f}{P} = \frac{60 \times 50 \text{ Hz}}{2} = 1500 \text{ RPM}$$

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50 \text{ Hz}}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

Así como para 2 polos se tiene 3000 RPM, para 6 polos 1000 RPM, para 8 polos 750 RPM y para 10 polos 600 RPM.

**ATENCIÓN**

El rotor del motor de CA de inducción gira a una velocidad ligeramente menor a la velocidad sincrónica

### 1.2.2. Deslizamiento

Si el rotor girara a la misma velocidad que la del campo magnético, el devanado del rotor no cortaría líneas de flujo (un requisito para que haya voltaje inducido, por Ley de Faraday), por lo que no habría voltaje inducido. Si el voltaje inducido en el rotor es 0, entonces no habría corriente y no habría fuerza o par para hacerlo girar.

A la diferencia que existe entre la velocidad sincrónica y la velocidad del motor se le conoce como deslizamiento, el cual se expresa en por ciento de la velocidad sincrónica. El deslizamiento se calcula con la siguiente fórmula.

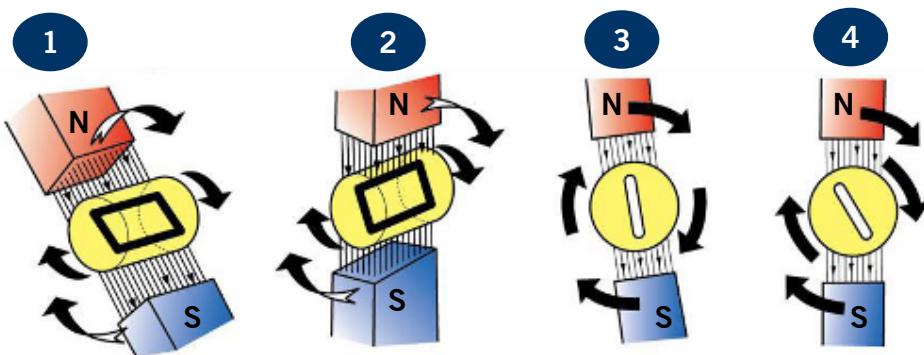
$$S = \frac{N_s - N_0}{N_s} \times 100$$

Donde:

S: Deslizamiento.

N<sub>s</sub>: Velocidad sincrónica en RPM.

N<sub>0</sub>: Velocidad de operación en RPM.



1. El campo y el rotor giran a igual velocidad. No se induce energía en el rotor.
2. Deslizamiento. El rotor gira a menor velocidad que el campo.
3. El deslizamiento del rotor hace que el campo atraviese el conductor del rotor. Se introduce energía porque la velocidad del campo del estator es mayor que la del rotor.
4. Deslizamiento.

#### Deslizamiento de un motor asincrónico

**EJEMPLO**

Un motor de CA de 4 polos que tiene una cierta velocidad a plena carga, presenta un deslizamiento de:

$f=60 \text{ Hz}$  y  $1725 \text{ RPM}$

$$S = \frac{n_s - n_0}{n_s} \times 100$$

$$S = \frac{1800 - 1725}{1800} \times 100 = 4.16\%$$

$f= 50 \text{ Hz}$  y  $1437 \text{ RPM}$

$$S = \frac{n_s - n_0}{n_s} \times 100$$

$$S = \frac{1500 - 1437}{1500} \times 100 = 4.2\%$$

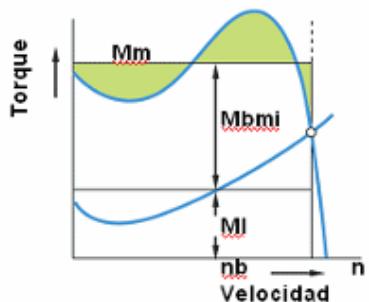
**ATENCIÓN**

Los datos de placa del motor se presentan en sus condiciones nominales, esto es, la velocidad de placa será la velocidad que presentará el motor a plena carga (100% de la corriente nominal) y que a menores cargas mecánicas el motor tendrá una velocidad superior, pero siempre inferior a su velocidad sincrónica.

**1.2.3. Torque**

La fuerza (par o cupla) que actúa sobre un conductor es proporcional al campo magnético ( $f$ ) y a la corriente ( $I$ ) en el conductor. En las barras del rotor se induce voltaje por medio del campo magnético giratorio. Debido a este voltaje, una corriente puede fluir a través de las barras del rotor en cortocircuito.

Las fuerzas existentes en las barras del rotor desarrollan el torque ( $M$ ) en el eje del motor. Debido a que el campo magnético se puede considerar como constante, el torque es directamente proporcional a la corriente del rotor.



$M_m = \text{par/torque motor}$

$M_i = \text{par/torque resistente}$

$M_{bmi} = \text{par/torque medio de aceleración}$

$n_b = \text{Velocidad de rotación de servicio}$

**Ecuaciones generales**

El torque se calcula de la siguiente manera:

$$M = K_1 R \times \phi \times I$$

Donde:

M: Torque/par/cupla [Nm] o [kgm].

K1: Constante.

R: Resistencia del rotor

Φ: Campo magnético.

I: Corriente

El voltaje inducido en el rotor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V = K_{21} \times (N_0 - N_n)$$

Donde:

V: Voltaje inducido.

K21: Constante.

Ns: Velocidad sincrónica en RPM.

No: Velocidad de operación en RPM.

Asimismo, la corriente en el rotor se calcula:

$$I = V/R$$

$$I = (K_{21} \times S)/R$$

$$I = K_{22} \times S$$

Donde:

I: Corriente.

V: Voltaje inducido.

R: Resistencia del rotor.

Kn: Constante.

S: Deslizamiento.

Y la resistencia como constante (K22), se obtiene de la siguiente manera:

$$I = K_{22} \times S$$

Donde:

I: Corriente.

K22: Constante.

S: Deslizamiento.

A partir de la relación de corriente se obtiene que entre el torque y el deslizamiento del motor existe una relación proporcional y esto se observa en la siguiente expresión:

$$M = K_1 \times \phi \times I$$

$$M = (K \times \phi) \times (K_{22} \times S)$$

Donde:

M: Torque/par/cupla [Nm] o [kgm].

K1: Constante.

Ø Campo magnético.

K22: Constante.

I: Corriente.

S: Deslizamiento

Al realizar la operación de  $K_3 = (K_1 \times f) \times K_{22}$ , se obtiene la relación proporcional siguiente:

$$M = K_3 \times S$$

Donde:

M: Torque/par/cupla [Nm] o [kgm].

K3: Constante.

S: Deslizamiento

De esta expresión se observa que el torque depende en gran medida de la resistencia del rotor. A mayor resistencia mayor torque. El torque del motor expresa la fuerza que existe sobre el eje del motor.

Si se aplica una fuerza a un elemento circular de radio (r), el torque que se obtiene al aplicar dicha fuerza es igual a:

Donde:

M: Torque/par/cupla [Nm] o [kgm].

F: Fuerza.

r: Radio.

$$M = F \times r$$

El trabajo (W) realizado por el motor se puede calcular de la siguiente manera:

Donde:

W: Trabajo.

F: Fuerza.

d: Distancia

$$W = F \times d$$

El término d se obtiene de la siguiente expresión:

Donde:

d: Distancia.

n: Número de revoluciones

$$d = n \times 2 \times \pi$$

El trabajo también puede expresarse como las veces o el tiempo (t) en que es aplicada una potencia (P) y se obtiene la siguiente expresión:

Donde:

W: Trabajo.

P: Potencia [kW] o [CV].

t: Tiempo

$$W = P \times t$$

### 1.2.4 Potencia

Uno de los datos de placa de un motor de inducción de CA es su potencia, la cual generalmente se expresa en HP y que permite relacionar el par y la velocidad disponibles en el eje (flecha) del motor. La ecuación de potencia es:

$$HP = \frac{M \times N}{5250}$$



#### GLOSARIO

**Caballo de fuerza:**

Unidad de potencia de una máquina, que representa el esfuerzo necesario para levantar en forma vertical un peso de 33000 libras a razón de 1 pie/minuto. Equivale a 745,6999 W.



#### EJEMPLO

Se considera el caso de un motor de 150 HP, con una velocidad de placa (N) de 1725 RPM, el par nominal (T) de este motor será de:

$$M = \frac{5250 \times hp}{N} = \frac{5250 \times 150}{1725} = 456.52 \text{ lb-ft}$$

Así, este motor será capaz de entregar un par de 456.52 lb-ft a su velocidad nominal (1725 RPM), para lo cual tomará el 100% de la corriente de armadura (corriente de armadura nominal en placa).

A partir de las fórmulas anteriores se puede establecer una fórmula que exprese la relación existente entre la velocidad (RPM), el torque (lb-ft) y la potencia del motor (HP). De esta manera se puede escribir lo siguiente:

Donde:

F: Fuerza.

r: Radio.

HP: Horse Power.

d: Distancia.

P: Potencia.

t: Tiempo.

n: Número de revoluciones

$$M = F \times r = \frac{HP \times r}{d} = \frac{P \times t \times r}{n \times 2 \times \pi \times r}$$

La potencia de un motor también puede estar dada por estas dos unidades: kW: Kilowatt o kilovatio. CV: Caballos de vapor.

La equivalencia entre cada una de estas unidades y los HP (Horse Power – caballos de fuerza) son las siguientes:

EQUIVALENTES DE POTENCIA			
UNIDADES EN POTENCIA	KV	CV	HP
<b>KV</b>	1	1.360	1.341
<b>CP</b>	.7355	1	.9863
<b>HP</b>	.7457	1.014	1

El eje de un motor que gira a una velocidad ( $n$ ) transmite un par o cupla ( $M$ ). Con estas dos magnitudes y mediante la siguiente fórmula se conoce la potencia mecánica que desarrolla la máquina.

$$\begin{aligned} P &= N \times M \\ &9.55 \\ P &= 0.104 \times N \times M^0 \end{aligned}$$

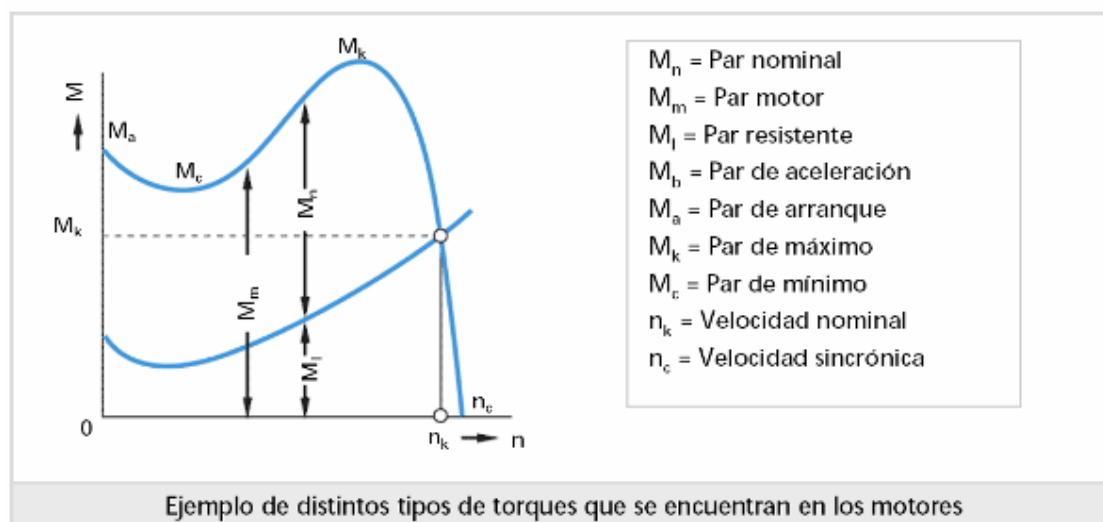
Donde:

P: Potencia W (watt).

N: Velocidad de rotación RPM (revoluciones por minuto).

M: Cupla o par Nm(Newton – metro) o kgm(kilogramo – metro).

Las dimensiones de un motor vienen determinadas por el momento de su par, por lo tanto, máquinas de igual par presentarán dimensiones aproximadamente iguales.



**ACTIVIDAD. 3 ¿Quién sabe?**

Este ejercicio permite repasar los conceptos básicos de los motores asincrónicos.

Leer las preguntas y responder brevemente.

1 ¿Que son los motores asincrónicos ?

---

---

2 ¿Que es el principio de inducción magnética?

---

---

3 ¿Cuál es la diferencia que presentan los motores de CC respecto a los de CA?

---

---

4 ¿Cuántos grados se desplaza el campo magnético al completarse un ciclo de CA?

---

---

5 ¿Cuál es la diferencia de fase entre las tres ondas de intensidad aplicadas a un estator trifásico?

---

---

6 ¿Cuándo se produce un campo magnético giratorio en los motores de CA trifásicos?

---

---

7 ¿Que ecuación se utiliza para relacionar el par y la velocidad disponibles en el eje (flecha) del motor?

---

---

8 ¿Qué se entiende por deslizamiento?

---

---

9 ¿Cómo gira el rotor del motor de CA respecto a la velocidad sincrónica?

---

---

¡Felicitaciones! Usted ha finalizado el capítulo 1.  
A continuación se desarrollará el capítulo introducción a los motores asincrónicos



# Introducción a motores asincrónicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 2

---

<b>2.1 Motores monofásicos</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Motores bifásicos</b>	<b>28</b>
<b>2.3 Motores trifásicos</b>	<b>30</b>
<b>2.4 Componentes</b>	<b>32</b>

Este capítulo presenta distintos tipos de motores asincrónicos y describe sus características y componentes.



## 2.1 Motores Monofásicos

### Descripción

Los motores de inducción se diseñan para funcionamiento monofásico, bifásico o trifásico. En todos los casos la CA aplicada al estator debe generar un campo magnético giratorio que arrastre consigo al rotor.

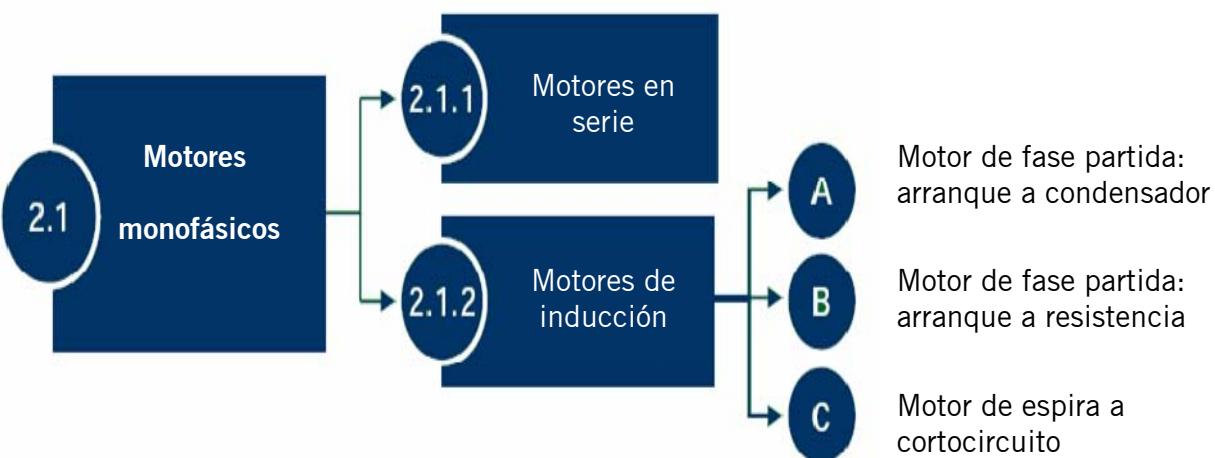
El motor de inducción monofásico sólo **consta de una fase y funciona con CA monofásica**. Este motor se utiliza ampliamente en trabajos que requieren motores pequeños de poca fuerza. La ventaja de los motores monofásicos radica en que los tamaños chicos son menos costosos de fabricar que los de otros tipos. Además suprimen la necesidad de líneas de CA trifásica.

### EJEMPLO



Los motores monofásicos se utilizan en equipos de comunicaciones, ventiladores, heladeras, perforadoras portátiles, pulidoras, etc.

Los motores monofásicos se dividen en dos grupos:



**2.1.1. Motores en serie**

Se caracterizan por su apariencia similar a las máquinas de CC respecto a sus colectores y escobillas.

**2.1.2. Motores de inducción**

Presentan un rotor en jaula de ardilla y un dispositivo de arranque adecuado.

Debido a que no es sencillo accionar manualmente el motor monofásico, es necesario incorporarle **un dispositivo eléctrico** en el circuito del estator para que produzca un campo giratorio en el arranque.

Una vez que el motor funciona, este dispositivo puede ser separado del estator, pues el rotor y el estator generan entre sí su propio campo rotativo para mantener al motor en funcionamiento.

El motor dotado de dispositivo de arranque se llama **motor de inducción de fase partida** y emplea las siguientes combinaciones para desarrollar un campo giratorio:

- De inductancia.
- De capacitancia.
- De resistencia.

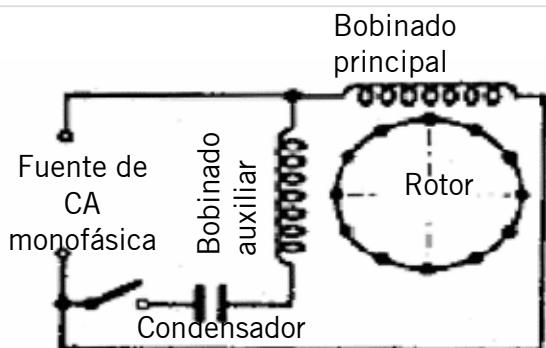
**A. Motor de fase partida: arranque a condensador**

El motor de arranque a condensador típico es un tipo de motor de fase partida. Su estator consta de un bobinado principal y de un bobinado de arranque conectados en paralelo y situados en ángulo recto.

La diferencia de fase eléctrica de  $90^\circ$  entre ambos bobinados se obtiene conectando el bobinado auxiliar en serie con un condensador y un interruptor de arranque. Para poner en marcha el motor se cierra el interruptor y se coloca al condensador en serie con el bobinado auxiliar. El condensador tiene una capacidad tal que el bobinado auxiliar forma con él un verdadero circuito resistivo-capacitivo en el cual la corriente adelanta a la tensión de línea en  $45^\circ$  aproximadamente.

El bobinado principal tiene inductancia suficiente como para que la corriente atrase a la tensión de línea en  $45^\circ$  aproximadamente. Por lo tanto, las dos intensidades están fuera de fase en  $90^\circ$ , y sucede lo mismo con los campos magnéticos que generen. Esto hace que ambos bobinados actúen como un motor bifásico y produzcan el campo giratorio necesario para poner en marcha el motor.

Una vez alcanzada la velocidad normal, un dispositivo desconecta el bobinado de arranque y el motor funciona como motor de inducción monofásico puro.



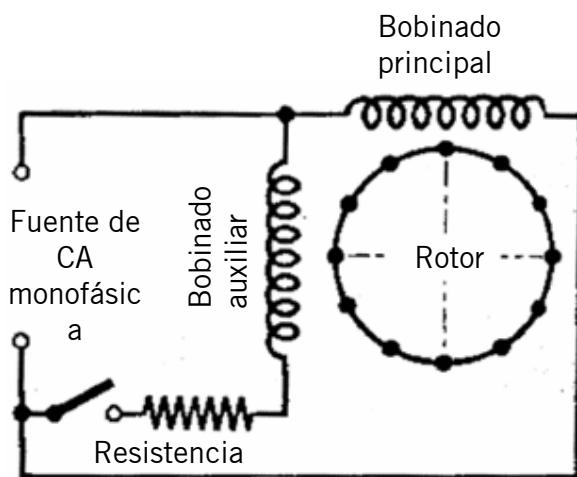
Como el bobinado especial de arranque es muy chico, el motor no desarrolla suficiente torsión para poner en marcha cargas pesadas. Por eso los motores monofásicos sólo son de pequeño tamaño.

### Arranque a condensador del motor de inducción de fase partida

#### B. Motor de fase partida: arranque a resistencia

Otro tipo de motor de inducción de fase partida es el de arranque a resistencia. Este motor, además del bobinado principal de siempre, cuenta con un bobinado de arranque que se conecta y desconecta con el circuito de la misma manera que el motor de arranque a condensador.

El bobinado de arranque está en ángulo recto con el bobinado principal. El cambio de fase entre las corrientes de los dos bobinados se obtiene haciendo que la impedancia de los bobinados sea desigual



El bobinado principal tiene gran inductancia y poca resistencia. Por lo tanto, la intensidad atrasa a la tensión en un ángulo grande. Aquí la intensidad tiene un ángulo de retraso menor con respecto a la tensión.

### Arranque a resistencia del motor de inducción de fase partida



## EJEMPLO

Supongamos que la corriente del bobinado principal está retrasada  $70^\circ$  con respecto al voltaje, mientras que la intensidad del bobinado secundario tiene un retardo de  $40^\circ$ . Por lo tanto, entre ambas corrientes habrá una de fase de  $30^\circ$ , de manera que los campos magnéticos tendrán una diferencia de fase de la misma magnitud. Si bien la diferencia angular de fase ideal es de  $90^\circ$  para obtener un par de arranque máximo, la diferencia de fase de  $30^\circ$  alcanzará para generar un campo magnético rotativo capaz de suplir torsión suficiente como para poner en marcha el motor. Cuando el motor adquiere velocidad, un interruptor centrífugo desconecta de la línea el bobinado de arranque.

### C. Motor de espira a cortocircuito

El motor de inducción con espira en corto-círculo es un motor monofásico que emplea un método poco común para poner en marcha el rotor. El efecto de un campo magnético giratorio se logra construyendo el estator de manera especial. Este motor tiene piezas polares salientes como las máquinas de CC.

Ciertas porciones de las superficies de las piezas polares están cubiertas por una banda de cobre. En el grabado aparece la pieza polar con la banda en su sitio. La banda desplaza el campo hacia uno u otro lado de la pieza polar de la siguiente manera:

Aumento de intensidad desde  $0^\circ$

Cuando el campo alterno del estator empieza a aumentar su intensidad desde  $0^\circ$ , las líneas de fuerza se expanden a través de la cara de la pieza y también cruzan la banda. En la banda se induce una corriente que genera un campo contrario a la acción del campo principal.

Aumento de intensidad hasta  $90^\circ$

A medida que el campo aumenta hasta el valor máximo de  $90^\circ$  una gran porción de las líneas de fuerza magnética se concentra en la parte del polo desprovista de banda. Como las líneas de fuerza han cesado su expansión, no se induce fuerza electromotriz en la banda y no genera campo contrario. A raíz de esto el campo principal se distribuye desigualmente a través del polo.

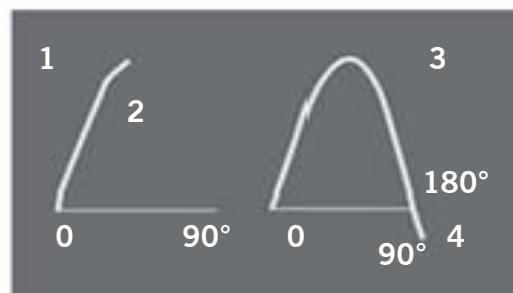
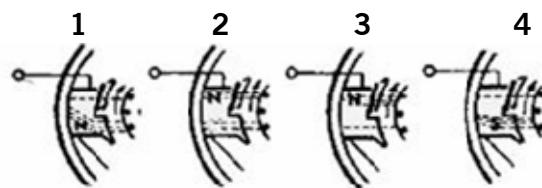
Aumento de intensidad de  $90$  a  $180^\circ$

De  $90$  a  $180^\circ$  el campo empieza a decrecer o a contraerse hacia adentro

Tal como se observa en la siguiente figura, el campo antagónico generado en la banda se opone al campo de contracción y concentra las líneas de fuerza en la porción obstruida de la cara polar.

En los diagramas se observa que de 0 a 180° el campo principal se ha desplazado de izquierda a derecha en la cara polar. De 180 a 360° el campo principal experimenta el mismo cambio que de 0 a 180° pero en sentido inverso.

Como el sentido del campo no afecta la forma en que funciona el polo obstruido, el movimiento del campo en la segunda mitad del ciclo será el mismo que en la primera mitad.



#### Movimiento del rotor con espira a cortocircuito

El movimiento del campo de izquierda a derecha produce una débil torsión que pone en marcha el motor. Debido a su débil torsión, estos motores se hacen de tamaños pequeños para accionar pequeños dispositivos.

#### EJEMPLO



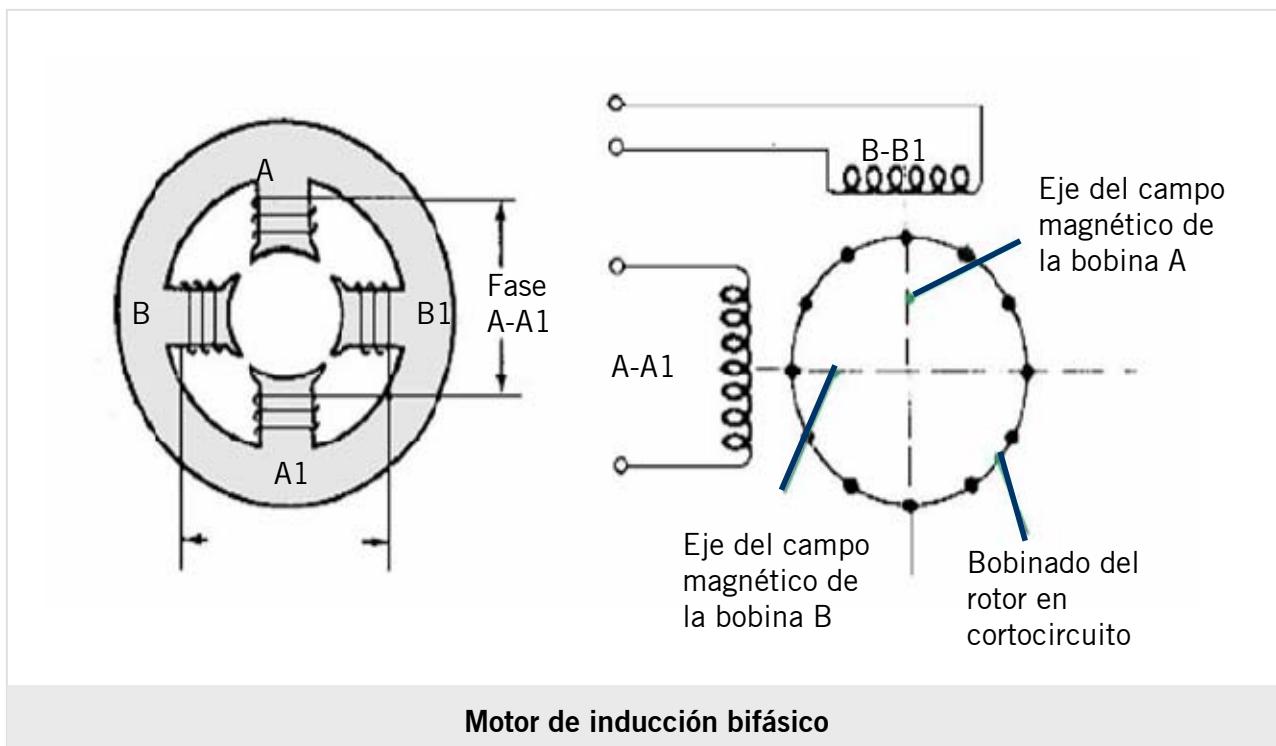
Algunos motores monofásicos con espira a cortocircuito son los ventiladores.

## 2.2 Motores Bifásicos

### Descripción

El estator del motor de inducción bifásico consta de dos bobinados colocados en ángulo recto. En la siguiente figura se presenta un estator bifásico.

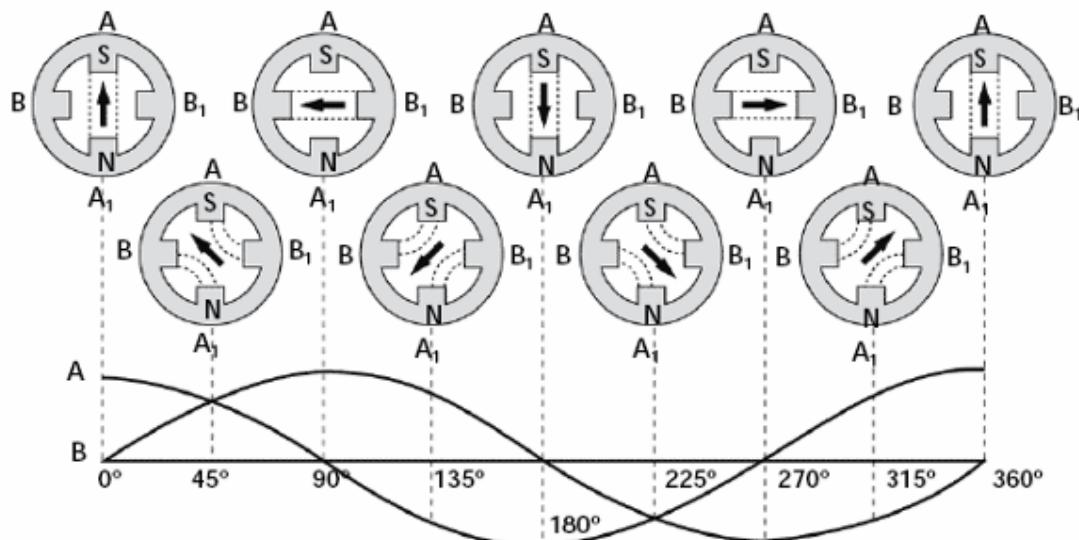
El esquema del lado derecho corresponde a un motor de inducción bifásico. El círculo con puntos representa el bobinado del rotor en cortocircuito.



Motor de inducción bifásico

Si las tensiones aplicadas a las fases A-A y B-B1 están fuera de fase en  $90^\circ$ , las corrientes que circulan por las fases estarán desplazadas en  $90^\circ$ . Como los campos magnéticos generados en las bobinas estarán en fase con diferencia de  $90^\circ$ , estos dos campos magnéticos, cuyos ejes de las bobinas están en ángulo recto, sumarán su acción en todo momento durante su ciclo para producir un campo resultante que recorrerá una revolución por cada ciclo de CA.

Al colocar dos bobinados en ángulo recto entre sí y excitarlos con tensiones de una diferencia de fase de  $90^\circ$ , se produce un campo magnético giratorio.



Producción de un campo magnético giratorio básico

## 2.3 Motores Trifásicos

### Descripción

Los motores asincrónicos o de inducción trifásicos de CA son y han sido los motores eléctricos más utilizados. Sus principales ventajas son:

- Requieren poco mantenimiento.
- Operan directamente con las fuentes de suministro de CA.

### EJEMPLO



Los motores trifásicos son la opción más económica en aplicaciones de velocidad constante, tales como bombas, bandas transportadoras, ventiladores, etc.

Actualmente, con la disminución de los precios de los semiconductores, se han diseñado dispositivos (inversores) que procesan el suministro de CA y entregan a su salida también CA, pero de frecuencia ajustable.

Esto ha abierto también las aplicaciones de velocidad variable a motores de CA. Las nuevas aplicaciones de inversores con motores de CA han permitido operar con altas eficiencias y a un muy buen factor de potencia.

El motor asincrónico es de un tipo especial, **está diseñado para funcionar con CA** y está **construido con devanados y polos de campo que permanecen estacionarios**, es decir, el estator. Como esos polos de campo se conectan a una CA, la polaridad de las bobinas cambiará periódicamente, de acuerdo con la frecuencia de la corriente. Por lo tanto, habrá una fuerza de atracción entre las dos bobinas.

En el motor asincrónico, esas bobinas secundarias están montadas en ranuras de una armadura laminada que recibe el nombre de rotor.

En el siguiente capítulo se profundizará sobre las características que presentan los motores asincrónicos trifásicos.

**ACTIVIDAD. 4 Verdadero / Falso**

Este ejercicio permite verificar la comprensión sobre los distintos tipos de motores asincrónicos

Lea cada una de las siguientes afirmaciones e indicar si es verdadera o falsa



**1** En el motor de inducción de fase partida de arranque, la resistencia bobinado de arranque y el bobinado principal se ubican en paralelo.

- A) Verdadero
- B) Falso

**2** En los motores bifásicos el campo magnético giratorio se produce al colocar dos bobinados en ángulo recto entre sí y excitarlos con tensiones de una diferencia de fase de 90°.

- A) Verdadero
- B) Falso

**3** Los motores trifásicos están diseñados para operar directamente con las fuentes de suministro de CA.

- A) Verdadero
- B) Falso

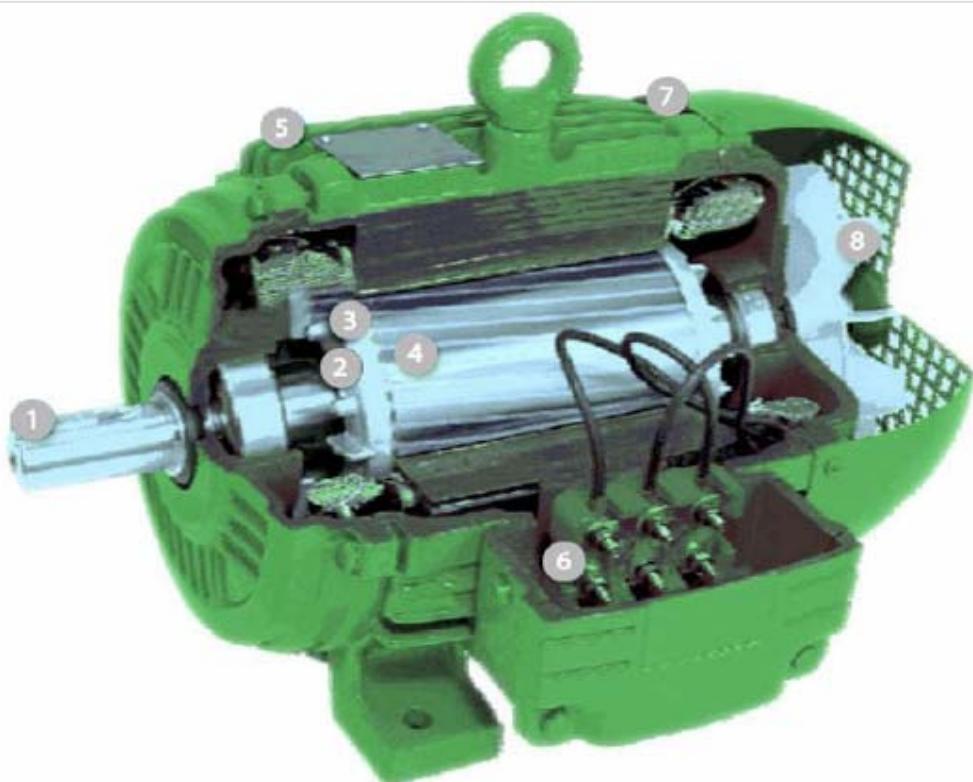
**4** El estator está formado por bobinas secundarias montadas en ranuras de una armadura laminada.

- A) Verdadero
- B) Falso

## 2.4 Componentes

### Presentación

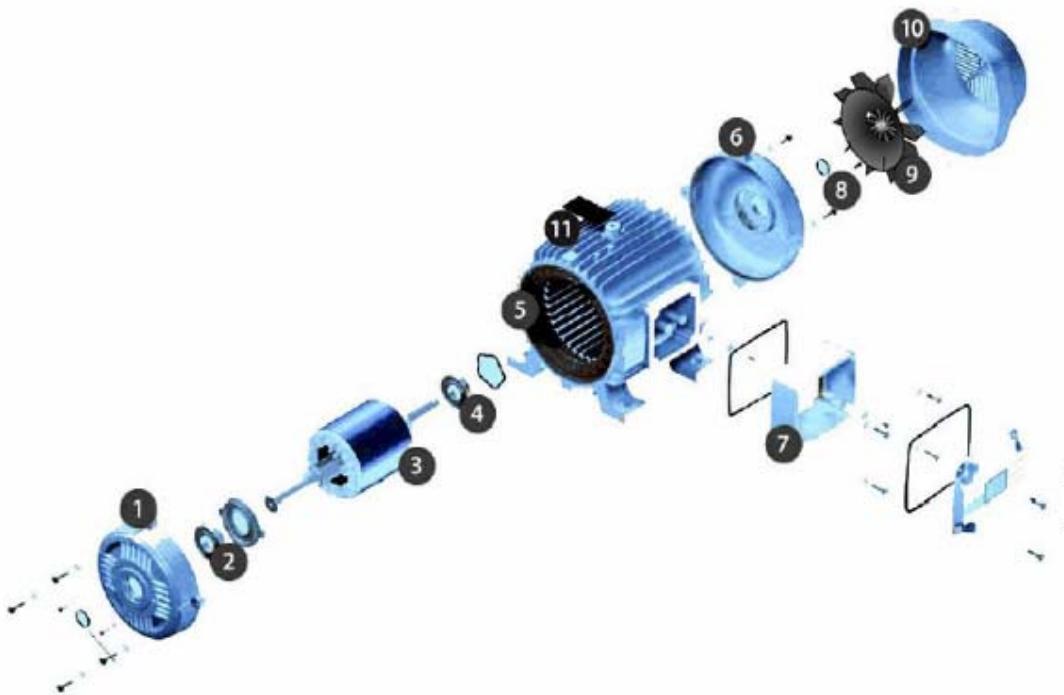
Básicamente un motor de CA está formado por un **estator** y un **rotor**. En la figura se presenta un motor típico de CA.



- 1. Eje
- 2. Estator
- 3. Devanado del Estator
- 4. Rotor

- 5. Placa de datos
- 6. Caja de bornes
- 7. Carcasa
- 8. Ventilador

Componentes de un motor asincrónico

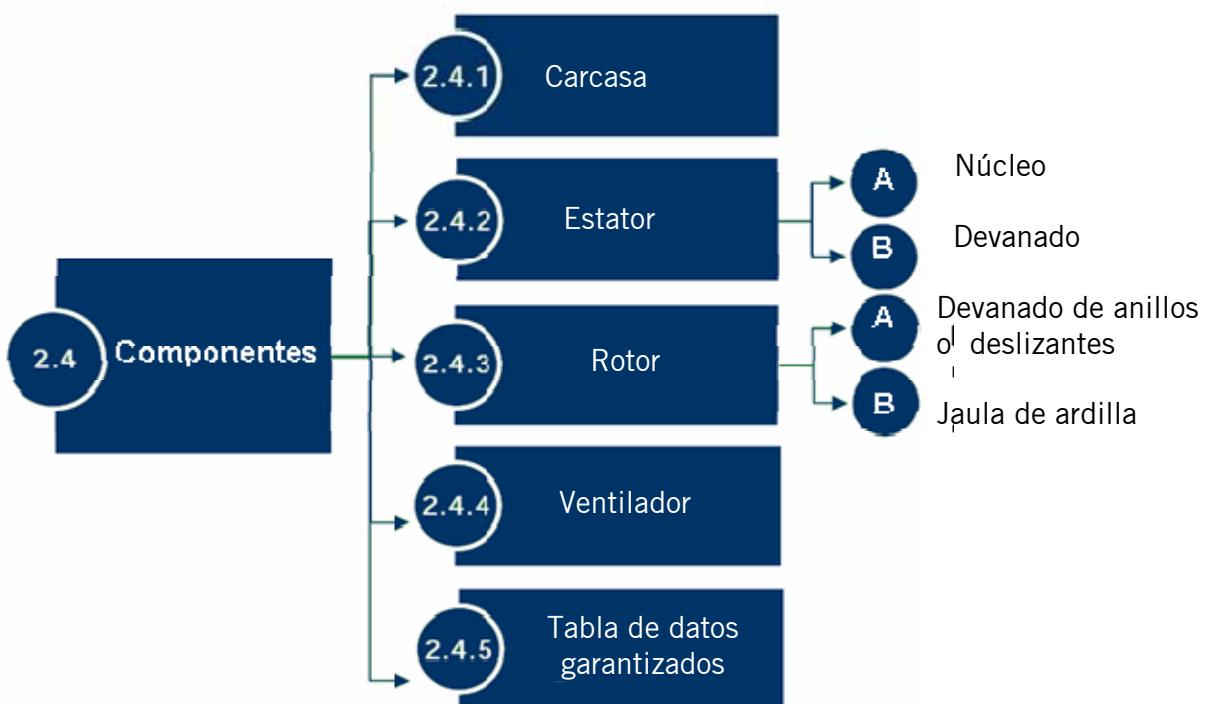


- 1. Tapa delantera
- 2. Rodamiento
- 3. Rotor
- 4. Rodamiento
- 5. Estator

- 6. Tapa trasera
- 7. Caja de conexiones
- 8. Anillo V Ring
- 9. Ventilador
- 10. Tapa deflectora
- 11. Carcasa

### Componentes de un motor asíncrono

En el siguiente esquema se presentan los componentes de un motor asincrónico que se describirán a continuación



#### 2.4.1. Carcasa

La carcasa ofrece soporte mecánico y protección al motor, está formada por un cilindro de acero o laminaciones con patas de aceros soldadas. El interior y los extremos del cilindro son maquinados



Carcasa

Según la naturaleza de aplicación del motor, la carcasa puede ser:

- De propósitos generales (NEMA 1).
- A prueba de goteo (NEMA 2).
- Servicio intemperie (NEMA 3).
- Hermético al agua y al polvo (NEMA 4).
- Sumergible y hermético (NEMA 6).
- A prueba de gases explosivos (NEMA 7, 8 y 9).
- Uso industrial (NEMA 12 y 13).

#### GLOSARIO

##### NEMA:

Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (National Electrical Manufacturers Associations) que ajusta y provee estándares para un amplio rango de productos eléctricos, entre ellos los motores. Los estándares representan prácticas generales para la industria



Es posible que algunos motores grandes no estén bajo los estándares de la NEMA y son construidos para satisfacer los requerimientos de aplicaciones específicas, estos motores son nombrados por encima de la NEMA (I above NEMA).

#### 2.4.2 Estator

El propósito del estator es **contener los elementos que producen el campo magnético giratorio.**

El estator contiene todas las partes del motor que se mantienen estáticas (no se mueven), las cuales son el **núcleo y devanado**.

##### A. Núcleo

El núcleo está **formado por laminaciones ranuradas de acero al silicio** que se encuentran apiladas y remachadas entre sí. El núcleo se coloca en la parte interna de la carcasa.



Núcleo

El hecho de que el núcleo se conforme de laminaciones y no de una pieza sólida, se debe a que de esta forma se reducen sus pérdidas. Las laminaciones se fabrican de acero al silicio para asegurar una baja resistencia al flujo magnético que va a pasar a través de ellas.

El estator deberá estar lo más cerca posible del rotor y en esta forma reducir el tamaño del entrehierro (aire entre el núcleo y el rotor) el cual presenta una alta oposición al paso de las líneas de flujo magnético.

## B. Devanado

Una vez ensamblados el núcleo y la carcasa, se coloca el devanado formado prácticamente por un conjunto de **bobinas simples que integran la parte eléctrica del estator**.

Las bobinas están constituidas por un conductor que es arrollado sobre sí con un número previsto de vueltas. Este conductor elemental está formado, en la mayoría de los casos, por uno o varios alambres de cobre cubiertos con una fina películas de esmalte aislante (alambre magneto).

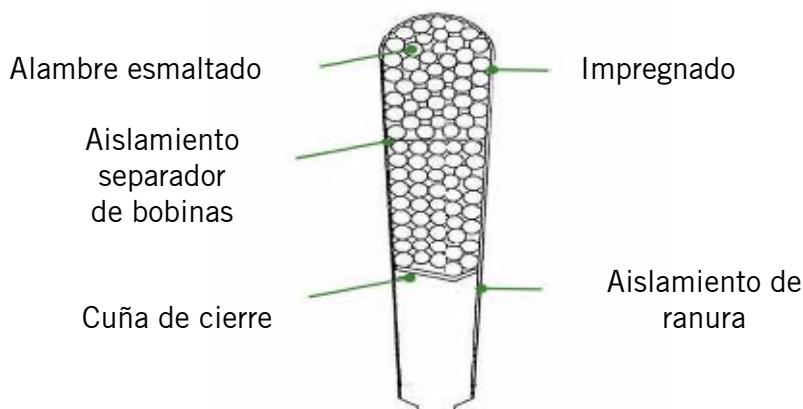
Las bobinas se colocan en las ranuras del núcleo. Un grupo de bobinas consta de una, dos o más bobinas simples que no están conectadas entre sí.

El devanado del estator de los motores de CA es un devanado distribuido, es decir, sus bobinas no se instalan alrededor de masas polares como en el caso de los motores de CC.



Estator con desvenado distribuido

De acuerdo al diseño de cada motor y a las características deseadas, se hace la conexión interna de los grupos de bobina a los cables que habrán de servir de terminales (la mayoría de las ocasiones por medio de soldadura). Al final de dichos cables se ensamblan zapatas de cobre que forman las terminales alojadas en la caja de conexiones y se encargan de transformar la energía eléctrica.



Partes del devanado del estator

## Aislamiento de ranura y de fase

Para **impedir cualquier contacto entre las bobinas y el núcleo**, se insertan aislamientos que se amoldan a la periferia de las ranuras.

En los devanados a dos capas, para prevenir posibles corto circuitos entre los dos lados de bobina que alberga cada bobina, se sitúa un aislamiento intermedio conocido como **separador de ranura**.

También para mayor seguridad de aislamiento entre las cabezas de bobina de las diferentes fases o entre aquellas y el hierro, se disponen aislamientos que separan dichas partes y se les conoce como **aislamientos separadores de fase**.

Los materiales que se utilizan como aislamientos de ranura, separador de ranura y separador de fase, son compuestos laminares que pueden ser cortados y doblados fácilmente para adquirir la forma conveniente en cada caso.

## Cuñas de cierre o aislamientos de cuña

Para que **los lados de las bobinas no se salgan de las ranuras semiabiertas del estator**, se cierran con unas cuñas.

El material de que están construidas las cuñas también está de acuerdo con la clasificación de aislamientos y además debe tener una mayor resistencia al corte, al doblez y a ligeras presiones.

## Impregnado

Una vez que se han colocado las bobinas al núcleo, que se han conectado y que se han hecho las pruebas preliminares y de inspección, es muy importante someterlo a una **impregnación con barniz aislante**.

La impregnación de los arrollamientos o devanados mediante barnices aislantes tiene como objetivo:

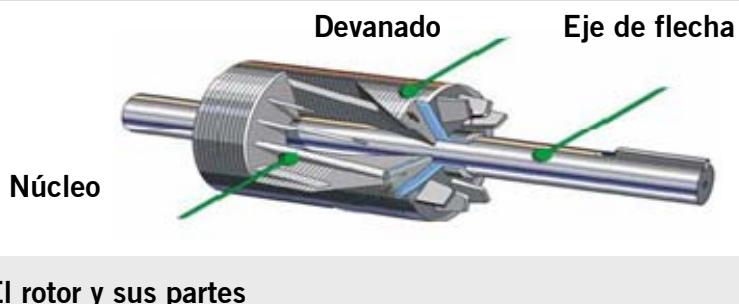
- Mejorar el aislamiento y protegerlo de la humedad.
- Favorecer la disipación del calor desarrollado en los arrollamientos al llenar todas las cavidades de aire (que es un mal conductor del calor).
- Dar rigidez mecánica al conjunto del arrollamiento y protegerlo de la acción de influencias exteriores (vapores corrosivos, bacterias, etc.)

Además de las esenciales características aislantes es imprescindible que el barniz tenga las siguientes propiedades: estabilidad térmica, resistencia al desgaste, buena conductividad térmica, máxima penetración, mínima contracción, elasticidad, resistencia a la humedad, ácidos, etc.

### 2.4.3. Rotor

El rotor es la parte del motor que contiene los **componentes de la máquina que tienen la capacidad de girar**. Estos son:

- El eje (flecha).
- El núcleo.
- El devanado.



El rotor y sus partes

#### Eje flecha

Permite transmitir el movimiento del motor a la carga y soporta al núcleo y sus devanados. Está hecho de un material metálico muy resistente el cual normalmente es acero.

#### Núcleo

Puede estar formado de laminaciones ranuradas de acero magnético (que se encuentran apiladas una tras otra) o bien de una sola pieza cilíndrica ranurada. El acero magnético se emplea para establecer un camino de baja resistencia por donde pasan las líneas de flujo magnético. El núcleo del rotor se coloca (a presión) en el eje (flecha)

#### Devanado

Se encuentra en el núcleo del rotor.

El rotor se encuentra montado en el eje del motor y está hecho, al igual que el estator, de placas de hierro las cuales tienen ranuras. El rotor puede ser de dos tipos:

- A. Devanado o anillos deslizantes.
- B. Jaula de ardilla

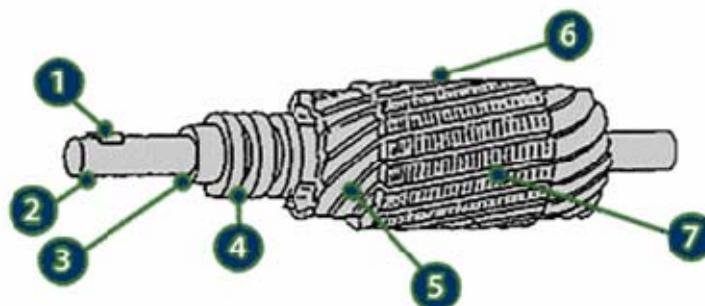
La diferencia entre estos dos tipos de rotor consiste en que tienen diferentes devanados en las ranuras.



Rotor de Jaula de ardilla

#### A. Devanado o anillos deslizantes

El rotor devanado o de anillos deslizantes, al igual que el estator, se construye por devanados, los cuales se encuentran colocados en las ranuras. Para cada fase existe un devanado que se conecta a un anillo deslizante. Si los anillos deslizantes entran en cortocircuito, el rotor trabajará como un rotor jaula de ardilla.



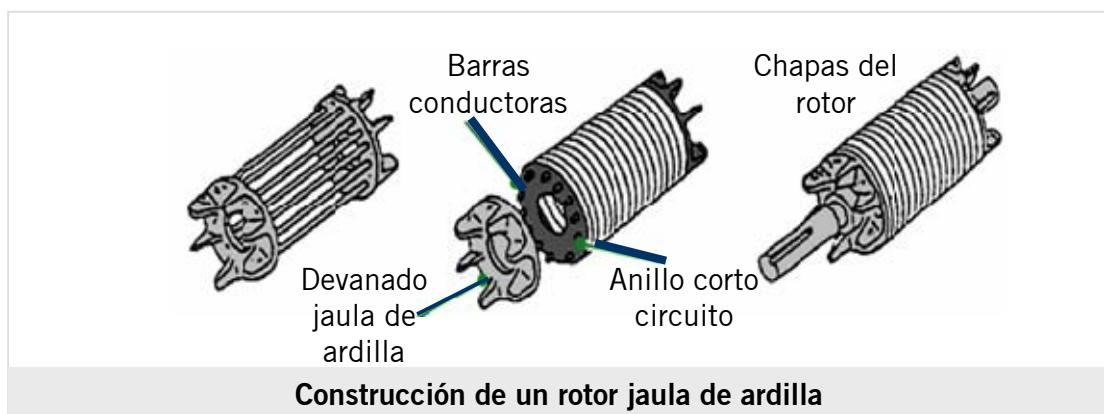
- 1. Chaveta
- 2. Eje
- 3. Porta anillos
- 4. Anillos rozantes

- 5. Cabeza de bobina del bobinado rotórico
- 6. Paquete de chapas
- 7. Canales del rotor

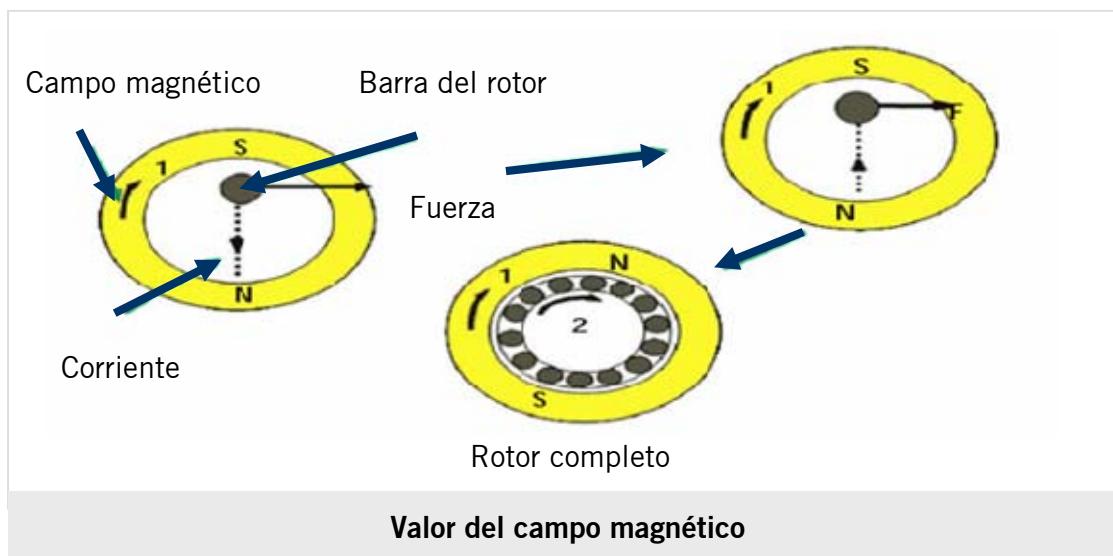
Partes de un rotor devanado

## B. Jaula de ardilla

El rotor más común de los motores de CA recibe el nombre de jaula de ardilla debido a que la forma en que se coloca su devanado se asemeja a una jaula de ardilla. Está compuesto de barras de cobre o aluminio conectadas entre sí. Las barras tienen sus extremos unidos a anillos conductores por medio de soldadura y en esta forma se tiene un circuito cerrado por el cual puede fluir corriente eléctrica. Debido a su construcción, el rotor jaula de ardilla se considera un **devanado con resistencia constante**



Si una barra del rotor se coloca en el campo magnético se verá afectada por los polos magnéticos, como se observa:



El campo magnético de cada polo induce una corriente en la barra del rotor, por lo tanto, la barra se ve afectada por una F (Fuerza).

El siguiente polo que afecta a la barra del rotor es de polaridad opuesta, éste induce una corriente en dirección opuesta con respecto al primer polo. Sin embargo, debido a que la dirección del campo magnético cambió, la fuerza que afecta a la barra lo hace en la misma dirección.

Si el rotor completo se coloca en el campo magnético giratorio todas las barras del rotor se verán influenciadas por las fuerzas haciendo que el rotor gire.

#### 2.4.4. Ventilador

La finalidad de los ventiladores es **mantener la temperatura de los motores** dentro de los parámetros de temperatura de trabajo establecidos por el fabricante.

Los ventiladores para la refrigeración del motor suelen ser de plástico y, para carcasa de mayor tamaño, de aluminio fundido.

#### 2.4.5. Tabla de datos garantizados

La tabla de datos garantizados se recibe del proveedor donde aparecen los distintos parámetros que son necesarios para la selección del motor.

En la siguiente página se muestra un ejemplo de una tabla de datos garantizados



#### ANEXO

En el Anexo de este manual, podrá conocer más ejemplo de estas tablas de datos garantizados

Velocidad 3600 rpm (2 polos)															
Código actual	Código antiguo	Tipo	Carcasa IEC	HP	kW	F.S.	In a	220 V Amp	440 V Amp.	rPM	Torque nominal	Momento de inercia	Tor que de arranque como fact.	Peso Aprox Kg	
01083	836273	1LA7 070-2Y460	71	0.75	0.56	1.15	2.40	1.20	3.430	79.0	1.56	0.00035	2.7	6.0	4.3
01084	836290	1LA7 072-2Y460	71	0.90	0.67	1.05	3.20	1.60	3.320	66.0	1.93	0.00035	2.3	4.9	6.0
01085	836274	1LA7 073-2Y460	71	1.00	0.75	1.15	3.50	1.75	3.320	65.0	2.20	0.00045	2.5	4.7	6.0
01086	836201	1LA7 080-2Y460	80	1.20	0.90	1.05	4.00	2.00	3.400	68.0	2.51	0.00085	2.3	4.9	8.4
01087	836276	1LA7 080-2Y460	80	1.50	1.12	1.15	5.30	2.65	3.370	69.0	3.17	0.00085	1.8	3.7	8.4
01088	836202	1LA7 082-2Y460	80	1.80	1.34	1.05	5.80	2.90	3.450	72.4	3.72	0.00111	2.1	5.3	10.0
01089	836278	1LA7 083-2Y460	80	2.00	1.50	1.15	6.20	3.10	3.410	74.0	4.18	0.00111	3.3	6.3	10.1
01090	836203	1LA7 090-2Y460	90	2.40	1.79	1.05	7.00	3.50	3.460	79.0	4.94	0.00115	2.4	5.5	11.7
01091	836279	1LA7 090-2Y460	90	3.00	2.20	1.15	9.00	4.50	3.490	76.0	6.12	0.00115	2.7	5.7	13.7
01092	836204	1LA7 094-2Y460	90	3.60	2.70	1.05	10.80	5.40	3.480	79.0	7.41	0.0020	2.7	6.0	14.9
01093	836281	1LA7 096-2Y460	90	4.00	3.00	1.15	12.20	6.10	3.440	82.0	8.20	0.0020	2.3	5.9	15.0
01094	836206	1LA7 112-2Y460	112	5.00	3.73	1.15	16.00	8.00	3.480	71.1	10.24	0.0055	2.0	5.2	28.0
01095	836207	1LA7 113-2Y460	112	6.60	4.92	1.05	19.00	9.50	3.480	79.0	13.51	0.0055	2.6	6.8	30.8
01096	836283	1LA7 114-2Y460	112	7.50	5.60	1.15	21.80	10.90	3.500	77.4	15.27	0.0055	2.0	5.8	33.4
01097	836284	1LA7 130-2Y470	132SM	10.00	7.50	1.15	28.00	14.00	3.520	79.0	20.50	0.016	2.4	6.0	50.0
01098	836212	1LA7 131-2Y470	132SM	12.00	9.00	1.05	32.00	16.00	3.525	80.0	24.60	0.021	2.7	6.8	52.5
01099	836285	1LA7 132-2Y470	132SM	15.00	11.20	1.15	41.00	20.50	3.520	80.5	30.70	0.021	2.0	6.5	56.5
01100	836286	1LA5 163-2Y870	160ML	20.00	14.90	1.05	53.00	26.50	3.528	87.0	40.39	0.034	2.0	6.0	69.5
01101	836224	1LA5 164-2Y870	160ML	25.00	18.70	1.15	70.00	35.00	3.530	88.0	50.46	0.040	2.1	5.0	82.5
01102	836230	1LA5 167-2Y870	160ML	30.00	22.40	1.05	81.00	40.50	3.540	90.0	60.38	0.052	2.1	4.6	94.0
01103	856235	1LA4 183-2Y460	180M	35	26.1	1.05	87	43.5	3.540	89.0	70.44	0.077	2.5	6.6	160.5
01104	856242	1LA4 184-2Y460	180M	40	29.8	1.05	102	51.0	3510	90.5	81.19	0.077	2.3	6.4	162.0
01105	856248	1LA4 206-2Y460	200L	50	37.3	1.15	124	62.0	3530	90.0	100.91	0.14	2.4	6.6	235.0
01106	856250	1LA4 207-2Y460	200L	60	44.5	1.15	148	74.0	3545	91.0	120.58	0.16	2.4	6.5	260.0
01107	856275	1LA6 224-2Y460	225M	75	55.5	1.15	168	94.0	3540	93.4	150.94	0.24	1.8	6.8	320.0
26690	843275	1LA6 258-2BB90-Z	250M	100	75.0	1.2	240	120.0	3558	93.9	201.00	0.45	2.5	7.5	490.0
26691	843210	1LA4 280-2AC60	280S	125	93.0	1.0	-	143.6	3570	94.3	241.00	0.79	2.7	7.0	570.0
26692	843212	1LA4 283-2AC60	280M	150	112.0	1.0	-	169.7	3570	94.7	289.00	0.92	2.7	7.0	610.0
26693	843218	1LA4 310-2AC60	315S	185	138.0	1.0	-	212.3	3576	94.8	353.00	1.3	2.8	7.0	790.0
26694	843220	1LA4 313-2AC60	315M	225	168.0	1.0	-	257.4	3576	95.1	423.00	1.5	2.8	7.0	850.0
26695	843225	1LA6 316-2AC90-Z	315L	275	205.0	1.1	-	309.9	3576	95.5	513.00	1.8	2.8	7.0	990.0
26696	843230	1LA6 317-2AC90-Z	315L	325	242.0	1.1	-	360.7	3580	96.0	641.00	2.3	2.8	7.0	1100.0

**ACTIVIDAD. 5 Identificamos los componentes**

Este ejercicio permite reconocer los distintos componentes de un motor asincrónico y repasar las funciones que cada uno cumple.

Identificar los componentes en la imagen y describir brevemente qué función cumple cada uno.



- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_
- 7 \_\_\_\_\_
- 8 \_\_\_\_\_

Felicitaciones ! usted ha finalizado el capítulo 2.  
A continuación se desarrollara el capítulo Motores asíncronos trifásicos



# Motores asíncronos trifásicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 3

---

3.1 Tipos de motores trifásicos	45
3.2 Características de fabricación del motor	56
3.3 Tipo de arranque	62
3.4 Motores para usos especiales	64
3.5 Conexión del motor	81

Este capítulo detalla y explica las características específicas de los motores trifásicos.



## 3.1 Tipos de motores Trifásicos

### Presentación

Los motores asíncronos o de inducción trifásicos de CA se dividen en los siguientes grupos:



Ambos motores tienen múltiples aplicaciones, difieren en su construcción y en el medio de alimentación.

El más costoso de estos motores es el rotor devanado debido a que requiere mayor mantenimiento así que sólo se utiliza en aplicaciones especiales donde los motores de jaula de ardilla no pueden ser usados.

A continuación se profundizará en cada uno de estos motores.

#### 3.1.1. Jaula de ardilla

Son de una forma más práctica en su funcionamiento debido a que no tienen anillos y su alimentación al rotor se realiza por medio de inducción al crear un campo magnético con la llamada jaula de ardilla y el mismo núcleo del rotor, de tal forma que el campo magnético circular del estator interactúa con el del rotor y produce el giro.

Los motores asíncronos o de inducción de jaula de ardilla (llamados también de rotor en cortocircuito), están diseñados para diferentes aplicaciones como:

- Servicio intermitente, esto es, cuando el arranque, el paro y los cambios de giro son frecuentes
- Cargas con alta inercia que se deben acelerar.
- Servicio donde no se requiere de un control de velocidad.

**Estos motores tienen:**

- Un par de arranque elevado.
- Una corriente de arranque baja.
- Un deslizamiento grande a plena carga

La falta de control de velocidad se puede compensar utilizando un motor de dos devanados y dos velocidades para proporcionar velocidades de operación.

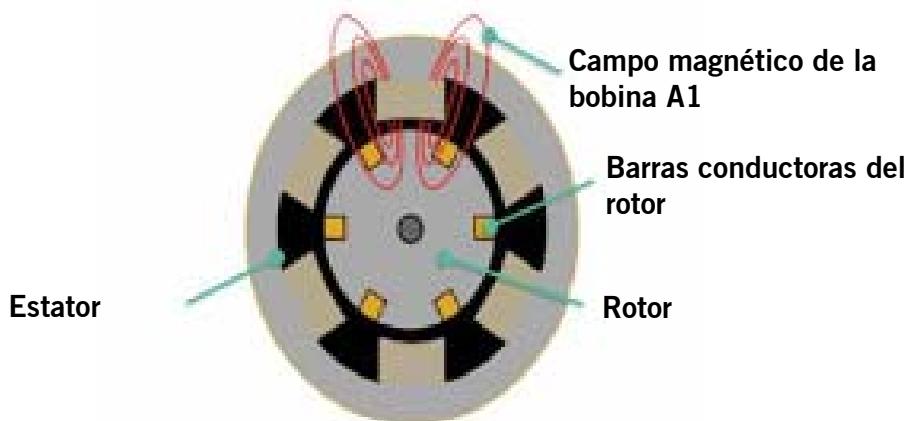
Algunas veces se utiliza resistencia en el devanado primario para proporcionar un arranque lento, pero esto no es tan efectivo para el control de la velocidad como el uso de un motor de anillos deslizantes (rotor devanado).

Para comprender cómo funciona el rotor, éste es representado como un imán permanente dentro de la carcasa del estator, en un eje en donde se localizan las bobinas.

Cuando el estator es energizado con CA se establece un campo magnético rotativo. Por consiguiente, el campo magnético del rotor interactúa con el campo magnético rotativo giratorio, y así el motor comienza a girar.

En la siguiente figura se observa el funcionamiento de un rotor de jaula de ardilla.

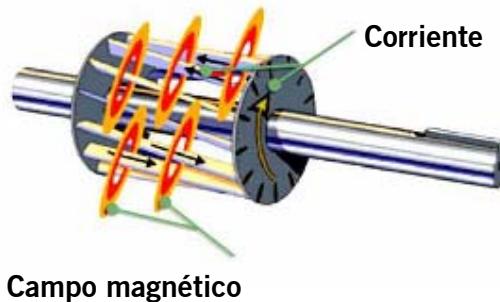
Cuando el estator es energizado, la corriente fluye a través de las bobinas generando un campo magnético, que a su vez, estas líneas, son cortadas por las laminillas del rotor; esto causa un campo magnético inducido en el rotor, que lo hacen comportarse como un imán permanente.



Funcionamiento del rotor de Jaula de ardilla

Cuando el campo magnético móvil del estator corta a través de la barra de los conductores del rotor, induce voltajes en ellos. Este voltaje produce la corriente, que circula a través de las barras y alrededor del anillo del extremo del rotor.

Tal como se ilustra en la figura, esta corriente produce el campo magnético alrededor de cada barra del rotor.

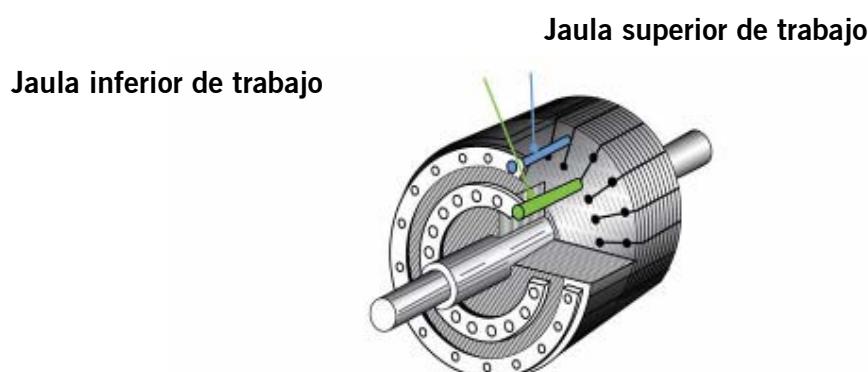


Rotor de jaula de ardilla

El rotor se convierte en un electroimán con sus polos magnéticos cambiantes que interactúan con los polos magnéticos cambiantes del estator.

#### A. Motor doble jaula de ardilla

Un tipo de motor de inducción con excelentes características de operación es el de rotor con dos jaulas de ardilla. En la figura se muestra este tipo de rotor.



Sección de un rotor con dos devanados jaula de ardilla

Las barras del devanado interior y exterior están fabricadas con distintos materiales:

**Barras del devanado interior**

Están fabricadas de un metal de baja resistencia, generalmente con cobre rodeado de hierro/acero (a excepción del espacio entre los dos devanados). Esto proporciona como resultado un devanado con alta resistencia y baja inductancia.

**Barras del devanado exterior**

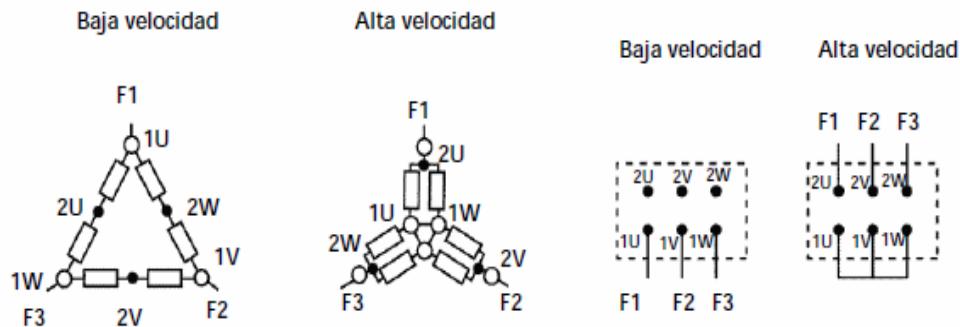
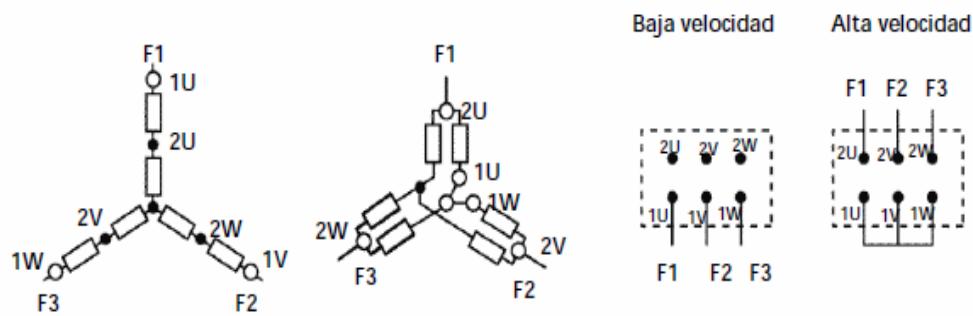
Están fabricadas de pequeñas tiras de aluminio o cobre teniendo una alta resistencia en comparación con los devanados interiores. Sólo los lados del devanado exterior del núcleo del rotor están fabricados de hierro/acero. Esto también proporciona como resultado un devanado con alta resistencia y baja inductancia.

En el instante del arranque la frecuencia del rotor es la misma que la frecuencia de la línea. Como resultado, la reactancia del devanado interior es mucho mayor que la del devanado exterior. Así, existe una alta corriente y un alto factor de potencia en el devanado exterior. Esta combinación produce una par de arranque elevado. A medida que el rotor se acerca a la velocidad sincrónica, su frecuencia disminuye rápidamente y la corriente entre los dos devanados depende prácticamente de sus resistencias.

La construcción del motor con rotor doble jaula de ardilla proporciona un devanado con baja resistencia y alta inductancia.

### **B. Motor jaula de ardilla de múltiples velocidades**

La velocidad del motor de inducción jaula de ardilla estándar es inherentemente constante, es decir, que no se pueden separar. Sin embargo, existen ciertas configuraciones especiales de este tipo con devanados de estator que permiten cambiar el número de polos al cambiar algunas conexiones externas

**Motor Dahlander. Conexión estrella/tríangulo (por constante)**

**Motor Dahlander. Conexión estrella/doble estrella (por cuadrático)**

**Ejemplos de diferentes tipos de conexión Danhlander**
**EJEMPLO**


Es posible configurar un estator para que una conexión proporcione cuatro polos y otra ocho polos. Los extremos de los devanados se pueden conectar a un dispositivo de selección de tal forma que una posición proporcione baja velocidad en tanto que la otra alta velocidad.

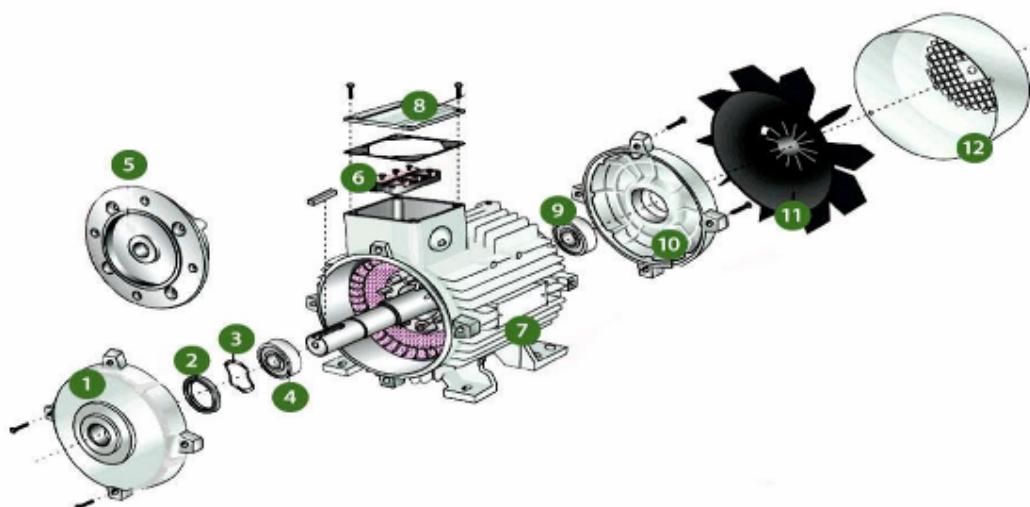
Si el motor se alimenta con 60 Hz, las velocidades sincrónicas serán de 900 y 1,800 RPM. Si se requieren más alternativas de velocidad, se pueden colocar más devanados en el estator.

Un grupo de devanados puede proporcionar conexiones para cuatro u ocho polos, el otro grupo puede hacerlo para seis o doce polos. Este arreglo puede permitir velocidades sincrónicas de 600, 900, 1200 y 1800 RPM

### 3.1.2. Rotor devanado

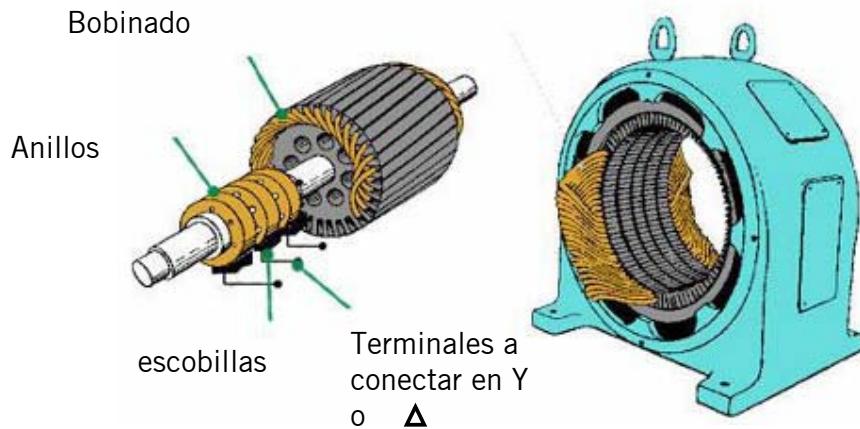
El rotor de devanado cuenta con anillos donde se fijan las terminales de las bobinas del mismo rotor y que también sirven como el medio para dar entrada a la energía mediante escobillas o carbones en forma similar, como se hace en los motores de CC. Los anillos sirven para variar la característica del par motor.

El motor de rotor jaula de ardilla tiene el inconveniente de que, durante su funcionamiento, no existe modo alguno de influir desde el exterior sobre la corriente del circuito del rotor. En cambio, esto es posible en un motor de tipo rotor devanado y anillos deslizantes en el que puede variarse la resistencia del rotor conectando resistencias adicionales, pues los extremos de los devanados del rotor son accesibles desde el exterior a través de los anillos deslizantes o rozantes. En la figura se muestran las partes de un motor de rotor devanado.



- |                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| 1. Platillo        | 17. Carcasa - Estator          |
| 2. Retenedor       | 8. Tapa de caja de bornes      |
| 3. Arandela        | 9. Rodamiento                  |
| 4. Rodamiento      | 10. Platillo                   |
| 5. Platillo        | 11. Ventilador                 |
| 6. Regla de bornes | 12. Caperuza - Tapa deflectora |

Componentes de un motor de rotor devanado



### Rotor y estator

Los motores de inducción tipo rotor devanado, en lugar de barras conductoras como el motor jaula de ardilla, **utilizan unos devanados alrededor del núcleo del rotor**.

En este caso, las corrientes se inducen en el devanado tal como ocurre cuando se trata de espiras conectadas en corto. Sin embargo, la ventaja de usar devanados es que las terminales de estos pueden sacarse a través de anillos deslizantes, de manera que pueda controlarse la resistencia y en consecuencia, la corriente que fluye en los devanados.

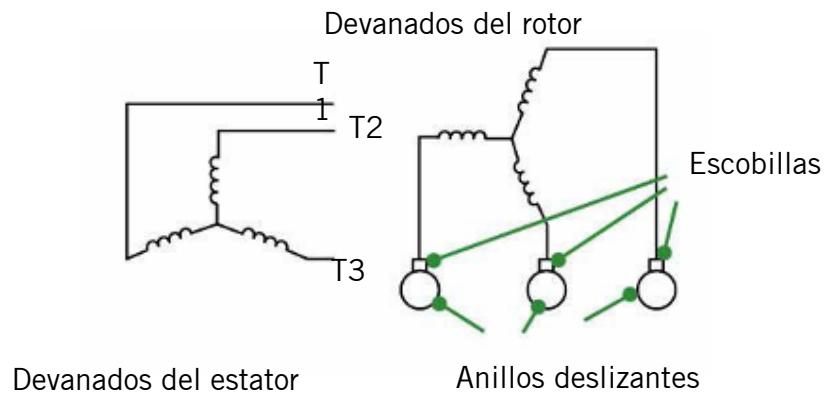
Estos sólo tienen aplicaciones especiales y siempre funcionan con potencia trifásica de CA.

De las tres terminales de los devanados del rotor trifásico salen hasta tres anillos deslizantes montados sobre el eje del rotor. Las escobillas que se deslizan en los anillos, se pueden conectar a través de reóstatos.

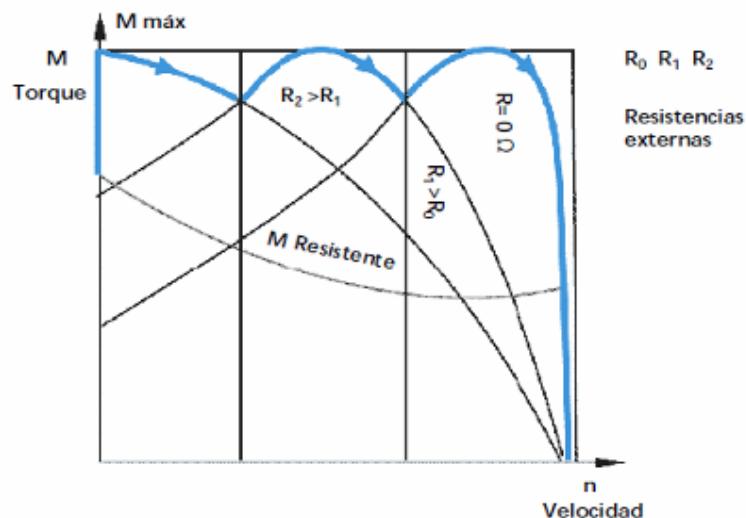
Al momento de arrancar, toda la resistencia de los reóstatos está en contacto con el circuito del rotor y, así se produce el máximo par permitido debido a que se seleccionan valores de resistencias iguales o mayores que la resistencia del rotor en reposo.

Al aproximarse el motor a la velocidad normal de funcionamiento, la resistencia del reóstato se reduce gradualmente hasta quedar totalmente desconectada del circuito a velocidad plena. Este motor, sin embargo, aunque su par de arranque es mejor y permite manejar velocidades y porcentajes de deslizamientos variables, su capacidad y eficiencia a plena carga son muy reducidas.

Los devanados generalmente se conectan en estrella y los extremos se conectan a los anillos deslizantes. En la figura se muestra esta conexión.



#### Conexiones de un motor de inducción de rotor devanado



#### Tipos de resistencias

Estas resistencias se van eliminando por pasos durante el proceso de arranque hasta que el motor alcanza su velocidad nominal.

Los motores de rotor devanado más comunes son de 1200 y 900 RPM por lo que se pueden utilizar reductores más económicos sin la necesidad de reducciones adicionales.

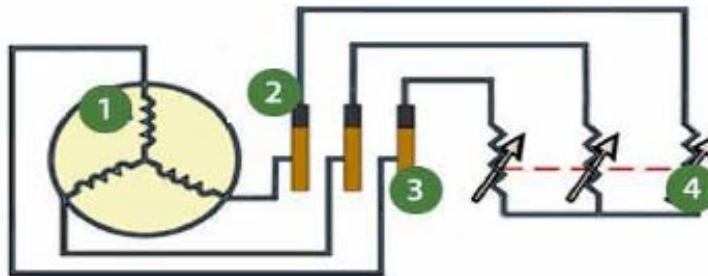


## ATENCIÓN

Es importante aplicar el voltaje pleno al motor debido a que el par varía en la misma proporción que el cuadrado del voltaje. Una reducción de voltaje del 10% produce una reducción del par en un 19%.

Bajo condiciones de plena carga, estos motores desarrollan un deslizamiento aproximadamente de 5 a 10%, que varía inversamente al cuadrado del voltaje aplicado.

Las resistencias conectadas en serie con la armadura (devanado del rotor) o circuito secundario proporcionan una elevada resistencia para el arranque de un motor de rotor devanado.



1. Rotor devanado  
2. Escobillas

3. Anillos deslizantes  
4. Resistencias externas del rotor

**Diagrama esquemático de un motor tipo rotor devanado**

Una reducción posterior de la resistencia en el circuito secundario incrementa la velocidad del motor. La elección de los controladores y resistencias del motor proporciona las características de operación de los motores de rotor devanado.

## EJEMPLO



El rango de velocidad del motor y el número de puntos de velocidad dependen directamente de la elección del controlador y de las resistencias

Ventajas y desventajas de un motor de inducción rotor devanado respecto al motor jaula de ardilla

Ventajas	Desventajas
Un par de arranque elevado con una corriente de arranque baja.	El costo inicial y de mantenimiento son mayores que los del motor jaula de ardilla.
No existe un sobrecalentamiento durante el periodo de arranque.	
Una aceleración suave en caso de cargas grandes	La mala regulación de velocidad cuando opera con resistencias en el circuito del rotor.
Un buen ajuste de velocidad al operar bajo carga constante.	

### ATENCIÓN



Los motores asíncronos o de inducción del tipo rotor devanado son los más apropiados para el uso de las grúas debido al control de velocidad que se logra..

### ACTIVIDAD. 6 Tipos de motores trifásicos

Este ejercicio permite reforzar la compresión acerca de los tipos de motores trifásicos

Unir con flechas cada característica con el tipo de motor correspondiente



Buen ajuste de velocidad al operar con resistencias en el circuito del rotor.

Con anillos.

Jaula de ardilla

Alto costo inicial y de Mantenimiento

Bajo costo inicial y de Mantenimiento

Rotor devanado

La alimentación al rotor se realiza por medio de inducción

Buen ajuste de velocidad al operar bajo carga constante

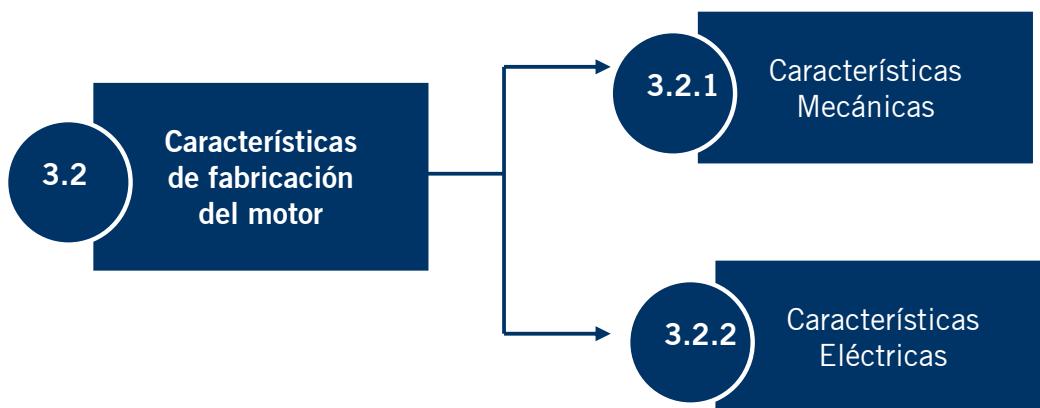
Sin anillos

Las escobillas o carbones en forma similar dan entrada a la energía

## 3.2 Características de fabricación del motor

### Presentación

Se deben considerar dos tipos de características particulares en el diseño de los motores asíncrónicas



#### 3.2.1. Características mecánicas

Las características mecánicas se refieren al **tipo de construcción o protección mecánica** que poseen los motores con la finalidad de operar satisfactoriamente en las condiciones ambientales y de seguridad para las que fue seleccionado, estos tipos son los siguientes:

##### A prueba de goteo

Están construidos para impedir que líquidos que goteen, con ángulo de proyección no mayor de 15° con respecto a la vertical, penetren hacia el interior del motor. Sin embargo, el aire del medio ambiente tiene libre acceso al interior, con lo cual se tiene una muy buena disipación de la temperatura de los devanados y núcleos del motor.

La aplicación de este motor es la más generalizada en la industria y se encuentra montado en máquinas, herramientas, ventiladores, bombas centrífugas, ciertos tipos de transportadores, etc. En general, estos motores encuentran su aplicación en aquellos lugares donde el medio ambiente no sea perjudicial a sus partes internas y además no haya salpicadura de líquidos.

### Totalmente cerrados con ventilación exterior

Este tipo de construcción proporciona un motor totalmente hermético y por lo tanto el aire del medio ambiente nunca llega a tocar sus devanados y núcleos.

La disipación de la temperatura del motor se hace por radiación a través de la superficie aleteada de la carcasa o armazón. Además, este calor es barrido por la acción de un ventilador que va montado sobre la extensión frontal del eje (flecha), por lo tanto, al girar ésta, obliga a disipar más rápidamente la temperatura o calor del motor.

Este tipo de motores se aplican para mover máquinas o equipos instalados en ambientes llenos de polvo, abrasivos, húmedos y/o ligeramente corrosivos.

Se los encuentra acoplados a máquinas, herramientas, ventiladores, transportadores, quebradoras, etc. En general, su aplicación es en lugares donde el medio ambiente puede ser perjudicial a las partes internas del motor.

### Protegidos contra la intemperie tipo II

Una máquina a prueba de intemperie tipo II es una máquina abierta cuyas entradas para ventilación están construidas de manera que se logre minimizar la entrada de lluvia, nieve y partículas de aire hacia las partes eléctricas.

La trayectoria normal del aire de ventilación que entra a las partes eléctricas de la máquina debe ser conducida por medio de deflectores o cuerpos separados de manera que produzcan por lo menos tres cambios de dirección, sin ser ninguno de ellos menor de 90°.

Además, por la posición del eje (flecha), los motores asíncronos se dividen en:

#### Motores horizontales

La operación del eje del motor es horizontal. Es la construcción más generalizada y se combina con las descripciones mencionadas anteriormente.

Por lo tanto, se tienen motores horizontales a prueba de goteo, motores horizontales totalmente cerrados con ventilación exterior, etc..

#### Motores verticales

Este es el caso típico de los motores que se acoplan a bombas de pozo profundo, de recirculación o en máquinas cuyos diseños requieren que el motor opere con el eje en posición vertical. Igual que en el caso anterior, esta construcción también se combina con las protecciones.

### 3.2.2. Características eléctricas

El comportamiento de un motor de CA está relacionado con:

- Su respuesta en el arranque durante su aceleración.
- Su máxima capacidad de par (fuerza).
- La forma en que cambia su deslizamiento, a plena velocidad, cuando se le aplica una carga.

El hecho de que dos motores sean de diseño diferente y, por lo tanto, observen diferente comportamiento no implica que uno sea mejor que el otro, las diferencias van a hacer que uno sea más indicado para un cierto tipo de aplicación que el otro.

#### EJEMPLO

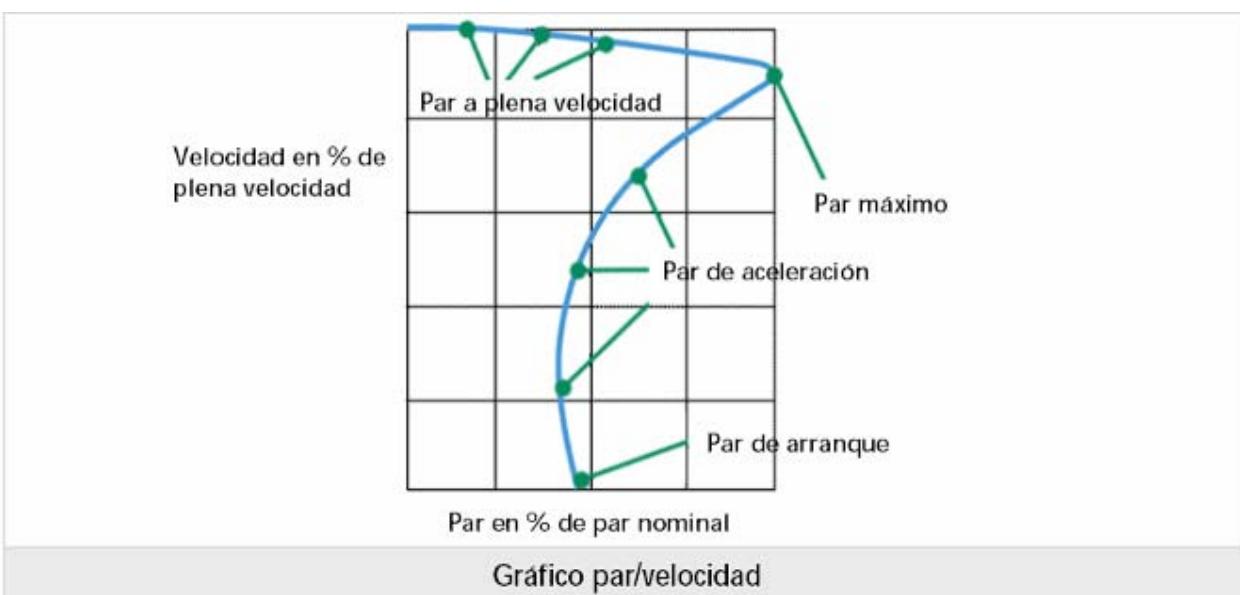


Un cierto tipo de motor es el adecuado para hacer girar una bomba, en tanto otro será el indicado para mover las aspas de los ventiladores en una torre de enfriamiento

La forma en que se representa el comportamiento de un motor de CA es mediante una gráfica par/velocidad. En esta gráfica se presenta el par (fuerza) del motor desde 0 hasta velocidad plena.

Los motores de inducción pueden ser de cuatro tipos, según su disponibilidad de par a diferentes velocidades.

La figura muestra la gráfica par/velocidad que representa la característica de operación de un tipo de motor de CA, en la cual se muestran cuatro puntos o regiones importantes.



**Par de arranque**

Representa el par (o fuerza) del motor a 0 velocidad (por eso se le llama de arranque).

**Par de aceleración**

Indica el par fuerza del motor desde que arranca y a medida que se acerca a la velocidad nominal

**Par máximo**

Este par se presenta bajo condiciones de sobrecarga del motor y si en un momento el par de carga es mayor a ese par, el motor desacelerará y se detendrá

**Par a plena velocidad**

Es la región donde normalmente opera el motor e indica cómo cambia el deslizamiento (caída de velocidad) al incrementarse el par de carga.

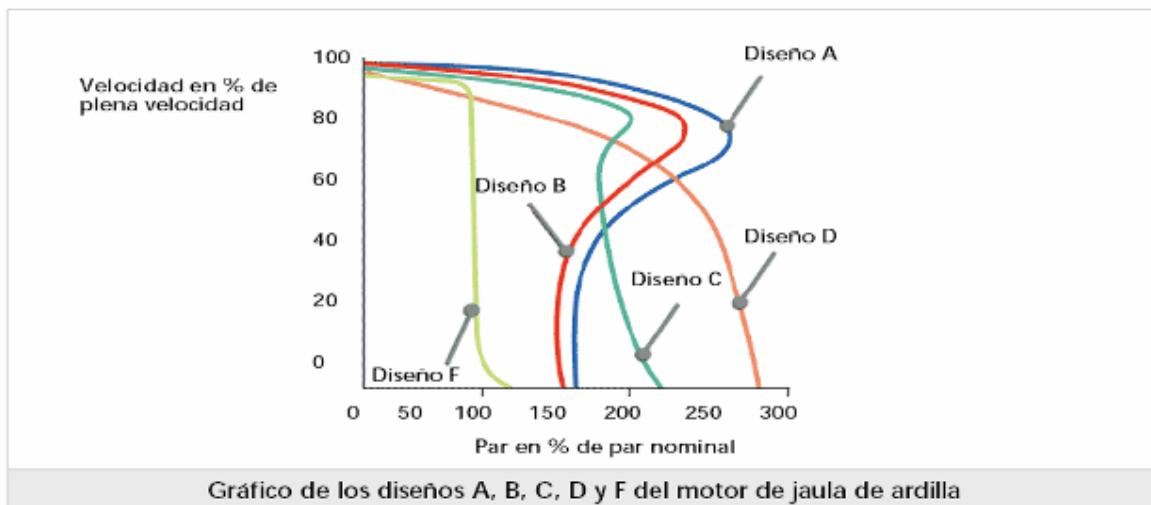
Con estos fundamentos, es posible comprender los distintos tipos de motores de CA mediante la interpretación de sus gráficas par/velocidad.

Se ha estandarizado el diseño de las máquinas de CA en cuatro tipos o grupos que presentan comportamiento diferente.

### Características eléctricas de motores asincrónicos

Diseño Ay B	Diseño C	Diseño D	Diseño F
<p>Diseñados para arrancar a voltaje pleno y operar con un deslizamiento (caída de velocidad al aplicar carga) inferior al 5% cuando opera a plena carga.</p> <p>Los motores de Diseño A son empleados en aplicaciones donde se requiere alta eficiencia y mantener la velocidad a plena carga. Son considerados como motores especiales.</p> <p>Los motores de Diseño B son semejantes a los de Diseño A. Son empleados en aplicaciones generales debido a que presentan una baja corriente de arranque y desarrollan un par de arranque moderado.</p>	<p>Diseñados para arrancar a voltaje pleno, desarrollan un alto par de arranque, muestran poca corriente durante el arranque y un bajo deslizamiento de operación.</p> <p>Se emplean en aplicaciones que requieren un muy alto par de arranque y de operación, su deslizamiento a plena carga no excede el 5%.</p>	<p>Diseñados para arrancar a voltaje pleno, desarrollan un alto par y una baja corriente de arranque.</p> <p>Su deslizamiento es superior al 5%. Debido a su alto deslizamiento, su velocidad varía considerablemente ante cambios de carga.</p>	<p>Diseñados para arrancar a voltaje pleno, presentan un bajo par y una baja corriente de arranque. Su deslizamiento de operación es bajo, esto es inferior al 5% a plena carga.</p>

En la figura se muestran las gráficas de las curvas características de par/velocidad para los motores jaula de ardilla Diseños A, B, C, D y F



**ACTIVIDAD. 7 Diseños eléctricos**

Este ejercicio permite identificar los diseños eléctricos de los motores asíncronos trifásicos.



Ler las definiciones y escribir la letra del diseño eléctrico correspondiente

Motores empleados en aplicaciones que requieren un muy alto par de arranque y de operación, su deslizamiento a plena carga no excede el 5%.

Motores empleados en aplicaciones generales debido a que presentan una baja corriente de arranque y desarrollan un par de arranque moderado.

Motores diseñados para arrancar a voltaje pleno, desarrollan un alto par y una baja corriente de arranque.

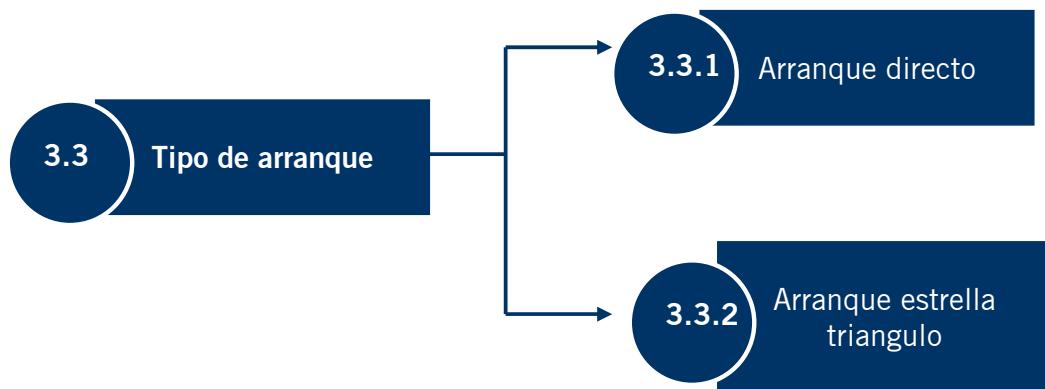
Motores diseñados para arrancar voltaje pleno, presentan un bajo par y una baja corriente de arranque.

Motores empleados en aplicaciones donde se requiere alta eficiencia y mantener la velocidad a plena carga.

## 3.3 Tipo de arranque

### Presentación

Los motores asincrónicos pueden presentar dos tipos de arranque



#### 3.3.1. Arranque directo

El arranque directo se caracteriza por un pico de intensidad en el arranque (aproximadamente 6 veces la Intensidad nominal). En el siguiente gráfico se observa cómo se realiza este tipo de arranque:

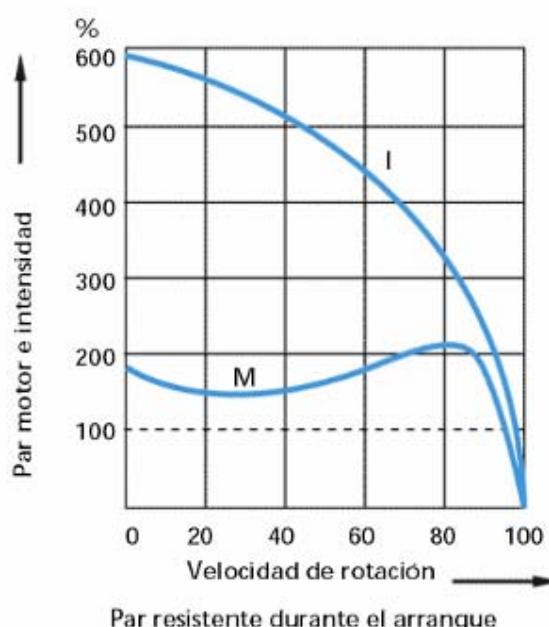


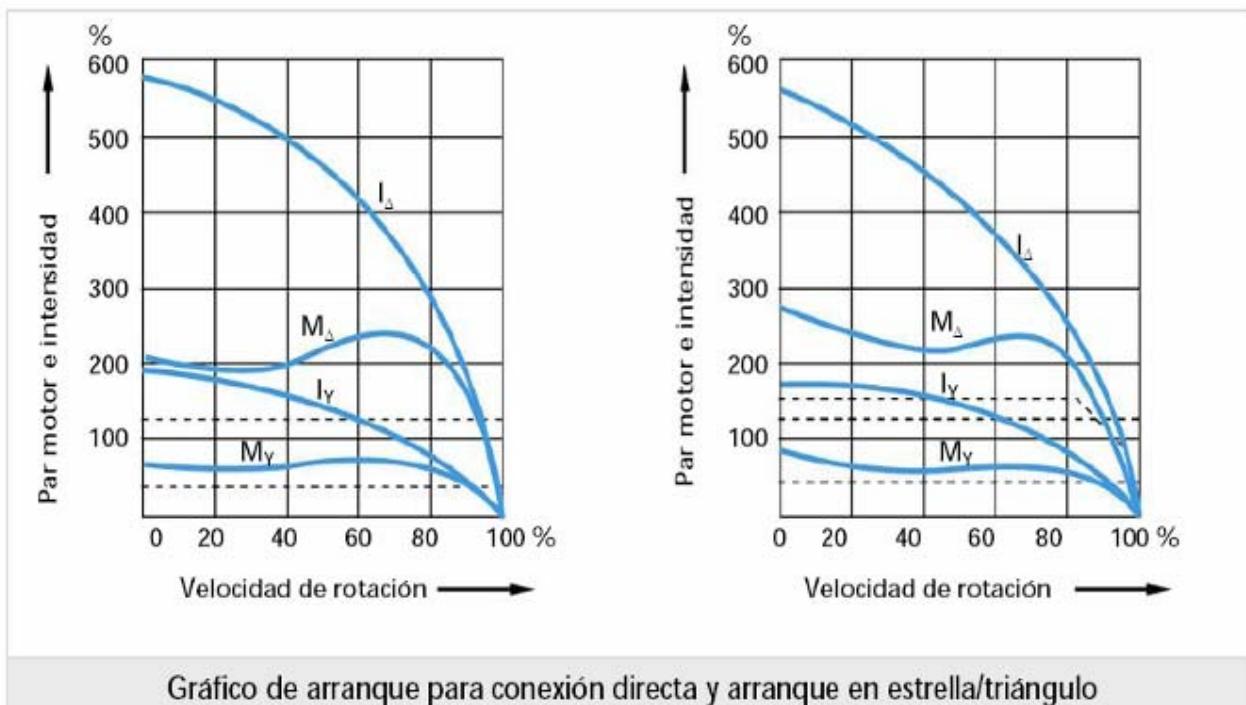
Gráfico de arranque para conexión directa

### 3.3.2. Arranque estrella – triángulo

La tensión admisible en los arrollamientos del motor acoplados en triángulo debe corresponderse con la tensión de la red de alimentación.

La secuencia de arranque comienza con una configuración estrella y genera una tensión  $\sqrt{3}$  veces menor que la nominal en los bobinados, con una reducción proporcional de la corriente nominal ( $I_n$ ).

Una vez alcanzado aproximadamente un 80% de la velocidad nominal se procede a conmutar la configuración a triángulo. En este momento el motor comienza a operar en condiciones nominales y somete al bobinado a una intensidad pico de muy poca duración que igual no alcanza el valor pico de 5  $I_n$  logrado con arranque directo.



## 3.4 Motores para usos especiales

### Presentación

En este apartado, se conocerán los motores asíncronos para usos especiales.



### 3.4.1. Motores de alta eficiencia

Existen tres clases de niveles de eficiencia, según la CEMEP, definidas por dos niveles de eficiencia por salida y número de polos, deben ir acordeamente rotuladas en los motores.

Estas clases se designan:

- Alta eficiencia (EFF1 según CEMEP/ IE3 según IEC).
- Eficiencia mejorada (EFF2 según CEMEP / IE2 según IEC).
- Baja eficiencia (EFF3 según CEMEP / IE1 según IEC).



El rótulo aparece en la placa del motor. La eficiencia expresada como un porcentaje de plena carga y  $\frac{3}{4}$ de carga debe ser especificada junto con el rótulo de la marca y los catálogos de fabricantes

#### GLOSARIO



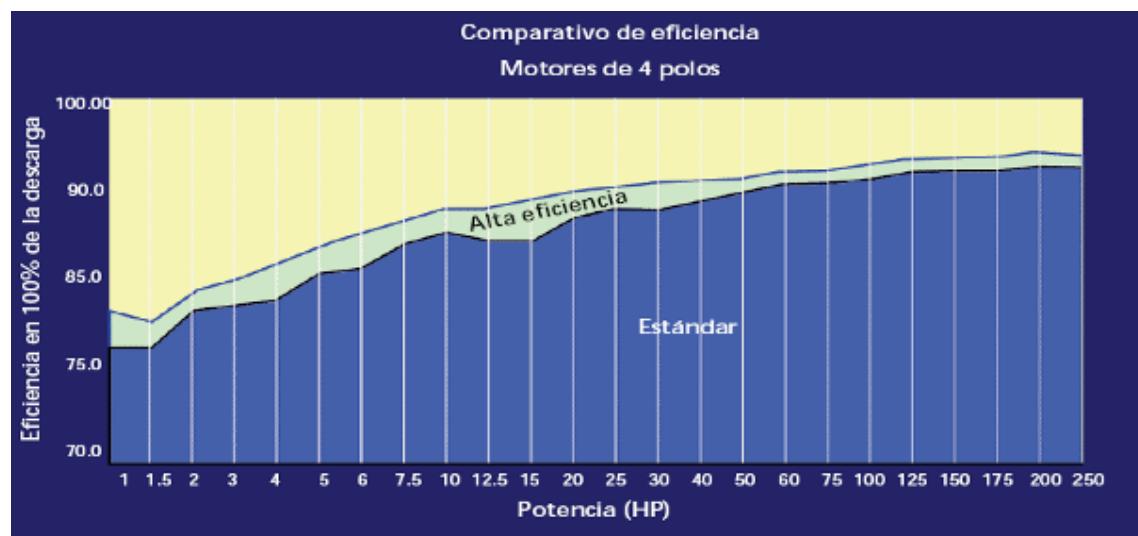
CEMEP:

Comité Europeo de Fabricantes de Máquinas Eléctricas y de Electrónicos de Potencia.

#### EJEMPLO



El motor incluido en este esquema es IP 54 ó 55 totalmente hermético y enfriado por ventilador; trifásico, jaula de ardilla de 1 a 90 kW con 2 ó 4 polos; de 400 V 50 Hz SI servicio pesado diseño estándar EN 60034-12 y EN 50347.



### EJEMPLO Continuación

El motor incluido en este esquema es IP 54 ó 55 totalmente hermético y enfriado por ventilador; trifásico, jaula de ardilla de 1 a 90 kW con 2 ó 4 polos; de 400 V 50 Hz SI servicio pesado diseño estándar EN 60034-12 y EN 50347.



Se considera un costo medio de energía a USD 0,15/kWh y un motor operando 24 horas por día en un régimen continuo.

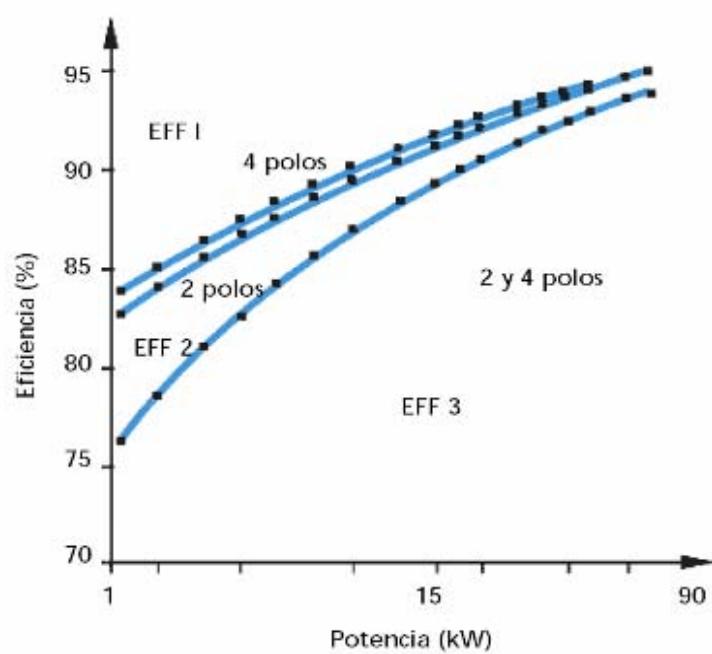


Gráfico de los motores de alta eficiencia

kW	Motores de 4 polos			Motores de 2 polos			
	EFF3	EFF2	EFF1	kW	EFF3	EFF2	EFF1
	$\eta_n$	$\eta_n$	$\eta_n$		$\eta_n$	$\eta_n$	$\eta_n$
1,1	<76,2	$\geq$ 76,2	$\geq$ 83,8	1,1	<76,2	$\geq$ 76,2	$\geq$ 82,8
1,5	<78,5	$\geq$ 78,5	$\geq$ 85,0	1,5	<78,5	$\geq$ 78,5	$\geq$ 84,1
2,2	<81,0	$\geq$ 81,0	$\geq$ 86,4	2,2	<81,0	$\geq$ 81,0	$\geq$ 85,6
3	<82,6	$\geq$ 82,6	$\geq$ 87,4	3	<82,6	$\geq$ 82,6	$\geq$ 86,7
4	<84,2	$\geq$ 84,2	$\geq$ 88,3	4	<84,2	$\geq$ 84,2	$\geq$ 87,6
5,5	<85,7	$\geq$ 85,7	$\geq$ 89,2	5,5	<85,7	$\geq$ 85,7	$\geq$ 88,6
7,5	<87,0	$\geq$ 87,0	$\geq$ 90,1	7,5	<87,0	$\geq$ 87,0	$\geq$ 89,5
11	<88,4	$\geq$ 88,4	$\geq$ 91,0	11	<88,4	$\geq$ 88,4	$\geq$ 90,5
15	<89,4	$\geq$ 89,4	$\geq$ 91,8	15	<89,4	$\geq$ 89,4	$\geq$ 91,3
18,5	<90,0	$\geq$ 90,0	$\geq$ 92,2	18,5	<90,0	$\geq$ 90,0	$\geq$ 91,8
22	<90,5	$\geq$ 90,5	$\geq$ 92,6	22	<90,5	$\geq$ 90,5	$\geq$ 92,2
30	<91,4	$\geq$ 91,4	$\geq$ 93,2	30	<91,4	$\geq$ 91,4	$\geq$ 92,9
37	<92,0	$\geq$ 92,0	$\geq$ 93,6	37	<92,0	$\geq$ 92,0	$\geq$ 93,3
45	<92,5	$\geq$ 92,5	$\geq$ 93,9	45	<92,5	$\geq$ 92,5	$\geq$ 93,7
55	<93,0	$\geq$ 93,0	$\geq$ 94,2	55	<93,0	$\geq$ 93,0	$\geq$ 94,0
75	<93,6	$\geq$ 93,6	$\geq$ 94,7	75	<93,6	$\geq$ 93,6	$\geq$ 94,6
90	<93,9	$\geq$ 93,9	$\geq$ 95,0	90	<93,9	$\geq$ 93,9	$\geq$ 95,0

Los motores de alta eficiencia deben ser utilizados en los siguientes casos:

- Cuando es necesario reducir pérdidas de energía hasta 40%.
- Cuando se requieren muchas horas de funcionamiento y el costo de energía es alto, expresado en un número de meses de repago.

## EJEMPLO



Un motor de 4 polos, 15 kW manejo una bomba de agua de enfriamiento, operando a plena carga por 6000 horas por año.

El costo de la electricidad es de 0,268 USD/kW-h y el EFF1 y el motor estándar su eficiencia de 91,8% y por ejemplo: 88,2% respectivamente.

**Ahorro:** Ahorro=  $6000 \times 15 \times 100\% \times 0.268 ((1/91.8)-(1/88.2))$

Ahorro de energía anual= 1072\_ \$

Ahorros esperados

- Sistemas de drives optimizados por motores de alta eficiencia (EFF1) y VSD (convertidores de frecuencias) pueden evitar varias estaciones de potencia y su contaminación.
- El reemplazo de todos los motores EFF3 con los EFF2 se pueden ahorrar 6 TW-h por años, esto puede ser mucho mayor si son seleccionados motores EFF1.

## ANEXO



Si desea conocer más ejemplos sobre los motores de alta eficiencia, le recomendamos consultar el Anexo de este manual

### 3.4.2. Motores antiexplosivos

Existen en la industria un tipo de motores que, por su aplicación en ambientes altamente peligrosos, requieren de una construcción muy especial. Éstos son los motores totalmente cerrados con ventilación exterior a prueba de explosión.

Los motores a prueba de explosión deben tener **paredes y un espesor mínimo adecuado** para impedir que una explosión interna deteriore la carcasa o tapas. También las distancias de fuga deben tener una longitud tal que los gases calientes producidos internamente por una explosión o cortocircuito, deben enfriarse para que, al salir al medio ambiente, no presenten un foco de principio de ignición.



Símbolo de explosión

Estos motores deben cumplir con las normas NEC y EN / IEC.

## GLOSARIO



NEC:

Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos (National Electric Code).

## GLOSARIO



IEC:

Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission).

## A. Clasificación NEC

Los motores a prueba de explosión se clasifican de acuerdo al NEC en 3 clases:

Clase I



Líquidos y vapores o gases combustibles

Clase II



Polvos combustibles

Clase III



Fibras inflamables

## B. Clasificación EN / IEC

Además de cumplir con las normas relacionadas con las características mecánicas y eléctricas, los motores diseñados para atmósferas explosivas también deben cumplir una o varias de las siguientes normas europeas o IEC relativas al tipo de protección en cuestión:

	<b>EN</b>	<b>IEC</b>
Requisitos generales aplicables a aparatos eléctricos para atmósferas con presencia de gases explosivos.	<b>60079-0 (2004)</b> <b>60079-1 (2004)</b>	<b>60079-0 (2004)</b> <b>60079-1 (2003)</b>
Norma sobre la protección antideflagrante "d".	60079-1 (2004)	60079-1 (2003)
Norma sobre la protección de seguridad aumentada "e".	60079-7 (2003)	60079-7 (2001)
Norma sobre el tipo de protección antichispas "nA".	60079-15 (2003) 60079-15 (2005)	60079-15 (2001) 60079-15 (2005)
Requisitos generales aplicables a los aparatos eléctricos para aplicaciones con presencia de polvo combustible	61241-0 (2005)	61241-0 (2004)
Norma sobre la protección contra ignición de polvo y estanqueidad contra el polvo (protección tD).	61241-1 (2005)	61241-0 (2004)

Nota: Las normas según las cuales están certificados los distintos motores aparecen enumeradas en el certificado adecuado.

Los motores de baja tensión (válido sólo para el grupo II) pueden instalarse en zonas que correspondan a los siguientes marcados:

<b>1</b>	<b>Categoría 2</b>	<b>Ex d, Ex de, Ex e.</b>
<b>2</b>	<b>Categoría 3</b>	Ex nA.
<b>21</b>	<b>Categoría 2</b>	DIP, IP 65 o Ex tD A21.
<b>22</b>	<b>Categoría 3</b>	DIP, IP 55 (polvo no conductor) o Ex tD A22.

De acuerdo con la serie EN 500XX, los motores certificados tienen marcado EEx en lugar de Ex.

Los usuarios deben consultar todos los datos mencionados en la información técnica estándar, junto con las normas relativas a la protección contra explosiones, como:

Grupo de gases		
Industria	Grupo de gases	Tipo de gas ( ejemplos)
<b>Atmósferas explosivas distintas de minas</b>	IIA	Propano
	IIB	Etileno
	IIC	Hidrógeno/acetileno

Temperatura de mercado								
Clase de temperatura	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T125° C	T150° C
Temp. máx ° C	450	300	200	135	100	85	125	150
Aumento máx temp. de superficie K a 40° C	400	250	155	90	55	40	80	105

Se considera que el aumento máximo de temperatura es la superficie interior del motor (rotor) para las clases de temperatura T1, T2 y T3 y la superficie exterior del motor (carcasa y/o escudos) para las demás clases de temperatura.

Se debe recordar que los motores están certificados y clasificados de acuerdo con su grupo. Esto se determina por referencia a la atmósfera ambiente con gas o polvo y por la temperatura de marcado, calculada en función de la temperatura ambiente de 40° C.

En los siguientes casos es necesario consultar al proveedor para conocer los nuevos datos de clasificación o informes de pruebas con la temperatura ambiente requerida:

- En temperaturas ambiente superiores a los 40° C.
- En temperaturas de ambiente inferiores a -20° C.
- En altitudes superiores a los 1.000 metros.

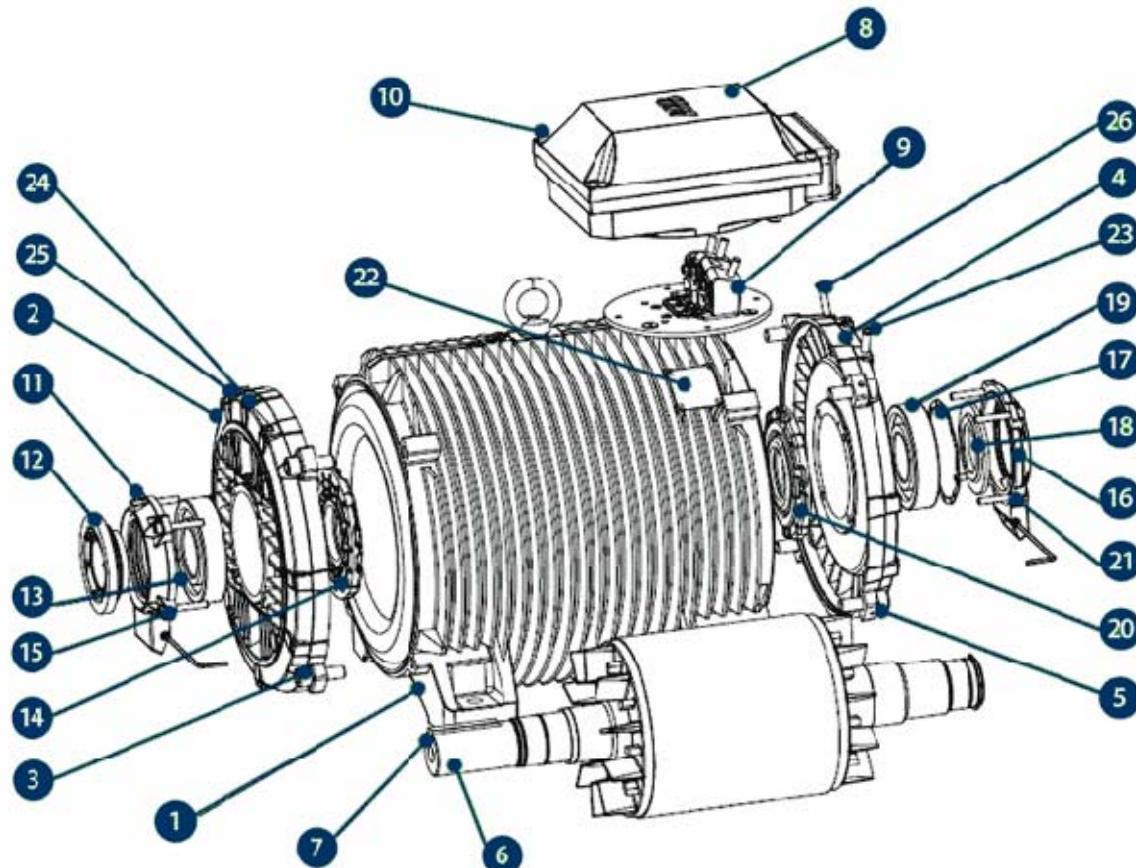
### 3.4.3. Motores para vías a rodillos

Las vías a rodillos incorporan un cierto número de motores, **la velocidad puede ser controlada paso a paso** por uno o más convertidores de frecuencia.

El ambiente del laminador genera altas solicitudes en la vía a rodillos. Mientras que las bandas y tubos viajan a lo largo de la vía a rodillos en las velocidades, los motores que conducen los rodillos se sujetan a las altas cargas del esfuerzo de torsión. Al mismo tiempo, la confiabilidad del sistema de impulsión es amenazada constantemente por la alta temperatura ambiente, la humedad, y el riesgo que partículas de polvo fino de proceso puedan infiltrar al motor.



Ejemplo de motores para vías de rodillos

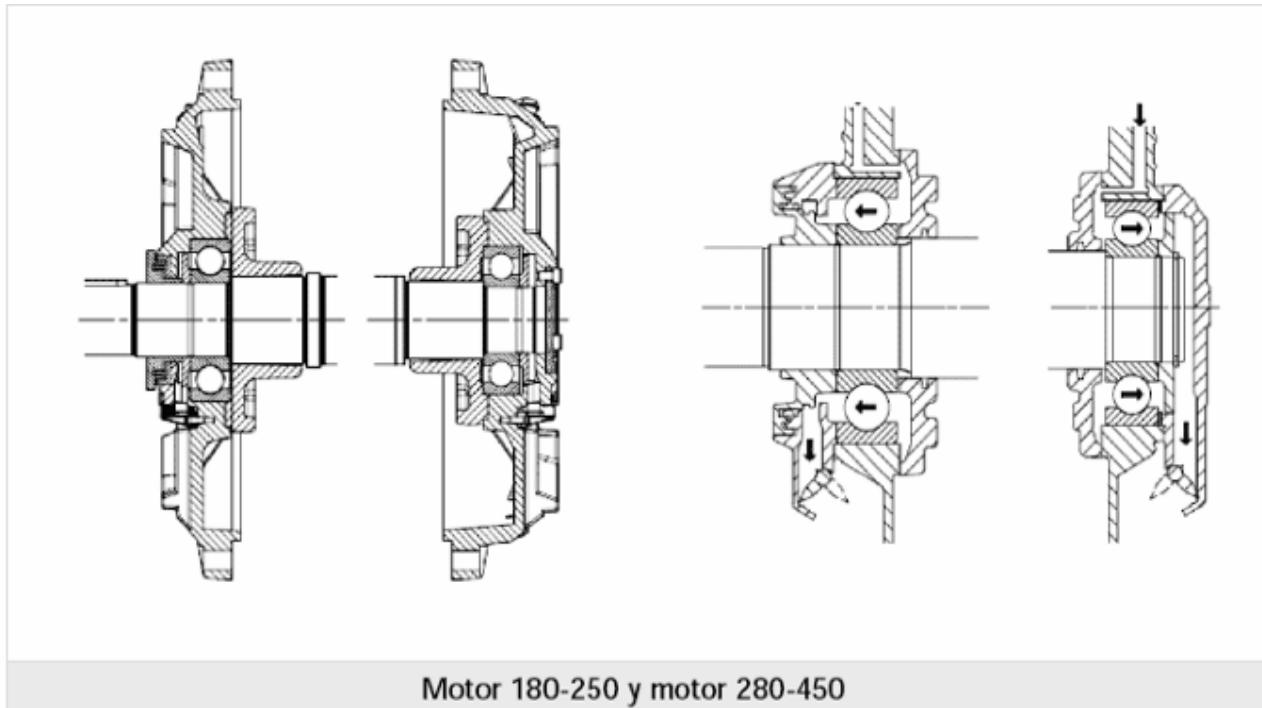


- 1. Carcasa
- 2. Tapa lado D
- 3. Tornillos p/ lado D
- 4. Tapa lado N
- 5. Tornillos lado N
- 6. Rotor con eje
- 7. Chaveta lado D
- 8. Caja de conexión
- 9. Tablero de conexión
- 10. Tornillos p/ tapa de caja de conexión
- 11. Tapa de rodamiento
- 12. Válvula con sello laberíntico lado D
- 13. Rodamiento lado D

- 14. Tapa interior rodamiento lado D
- 15. Tornillo para tapa rodamiento D
- 16. Tapa exterior rodamiento N
- 17. Resorte
- 18. Disco de la válvula
- 19. Rodamiento N
- 20. Tapa interior rodamiento N
- 21. Tornillos p/ tapa de rodamiento N
- 22. Placa de Datos
- 23. Niple de grasa N
- 24. Niple de grasa D
- 25. SPM niple D
- 26. SPM niple N

### Componentes de un motor para vías de rodillos

El motor se equipa con sellos de laberinto en el extremo-D . El extremo-N es totalmente sellado. Esta construcción brinda una protección apropiada en el ambiente exigente contra el agua y el polvo.



Motor 180-250 y motor 280-450

El motor para vías de rodillo presenta las siguientes particularidades:

- Se fabrica con aislaciones clases F y H.
- Contiene pares de polos entre 1 y 8 lo que implica una velocidad con 50 Hz (60 Hz) entre 3000 (3600) y 350 (450).
- Carece de ventilador. La evacuación se realiza por las ranuras transversales incorporadas a la carcasa, razón por la cual el servicio a bajas vueltas no influye en su funcionamiento.
- Se puede utilizar directamente sin reductor de velocidad.
- Se utiliza con drives y con multidrives de CA.

#### 3.4.4. Motores para extracción de humos

El motor certificado para la extracción de humo se ha convertido especialmente para las construcciones o los emplazamientos de la planta con los sistemas de control de humo.

Los motores de extracción de humo pueden incluso hacer frente a altas temperaturas ambiente con seguridad. En caso de accidente, reducen el cargamento de calor en el edificio y guardan las rutas del acceso y de escape sin humos.

También reducen la extensión del humo y del fuego a otras partes del edificio así como a otros edificios y, reducen a en última instancia el riesgo de derrumbamiento del edificio.

Los motores doble función cumplen las siguientes funciones:

- Operación bajo condiciones normales como motor de ventilador.
- Operación bajo condiciones de avería como motor de ventilador en el caso de incendio.

Clase	Temperatura	Función de duración mínima (MIN)
F200	200	120
F300	300	120
F400	400	120

Muchas soluciones para protección de incendios requieren ventiladores de extracción de humos a altas temperaturas hacia el cielo abierto. Algunas veces es usado para el doble propósito, esto es también para ventilación normal.

### EJEMPLO



Es posible encontrar ventiladores para extracción de humos en escaleras, shoppings, edificios públicos, túneles, edificios industriales, estacionamientos subterráneos y otras localizaciones para atenuar el desarrollo de un fuego.



Ejemplo de motor para extracción de humos

### 3.4.5. Motores para altas temperaturas

Los motores para ambientes exigentes se hacen acorde a un nuevo diseño basado en la última investigación en algunos de procesos de producción más desafiantes.

Modelado en tecnología probada del motor, incorporan muchas de sus características, como:

- Temperaturas más bajas del cojinete.
- Intervalos más largos de la lubricación.
- Mejorado sistema de engrasado.

Son capaces de soportar temperaturas hasta 90° C combinada con humedad del 100% y el diseño altamente corrosivo de la mayoría de los ambientes.

La placa de datos de servicio está en la forma de la tabla que da los valores para el factor de la velocidad, de la corriente y de energía. Todas las placas del grado y de la lubricación se hacen de acero inoxidable.

3-Motor M3BPV 160 M4									
IEC 160 M/L 42						No			
						Ins. cl. H	IP 55		
V	Hz	k W	Rpm	A	Cos φ	I <sub>A</sub> /I N	t <sub>E</sub> /s		
690 Y	50	11	1460	12.1	0.84				
400 Δ	50	11	1460	21	0.84				
Prod. Code				3GEP 162 501-ADA					
Amb 90°C									
6309 / C4			6309 / C4			115 Kg			
3GZV 193 021-9				IEC 60034-1					
Placa de datos									

Los motores con el cojinete reengrasable tienen una placa separada de lubricación como estándar con la información de mantenimiento con respecto a intervalos que vuelven a engrasar, la cantidad y el tipo de grasa que puede ser utilizado.

Intervalos de reengrase en horas de trabajo a temperatura amb.							3GZV 193 007-5	
M3BPV	Grasa	Rpm	60° C	70° C	80° C	90° C		
160	25 gr	1000	4000	2500	1500	1000		
		1500	3400	2000	1200	700		
200	40 gr	1000	4000	3000	1800	1000		
		1500	2700	1600	900	600		
225	50 gr	1000	3500	2700	1600	900		
		1500	2500	2000	1400	800		
250	60 gr	1000	3300	2300	1300	800		
		1500	2300	1500	900	600		
No sobrepasar las velocidades especificadas								
Intervalos de reengrase para maquinas en sentido vertical son la mitad de los valores expuestos								
Utilizar las siguientes grasas o sus grasas de rendimiento equivalente					Shell	Albida PPS 2		
					Mobil	Mobilith SHC220		
Consulte las instrucciones de la máquina								

Placa de datos: motores con cojines reengrasable

### 3.4.6. Motores con freno

Los frenos de disco electromagnéticos **trabajan por la acción de un sistema de resortes y se liberan al aplicar voltaje a la bobina del freno.**

Esto significa que el motor frenará automáticamente en caso de cualquier falta del voltaje, como característica significativa de la seguridad. El freno es siempre funcional, con independencia de la posición de montaje del motor del freno. Las dimensiones externas para la CC y el freno trifásico de la CA son idénticas



Ejemplo de motor con freno

La guarnición de freno se hace del material libre de asbestos. Es altamente resistente al desgaste y tiene conductividad térmica excelente, así da funcionamiento constante incluso en las temperaturas altas.

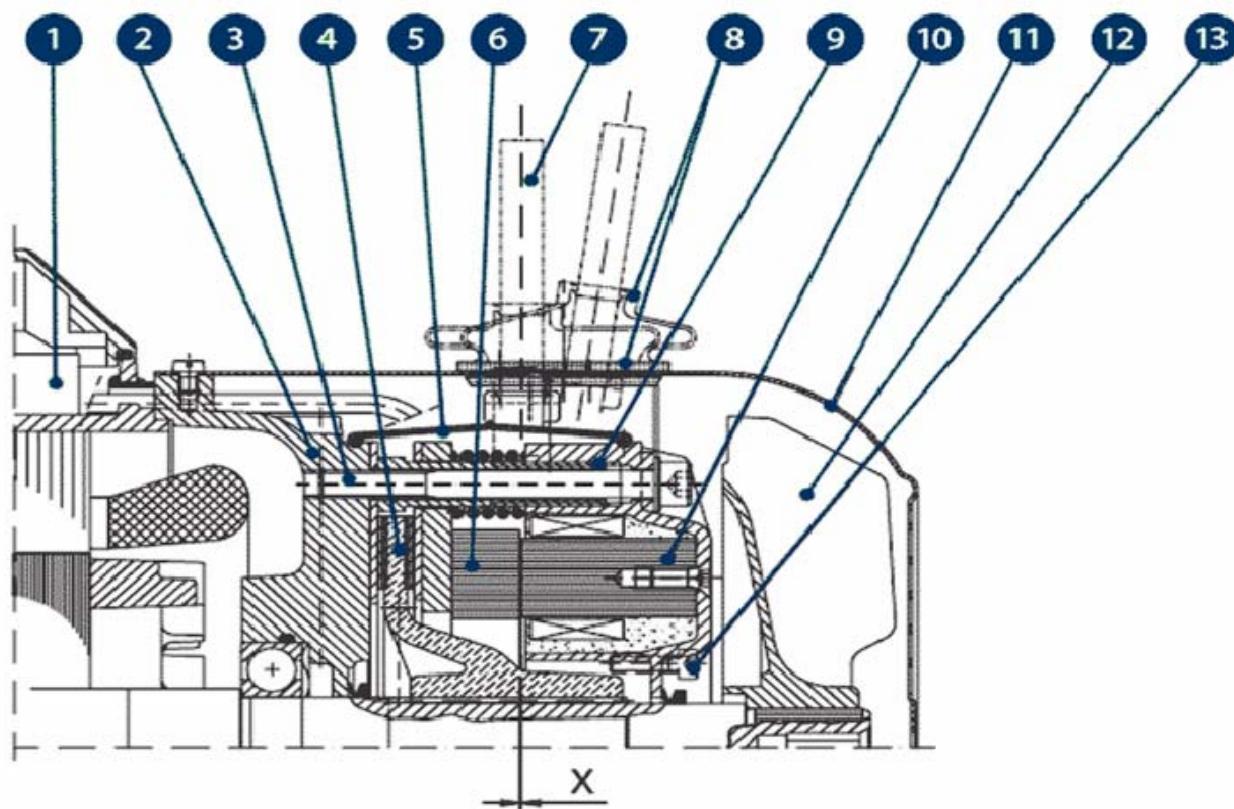
El disco del freno soporta una gran cantidad de operaciones de frenado y es insensible al polvo y a la humedad.

La base del disco del freno se acanal y se hace de poliamida especial que absorbe impactos y permite trabajar con alta vibración.

El freno se alimenta vía un rectificador. El voltaje indicado en la placa de datos de servicio del freno es el de la bobina del freno en el lado de la CC del rectificador.



Disco de freno



- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. Rectificador (Freno DC solamente)      | 8. Fuelle de palanca manual           |
| 2. Protección motor lado N                | 9. Tornillo de regulación de la junta |
| 3. Tornillo                               | 10. Magneto                           |
| 4. Disco de freno                         | 11. Cubierta del ventilador           |
| 5. Protección contra polvo (opcional)     | 12. Ventilador                        |
| 6. Armadura                               | 13. Tornillo de regulación del torque |
| 7. Palanca de liberación manual del freno |                                       |

#### Componentes de un motor con freno

## ACTIVIDAD. 8 Diseños eléctricos

Este ejercicio permite identificar los diseños eléctricos de los motores asincrónicos trifásicos

Leer cada una de las siguientes afirmaciones y completar con el nombre del motor según corresponda



Motores que cumple doble función: como ventilador normal y como ventilador en caso de incendio.

---

---

---

Motores capaces de soportar temperaturas hasta 90° C combinada con humedad del 100% y el diseño altamente corrosivo de la mayoría de los ambientes

---

---

---

Motores que se utilizan cuando es necesario reducir pérdidas de energía hasta 40%.

---

---

---

Motores que trabajan por la acción de un sistema de resortes y se liberan al aplicar voltaje a la bobina del freno.

---

---

---

Motores que requieren de una construcción muy especial debido a que se utilizan en ambientes altamente peligrosos

---

---

---

Motores que pueden controlar la velocidad paso a paso por uno o más convertidores de frecuencia.

---

---

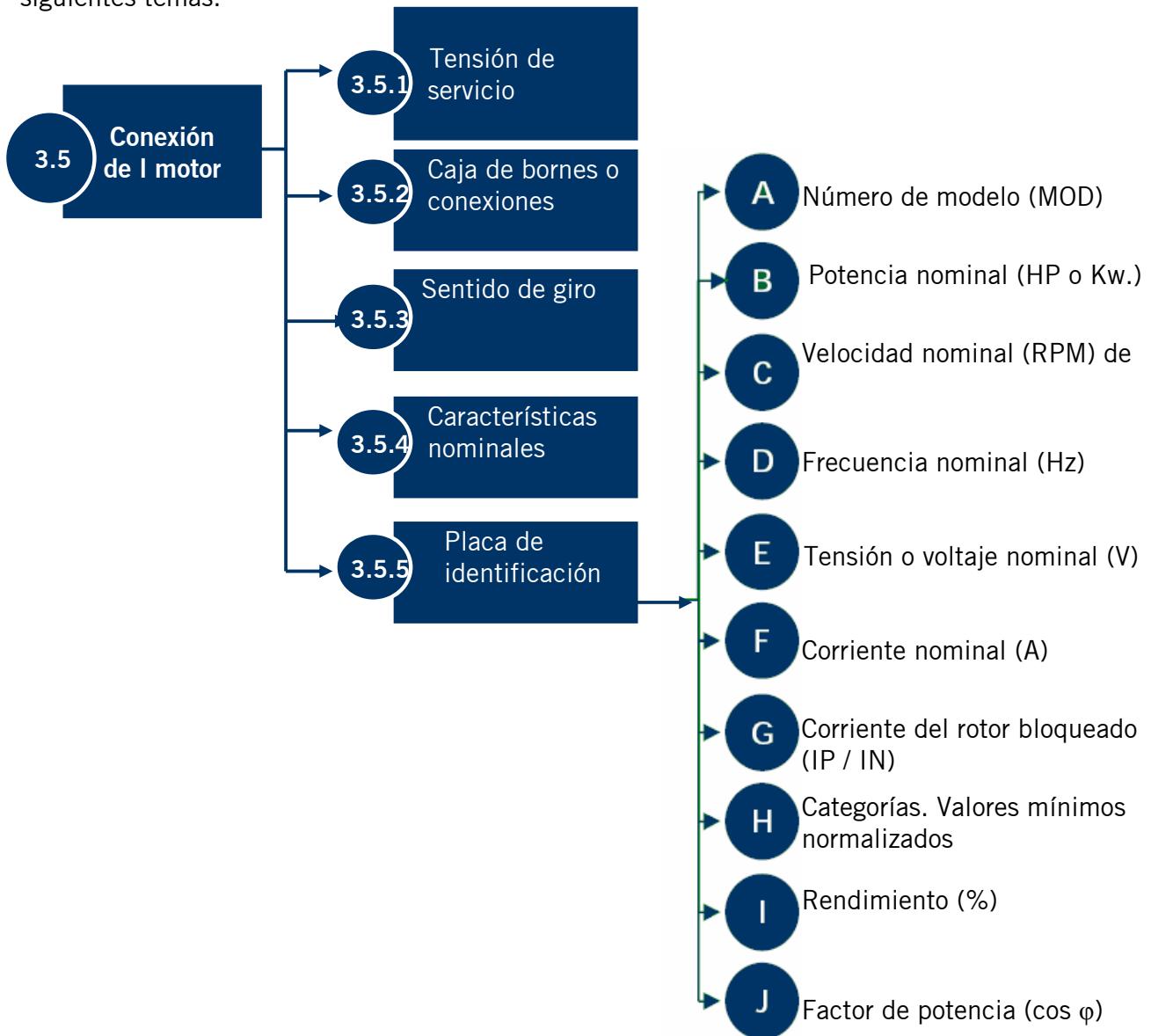
---

## 3.5 Conexión del motor

### Presentación

Las redes trifásicas de baja tensión están conformadas por tres conductores activos, L1, L2 y L3 y, en ocasiones, un conductor neutro N. Los conductores neutros son conectados al centro estrella del generador o del transformador correspondiente del lado de baja tensión. Dos conductores activos o uno de ellos, y el conductor neutro conforman un sistema de CA monofásica.

Para comprender cómo se realiza la conexión del motor asíncrono, se desarrollan los siguientes temas:



### 3.5.1. Tensión de servicio

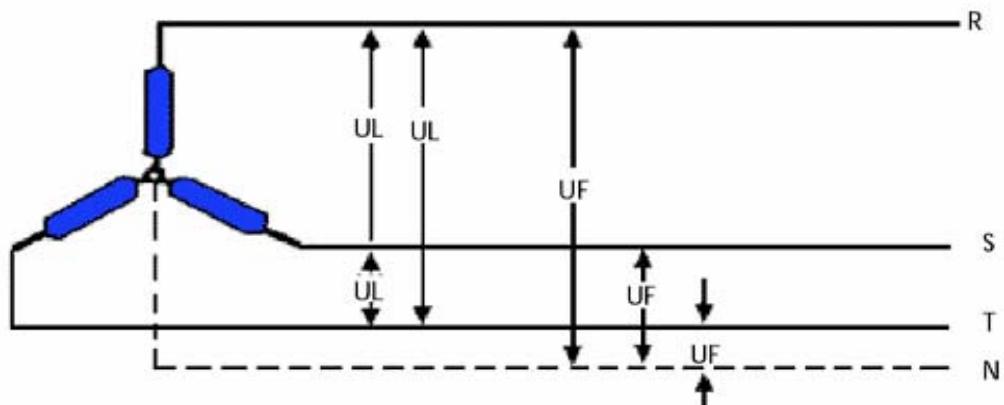
Existen dos tipos de tensiones

#### Tensión de línea

Tensión existente entre dos conductores activos (R, S, T). Es la tensión compuesta o tensión de red.

#### Tensión de estrella

Tensión existente entre un conductor activo y el conductor neutro. Es la tensión simple o tensión de fase.



Tensión de servicio

Se da la relación:

$$UL = 1.73 * UF$$

UL= Tensión compuesta entre fases.

UF= Tensión de fase (simple) entre una fase y el neutro.

### 3.5.2. Caja de bornes o conexiones

Todo motor tiene una caja terminal para la conexión del motor a la red. Esa caja encierra lo que habitualmente se llama placa de bornes o conexiones, que es el lugar en donde están las terminales del circuito interno.

En esta caja es posible hacer con comodidad las conexiones a la línea que provee la energía eléctrica.



Conexión triángulo y conexión estrella

Los motores trifásicos se conectan a los tres conductores activos R, S, y T para arranque directo, y pueden ser conectados en estrella o en delta.

#### ATENCIÓN



En caso de motores con rotor de jaula que tengan arranque en estrella/delta, la conexión de servicio será en delta

#### EJEMPLO



Si un motor ha sido construido para trabajar con una tensión de fase de 220 V, se conecta:

- Delta a red de 3 x 220 V.
- Estrella a red de 3 x 440 V.

Su placa característica indicará 220/440 V.

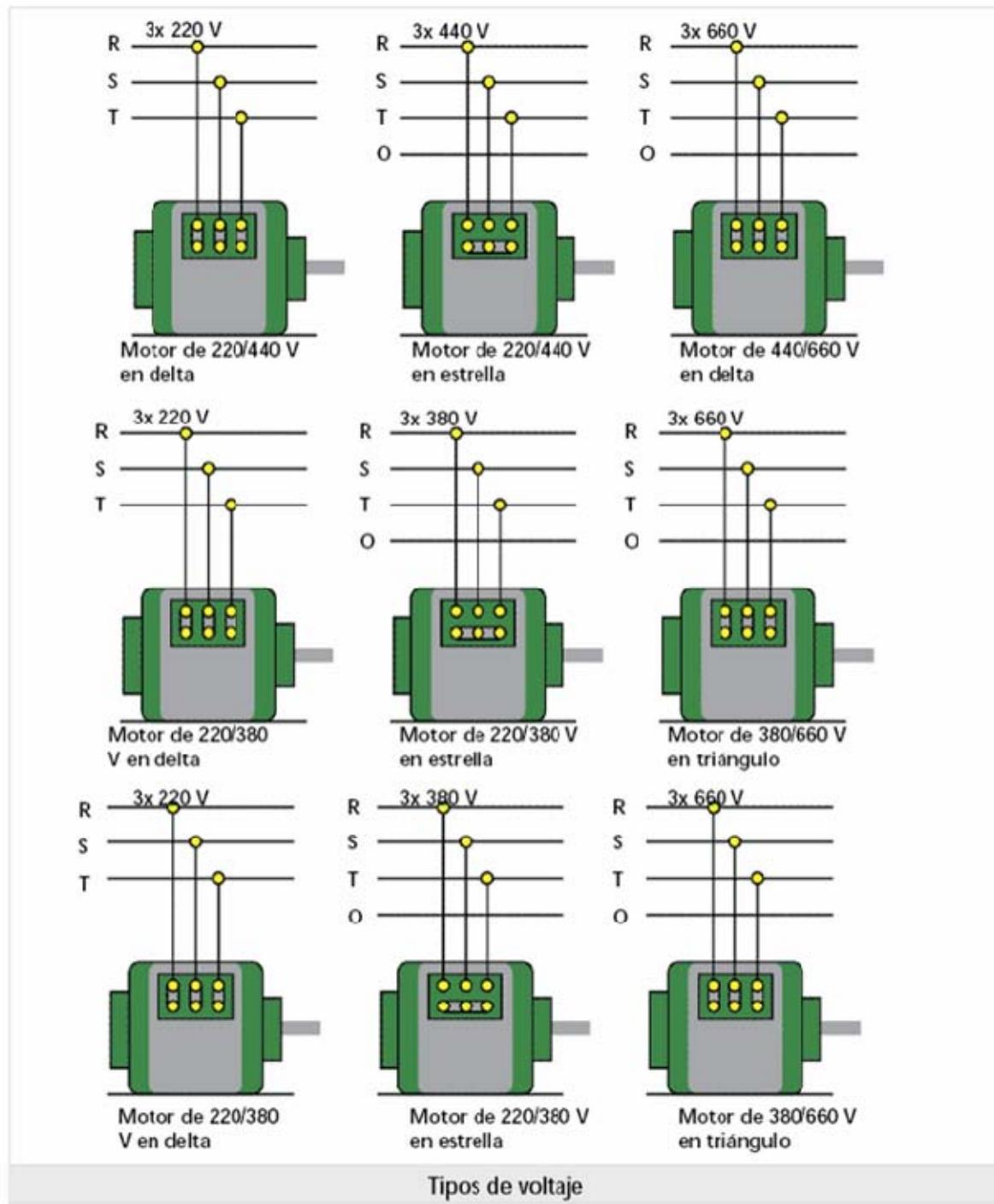
Si ha sido construido para trabajar con 440 V por fase, se puede conectar:

- Delta a red de 3 x 440 V.
- Estrella a red de 3 x 660 V.

Su placa característica indicará 440/660 V.

Existen diversos voltajes para las conexiones de baja y alta tensión de los motores. Los valores de los voltajes dependen del país donde se instale el motor.

En algunos países, el voltaje de alta de los motores es 440 V, y el voltaje de baja es de 220 V. Se recomienda, pues, verificar las tensiones de voltaje disponibles en cada área, así como también las características de voltaje y frecuencia del motor para comprobar que coincidan. De otra forma el motor podría no trabajar apropiadamente.





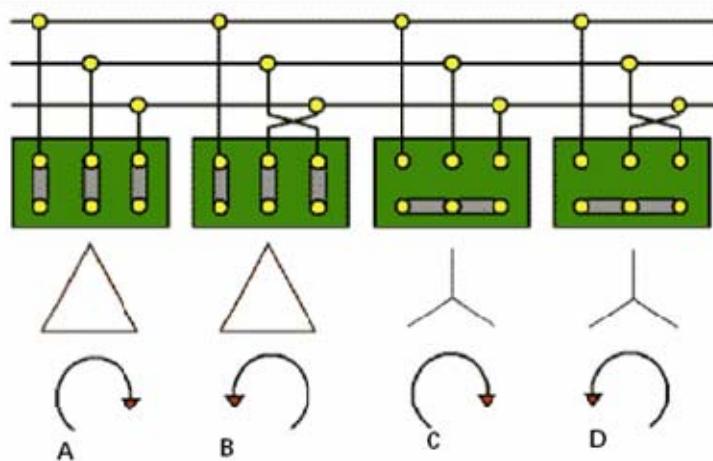
## ANEXO

Si desea conocer las conexiones típicas de los motores asíncronos, le sugerimos que lea el Anexo del manual.

### 3.5.3. Sentido de giro

El sentido de giro puede ser invertido, cambiando la conexión de dos de los conductores activos.

Los motores con sólo un extremo de eje, o bien con dos extremos de diferente diámetro, se los considera como sentido de giro válido del rotor. Se comprueba mirando desde la parte frontal del único, o más grueso, extremo del eje. Tal como se muestra en la figura, también se deben considerar a favor de las manecillas del reloj o hacia la derecha, (A) y (C), y en contra de las manecillas del reloj o hacia la izquierda, (B) y (D).



Cambio de rotación del motor

### 3.5.4. Características nominales

Cuando el fabricante diseña un motor y ofrece a la venta, debe incorporar ciertos valores adaptados a su funcionamiento:

- Características de la red eléctrica de alimentación del motor.
- Características de la carga a accionar.
- Condiciones de funcionamiento del motor.

**ACTIVIDAD. 9 Verdadero / Falso**

Este ejercicio permite verificar la comprensión sobre las conexiones de motores asíncrónicos



Lea cada una de las siguientes afirmaciones e indicar si es verdadera o falsa

**1**

La tensión de estrella es la tensión existente entre un conductor activo y el conductor neutro.

- A) Verdadero
- B) Falso

**2**

Para el arranque directo, los motores trifásicos sólo pueden ser conectados en estrella.

- A) Verdadero
- B) Falso

**3**

El sentido de giro puede ser invertido, cambiando la conexión de dos de los conductores activos.

- A) Verdadero
- B) Falso

**4**

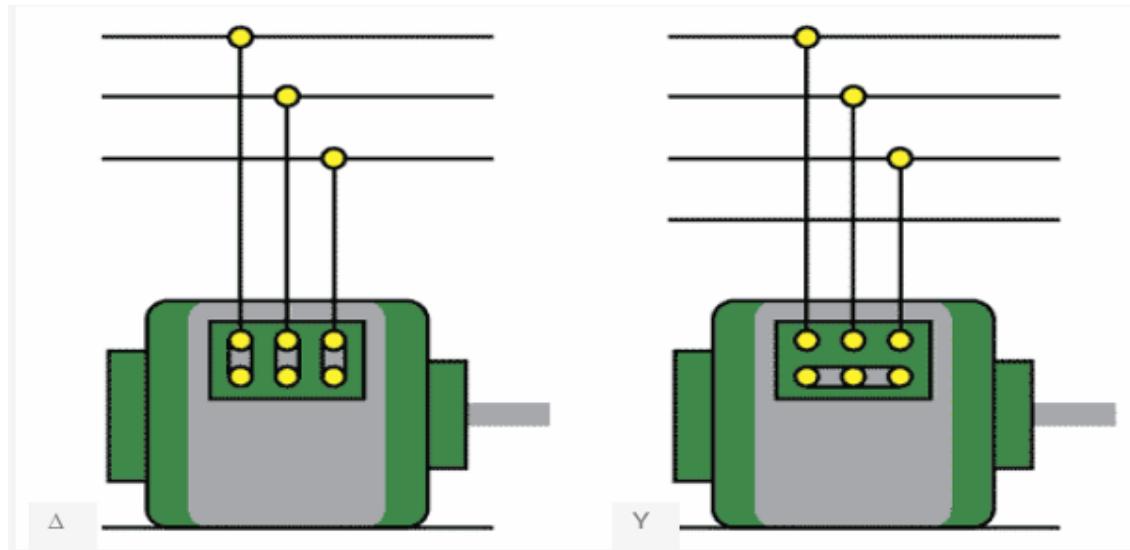
En caso de motores con rotor de jaula que tenga arranque estrella / delta la conexión de servicio será en estrella.

- A) Verdadero
- B) Falso

**ACTIVIDAD. 10 Esquemas de conexión**

Este ejercicio permite identificar las conexiones de la caja de conexión y las conexiones posibles de los motores

Diseñar un esquema de conexión usando un diagrama de bonera



Para realizar el esquema de conexión, seleccionar una de las siguientes indicaciones de la placa característica:

- 220/440 V.
- 220/380 V.
- 380/660 V.
- 440/660 V.

Observaciones

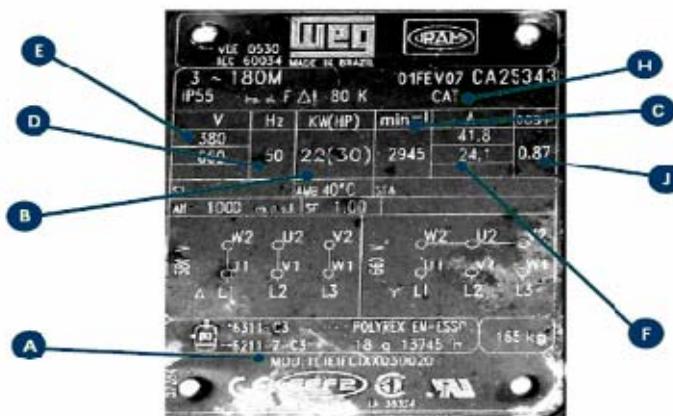
---

---

---

### 3.5.5. Placa de identificación

La placa de identificación contiene la información que determinará las características nominales y de funcionamiento de los motores



- A Número de modelo  
B Potencia  
C Velocidad  
D Frecuencia  
E Tensión

- F Corriente  
H Categoría  
I Rendimiento  
J Factor de Potencia

#### Ejemplo de una placa de un rotor trifásico

Evidentemente, es imposible colocar en la placa todas las informaciones detalladas, de modo que es preciso recurrir a ciertas abreviaciones.

Además de eso, es necesario que los valores presentados sean objetivos y no estén sujetos a interpretaciones diversas sobre su significado. Para ello, el fabricante técnicamente apto, debe considerar las normas técnicas que estandarizan las abreviaciones y símbolos, con un sólo significado, y los límites de validez de los valores presentados.

A continuación se describen los datos que contiene una placa de identificación.

#### A. Número de modelo (MOD)

El número de modelo que contiene la placa de identificación, es la referencia del fabricante para el registro de las características nominales del motor y sus detalles constructivos. Siempre se debe mencionar, pedir información o especificar las irregularidades de funcionamiento del motor.

#### B. Potencia nominal (HP o kW)

Es **la potencia que el motor puede dar**, dentro de sus características nominales, operando continuamente.

**C. Velocidad nominal (RPM)**

Es la **velocidad del motor funcionando a potencia, tensión y frecuencia nominal**. Depende del deslizamiento y de la velocidad sincrónica.

**D. Frecuencia nominal (Hz)**

Es la **frecuencia de la red para lo cual el motor fue diseñado**.

**E. Tensión o voltaje nominal (V)**

Es la **tensión para la cual el motor fue diseñado**.

**F. Corriente nominal (A)**

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

**G. Corriente del rotor bloqueado (IP / IN)**

El valor de IP / IN es la relación entre la corriente del rotor bloqueado y la corriente nominal.

**H. Categorías. Valores mínimos normalizados**

De acuerdo con las características del torque en relación a la velocidad y la corriente de arranque, los motores de inducción trifásicos con rotor de jaula de ardilla, son clasificados en categorías, cada una adecuada a un tipo de carga. Estas categorías están definidas en la norma (NBR 7094) y son las siguientes:

**Categoría N**

Torque de arranque normal, corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. Constituyen la mayoría de los motores encontrados en el mercado y se prestan para el accionamiento de cargas normales como bombas, máquinas operativas, ventiladores, etc.

**Categoría H**

Torque de arranque alto, corriente de arranque nominal y bajo deslizamiento. Usados para cargas que exigen mayor torque en el arranque, como transportadores, cargadores, cargas de alta inercia, quebrantadores, etc..

**Categoría D**

Torque de arranque alto, corriente de arranque nominal y alto deslizamiento (más de 5%). Usados en prensas excéntricas y máquinas semejantes. Usados también en elevadores y cargas que necesitan de torque muy alto y corriente de arranque limitada.

## I. Rendimiento (%)

El rendimiento **depende del diseño y del tipo de motor**. Su valor es influenciado por la cantidad de energía eléctrica transformada en energía mecánica también depende de las pérdidas (diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida) que se presentan



### EJEMPLO

Cuando haya que reducir la potencia, los motores tendrán valores de servicio más desfavorables que los indicados en su catálogo. Los valores de servicio de los motores con potencias diferentes a las nominales varían del siguiente modo: el deslizamiento se altera, aproximadamente, en proporción directa con la potencia. El rendimiento ( $\eta$ ) puede ser extraído de la tabla siguiente para cargas parciales.

Rendimiento en % a la carga parcial de:			
1/2	3/4	4/4	5/4
De la carga nominal			
93.5	95	95	94.5
92.5	94	94	93.5
91.5	93	93	92.5
91	92	92	91.5
90	91	91	90
89	90	90	89
88	89	89	88
87	88	88	87
86	87	87	86
85	86	86	85
84	85	85	83.5
83	84	84	82.5
82	83	83	81.5
81	82	82	80.5
80	81	81	79.5
79	80	80	78.5
77	79.5	79	77.5
75.5	78.5	78	76.5
74	77.5	77	75
73	76	76	74
72	75	75	73

## EJEMPLO continuación



Rendimiento en % a la carga parcial de:			
1/2	3/4	4/4	5/4
De la carga nominal			
71	74	74	72
70	73	73	71
68	72	72	70
67	71	71	69
66	70	70	68
65	69	69	67
64	67.5	68	66
62	66.5	67	65
61	65	66	64
60	64	65	63
59	63	64	62
57	62	63	61
56	60.5	62	60.5
55	59.5	61	59.5
54	58.5	60	58.5
53	58	59	57
52	57	58	56
51	55	57	55
49	54	56	54
47	52	55	53
46	51	54	52
45	50	53	51

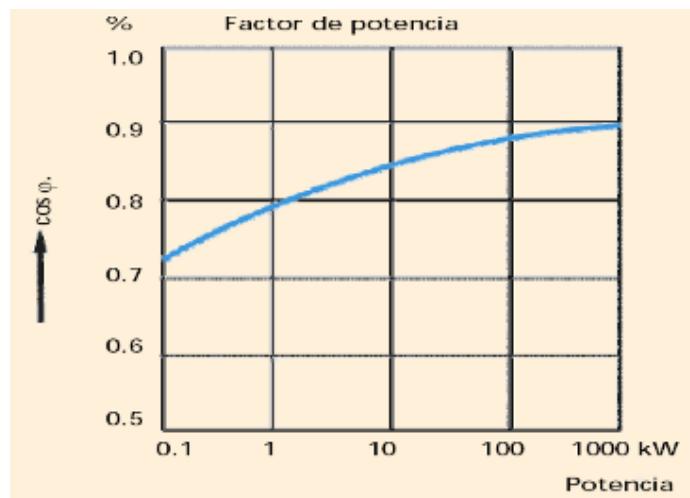
**J. Factor de potencia ( $\cos \phi$ )**

Un motor no consume solamente potencia activa, la cual convierte en trabajo mecánico, también necesita potencia reactiva para la magnetización y ésta no produce trabajo. La **relación entre la potencia activa medida en kW y la potencia aparente en kVA**, se llama **factor de potencia**.



### EJEMPLO continuación

La curva representa la variación del factor de potencia a medida que aumenta la potencia del motor.



### EJEMPLO continuación

La tabla indica los valores recomendados para la corrección de factor de potencia mediante agregado de capacitores.

Potencia del motor	Potencia del condensador (kvar)
4.0 a 4.9	2
5.0 a 5.9	2.5
6.0 a 7.9	3
8.0 a 10.9	4
11.0 a 13.9	5
14.0 a 17.9	6
18.0 a 21.9	8
22.0 a 29.9	10
A partir de 30.0	35% aprox. De la potencia nominal del motor



## EJEMPLO

Cuando haya que reducir la potencia, los motores tendrán valores de servicio más desfavorables que los indicados en su catálogo. Los valores de servicio de los motores con potencias diferentes a las nominales varían del siguiente modo: el deslizamiento se altera, aproximadamente, en proporción directa con la potencia. El factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) puede ser extraído de la tabla siguiente para cargas parciales.

Factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) a la carga parcial

Factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) a la carga parcial de:			
1/2	3/4	4/4	5/4
De la carga nominal			
0.83	0.88	0.90	0.90
0.80	0.86	0.89	0.89
0.78	0.85	0.88	0.88
0.76	0.84	0.87	0.87
0.75	0.83	0.86	0.86
0.73	0.81	0.85	0.86
0.71	0.80	0.84	0.85
0.69	0.79	0.83	0.84
0.67	0.77	0.82	0.83
0.66	0.73	0.81	0.82
0.65	0.75	0.80	0.81
0.63	0.74	0.79	0.80
0.61	0.72	0.78	0.80
0.59	0.71	0.77	0.79
0.58	0.70	0.76	0.78
0.56	0.69	0.75	0.78
0.55	0.68	0.74	0.77
0.54	0.67	0.73	0.76
0.52	0.63	0.72	0.77
0.50	0.62	0.71	0.76

## EJEMPLO

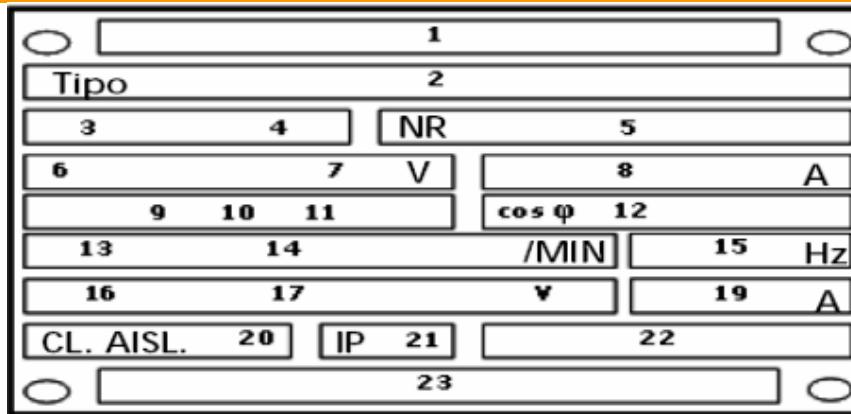


En este ejemplo se señalan todos aquellos elementos descriptos y la forma en que se colocan en una **placa de identificación según la norma DIN 42 961**.

Se debe tener presente que la placa, la cantidad y ordenamiento de los elementos pueden variar de un fabricante a otro.



## EJEMPLO



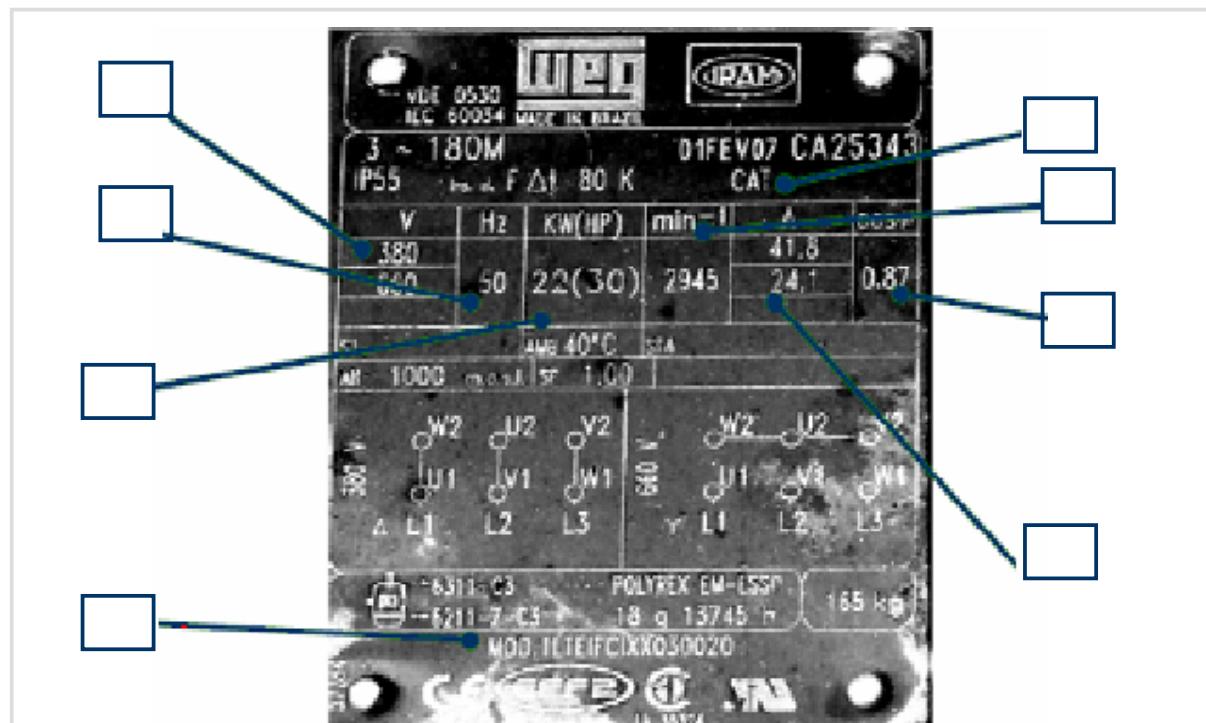
## Especificaciones de un placa de identificación según DIN 42961

Nº	Explicación
1	Fabricante, emblema de la empresa
2	Tipo de denominación del modelo o numero de lista
3	Tipo de corriente G= continua E= monofásica D= trifásica
4	Tipo de funcionamiento G= generador Mot= motor
5	No de fabricación de serie
6	Tipo de conexión del devanado del estator: Δ= triángulo; Y= estrella.
7	Tensión nominal.
8	Intensidad nominal
9	Potencia nominal: potencia útil en $\varphi$ kWo W para los motores; potencia aparente en kVAo VA en los generadores síncronos.
10	
11	Tipo de régimen nominal.
12	Factor de potencia nominal cos
13	Sentido de giro, por ejemplo, giro a la derecha visto desde el lado de impulsión
14	Frecuencia de giro nominal
15	Frecuencia nominal.
16	Excitación en las máquinas de continua; Lfr: rotor en las máquinas asíncronas
17	Tipo de conexión del devanado del rotor.
18	Tensión nominal de excitación o tensión a rotor bloqueado.
19	Intensidad nominal de excitación, intensidad del rotor.
20	Clase de aislamiento, como Y, A, E, B, etc..
21	Tipo de protección, por ejemplo, IP 33.
22	Peso de la máquina en t (toneladas) para máquinas de más de 1 t.
23	Notas adicionales, por ejemplo, norma VDE aplicada, tipo de refrigerante, etc

**ACTIVIDAD. 11 ¿ Que se lee en la placa?**

Este ejercicio permite ejercitarse la lectura de la placa de identificación

Observar la placa e identificar cada una de las características, colocando la letra correspondiente en cada uno de los recuadros.



- A Número de modelo
- B Potencia
- C Velocidad
- D Frecuencia
- E Tensión

- F Corriente
- H Categoría
- I Rendimiento
- J Factor de Potencia

**Felicitaciones ! usted ha finalizado el capítulo 3.**  
A continuación se desarrollara el capítulo Características de los motores asincrónicos



# Características de los motores asincrónicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 4

---

4.1 Características de motores	97
4.2 Factores a considerar del motor	113
4.3 Prueba de motores	125
4.4 Determinación de las características de funcionamiento	135

En este capítulo se profundiza sobre las principales características que presentan los motores asincrónicos.



## 4.1 Características de los motores

### Presentación

A continuación se describirán las siguientes características de los motores asincrónicos:



#### 4.1.1. Régimen de servicio

Cuando se pone en funcionamiento una máquina, aumentan sus pérdidas, por lo tanto, se calienta. La temperatura de servicio de una máquina depende del tiempo durante el que está conectada y de la frecuencia de conexión.

El tipo de servicio a que se somete una máquina, es la estipulación de los ciclos de trabajo y reposo.

Entre los tipos de servicio se mencionan los siguientes:

Servicio Continuo	Es aquel de suficiente duración a carga constante, para que se alcance el equilibrio térmico con el medio (salvo que la placa del motor indique otra cosa, la potencia nominal que en dicha placa aparece corresponde a este tipo de servicio).
Servicio temporáneo o de corta duración	Es aquel en que se opera en carga un tiempo determinado menor que el requerido para alcanzar el equilibrio térmico, seguido por un tiempo de reposo tal que la máquina vuelve a la temperatura ambiente (por ejemplo, en los motores de desplazamiento de las máquinas / herramienta).
Servicio intermitente	Es aquel constituido por una secuencia de ciclo, cada uno de los cuales comprende un tiempo de operación y otro de reposo. El tiempo de operación que es demasiado breve para alcanzar el equilibrio térmico, se expresa en por ciento de la duración del ciclo..
Servicio interrumpido con carga intermitente	Es aquel en que el motor está conectado continuamente, pero se alternan estados de carga y de vacío o menor carga. Los tiempos de carga en este caso también se expresan en por ciento de la duración de ciclo.

Existen otros tipos de servicio, combinación de los indicados, o bien incluyen arranque y frenado eléctrico.

#### ATENCIÓN

Para poder utilizar correctamente un motor, es fundamental analizar cómo la sucesión de las corrientes de arranque y frenado y de cada estado de carga van calentando al motor.



Para evitar que el motor alcance un calentamiento mayor que el admisible, en función de la carga y servicio, es imprescindible la protección de sobrecarga. Esta protección se hace con protectores térmicos, que funcionan a bimetales, donde pasa la misma corriente del motor (o una parte) y, por lo tanto, sufren un calentamiento igual al de los arrollamientos.

En motores de mayor potencia o alta tensión se utilizan relevadores de sobrecarga. Los más adecuados son los de imagen térmica y los indicadores internos de temperatura.

Según la norma VDE 530, parte 1, se diferencia entre ocho distintas clases de servicio.

## GLOSARIO



VDE: Asociación de Electricidad, Electrónica y Tecnologías de la Información (Verbände für Branchen und Berufe der Elektro- und Informationstechnik).

Los tipos de regímenes y los símbolos alfanuméricos que se atribuyen se indican a continuación

Tipos de regímenes	
Régimen del tiempo grande (S1)	La máquina funciona con una carga constante. El tiempo de carga es grande para que la temperatura de la máquina alcance su valor máximo
Régimen del tiempo limitado (S2)	Se presenta cuando la máquina no queda cargada el tiempo suficiente para que la temperatura alcance su valor máximo. El tiempo de parada es largo para que la máquina vuelva a enfriarse
Régimen intermitente periódico (S3)	
Régimen intermitente periódico con arranque (S4)	La máquina se carga intermitentemente durante períodos breves de tiempo, pero las pausas en el servicio no son suficientes para que se enfríe
Régimen intermitente periódico con retardo eléctrico (S5)	
Régimen de funcionamiento continuo con carga intermitente (S6)	Las máquinas funcionan interrumpidamente pero con cargas Variables
Régimen de funcionamiento continuo con retardo eléctrico (S/)	
Régimen de funcionamiento continuo con transformación periódica en la relación carga y velocidad de rotación (S8).	



## ANEXO

En el Anexo de este manual podrá conocer con mayor detalle los regímenes de servicio.

### 4.1.2. Factor de servicio

Se llama factor de servicio (FS) al factor que, aplicado a la potencia nominal, **indica la carga que puede ser aplicada continuamente al motor**, según la placa de especificación.

Se trata de una capacidad de sobrecarga continua, es decir, una reserva de potencia que da al motor una capacidad de soportar condiciones desfavorables manteniendo un buen funcionamiento.

El factor de servicio FS = 1.0 significa que el motor no fue diseñado para funcionar continuamente por encima de su potencia nominal.

### 4.1.3. Grado de protección

Define los grados de protección de los equipos eléctricos por medio de las letras características IP, seguidas por dos números. El primer número indica un grado de protección contra penetración de cuerpos sólidos extraños y contacto accidental y el segundo número señala el grado de protección contra penetración de agua en el interior del motor.

La letra (W), colocada entre las letras IP y los números indicativos del grado de protección, indica que el motor está preparado para operar a la intemperie.



## EJEMPLO

En una placa de identificación en donde se indica el código de identificación como IP (W) 55 significa que el motor tienen un grado de protección IP55 en cuanto a penetración de polvo y agua, y además está protegido contra intemperies (lluvia, marejada, etc.). Los motores que tienen esa especificación generalmente tienen son para uso naval.

Esta codificación se presenta a continuación

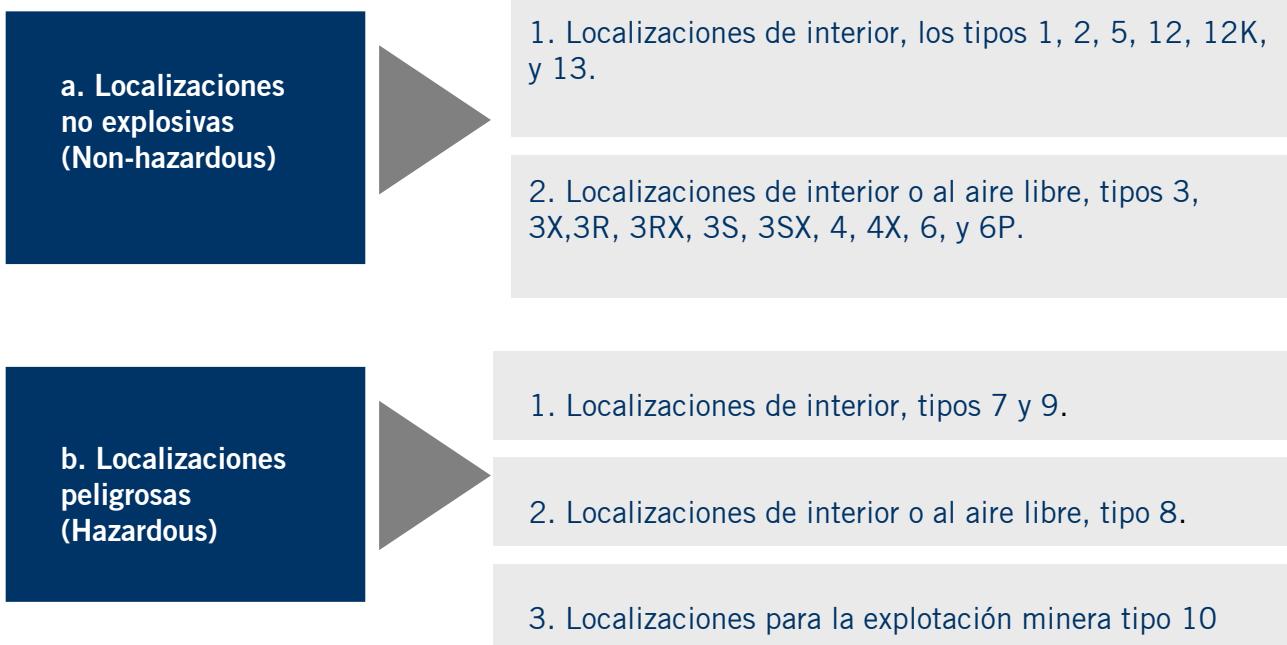
<b>Grados de protección contra contactos y cuerpos extraños</b>		
<b>1º cifra</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>
<b>0</b>	Sin protección	Sin protección especial para personas contra el contacto directo de partes activas o móviles. Sin protección del utensilio contra la penetración de cuerpos extraños sólidos.
<b>1</b>	Protección contra cuerpos extraños Grandes	Protección contra contactos casuales y de gran superficie de partes activas o internas móviles, por ejemplo, con la mano, pero sin protección contra un acceso sin intención a estas partes. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro mayor que 50 mm(1.96").
<b>2</b>	Protección contra cuerpos extraños de tamaño mediano	Protección contra un contacto con los dedos de partes activas o internas móviles. Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro mayor que 12 mm (aproximadamente 1/2").
<b>3</b>	Protección contra cuerpos extraños Pequeños	Protección contra un contacto de partes activas o móviles con herramientas, cables o similares con un espesor mayor que 2.5 mm(1"). Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro mayor que 2.5 mm.
<b>4</b>	Protección contra cuerpos extraños Granulares	Protección contra el contacto de partes activas o móviles con herramientas, cables o similares con un espesor mayor que 1 mm(0.03"). Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños de diámetro mayor que 1 mm.
<b>5</b>	Protección contra depósitos de Polvo	Protección total contra el contacto de partes activas o internas móviles. Protección contra depósitos de polvo nocivos. La entrada de polvo no se evita totalmente, pero sí la de cantidades suficientes para perjudicar el funcionamiento del aparato.
<b>6</b>	Protección contra la entrada de polvos	Protección total contra el contacto de partes activas o internas móviles. Protección contra la penetración de polvo.

Esta codificación se presenta a continuación

Grados de protección contra agua		
1º cifra	Denominación	Descripción
0	Sin protección	Sin protección personal.
1	Protección contra goteo vertical	Las gotas de agua que caigan verticalmente no deben producir efectos perjudiciales.
2	Protección contra goteo inclinado	Las gotas de agua que caigan formando un ángulo de hasta 15° con la vertical no deben producir efectos perjudiciales.
3	Protección contra rociado	El agua que caiga formando un ángulo de hasta 60° con la vertical no debe producir efectos perjudiciales
4	Protección contra salpicaduras de agua	El agua que salpique contra el aparato desde cualquier ángulo no debe producir efectos perjudiciales
5	Protección contra chorros de agua	Un chorro de agua de una tobera dirigida desde cualquier dirección hacia el aparato no debe producir efectos perjudiciales
6	Protección contra inundaciones	El agua de inundaciones pasajeras no debe entrar en cantidades perjudiciales en el aparato
7	Protección contra inmersiones	Cuando el aparato se sumerja en agua bajo condiciones de presión y de tiempo prefijados no debe entrar agua en cantidades perjudiciales
8	Protección contra sumergimientos seguros	Cuando el aparato se sumerja en agua no deberán entrar en cantidades perjudiciales

#### 4.1.4. Categorización NEMA

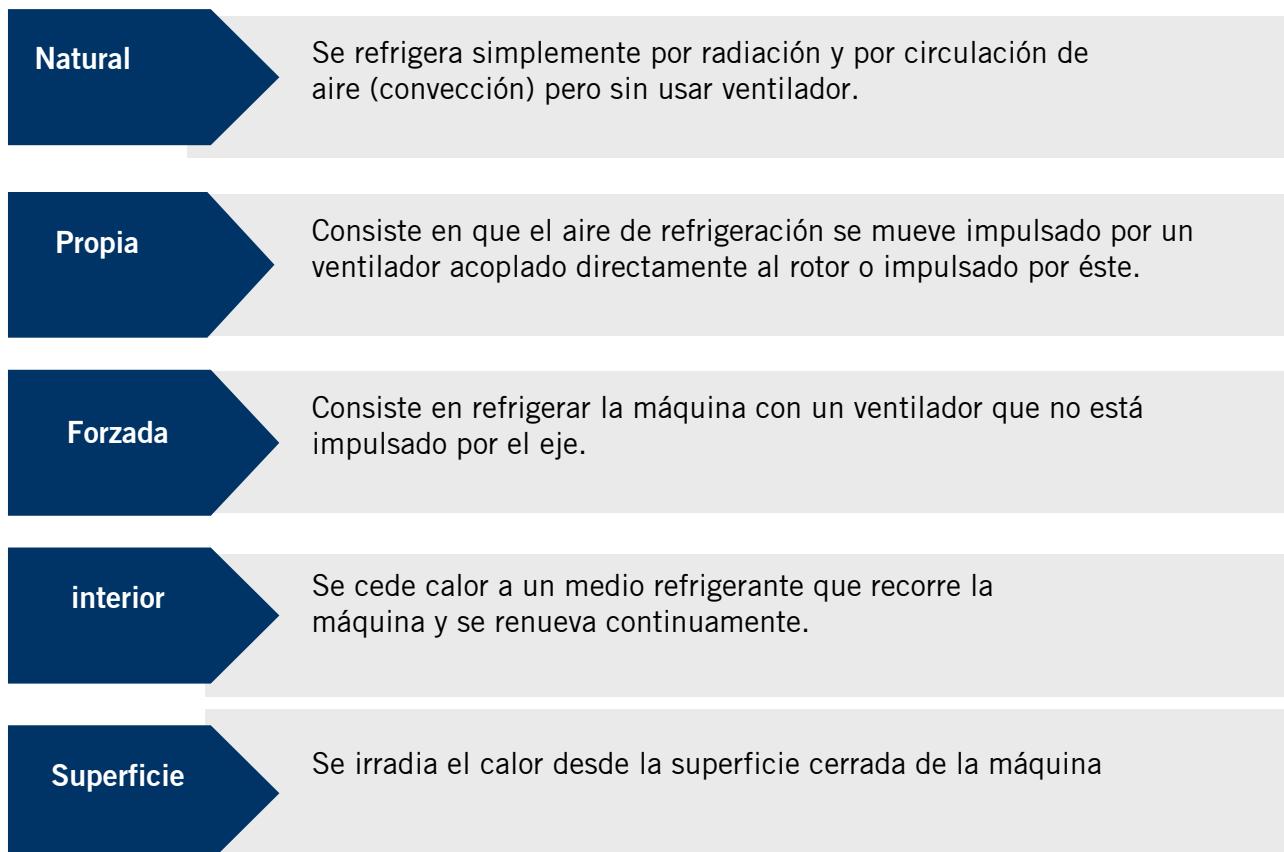
Se trata de una clasificación de motores basada en el estándar de la asociación NEMA. Este estándar clasifica los motores en base a los recintos, aplicaciones y condiciones ambientales una vez instalado el equipo eléctrico.



#### 4.1.5. Refrigeración

La temperatura de régimen de una máquina depende del valor de la carga y además de su refrigeración. Cuando la máquina disponga de una buena refrigeración que permita extraer gran parte del calor disipado, se le podrá someter a una carga mayor.

Según la norma VDE 0530, la refrigeración se clasifica por su tipo y su forma de actuar en:





## EJEMPLO

IC 4 (A) 1 (A) (6)

Enfriamiento internacional

Arreglo del circuito

0: Circulación libre (circuito abierto)

4: La superficie del capítulo se refrescó

Líquido refrigerado primario

A para aire (omitido por la designación simplificada)

Método de movimiento de líquido refrigerador primario

0: Convección libre

1: Uno mismo-circulación

6: Componente independiente montado en máquina

Líquido refrigerador secundario

A para aire (omitido para la designación simplificada) W

para el agua

Método de movimiento del líquido refrigerador  
secundario

0: Convección libre

1: Uno mismo-circulación

6: Componente independiente montado en máquina

8: Desplazamiento relativo

IC-410 Motor totalmente cerrado sin ventilador.

IC-411 Motor estándar totalmente cerrado, superficie de la carcasa enfriada por ventilador.

IC-416 Motor totalmente cerrado con ventilador auxiliar.

IC-418 Motor totalmente cerrado superficie de la carcasa enfriada sin ventilador.

IC-01 Motor abierto.

IC-31W Tubos de entrada y salida o ductos de recirculación: agua de enfriamiento

**EJEMPLO****IC 31 W Motores enfriados por agua****IC 411 Motores estándar**

Los motores deben aislarse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

:

- Su tensión nominal.
- Su potencia nominal.
- Su tipo de servicio.

En líneas generales, un aislante para máquinas eléctricas debe cumplir dos requisitos esenciales

- Soportar las tensiones eléctricas con un adecuado margen de seguridad.
- Soportar la máxima temperatura de servicio por tiempo indefinido sin disminuir sus cualidades dieléctricas.

**GLOSARIO**

Temperatura de servicio o de régimen:

Temperatura final para la cual todo el calor generado por las pérdidas de la máquina es emitido al medio ambiente. Éste es un valor importante, debido a que de él depende que los materiales aislantes trabajen correctamente, pues ésta no debe sobrepasar la temperatura permanente indicada por la clase. La temperatura ambiente y la refrigeración modifican la temperatura de régimen

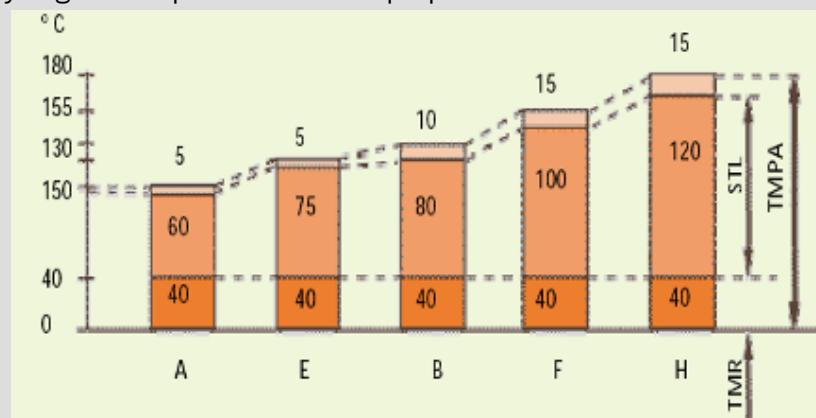
La clase de aislamiento de los materiales y las temperaturas límites que le son permitidas, según la norma DIN 42 961:

Clasificación de aislamientos presentes en un motor		
Clase	Material aislante	Temperatura máxima permanente (° C)
A	Algodón, lana celulósica, seda artificial, seda natural, papel prespan, esmaltes para conductores a base de aceites secos y resinas artificiales tratadas con aceite.	105
E	Hilo esmaltado (incluso con hojas de celulosa) a base de polivinil-acetal, poliamida, hojas a base de triacetato de celulosa y otros.	120
B	Productos a base de mica, amianto o vidrio, por ejemplo micafolio, micanita.	130
F	Productos a base de mica, amianto o vidrio con soporte inorgánico, micanita.	155
H	Productos a base de mica, amianto o vidrio con soporte inorgánico, micanita, siliconas puras.	180
C	Mica, porcelana, vidrio, cuarzo o productos semejantes refractarios.	Mayor a 180

Durante la refrigeración se deben considerar los siguientes aspectos:

#### Tablas del fabricante

Las tablas siguientes indican la temperatura final que pueden alcanzar las diferentes aislaciones y seguir cumpliendo con sus propiedades.



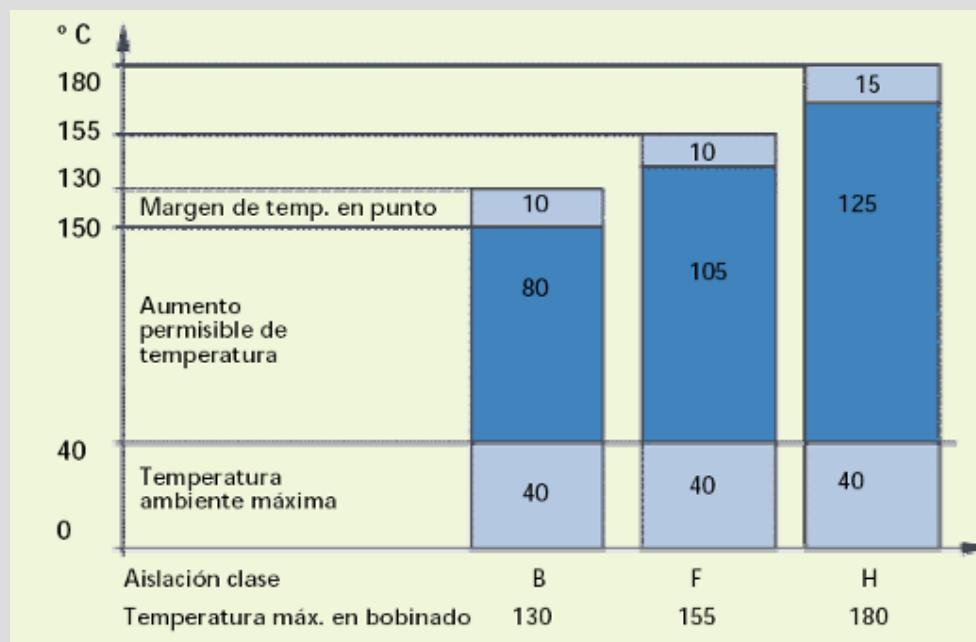
TMPA: Temperatura máxima permanente admisible (° C).

TMR: Temperatura del medio refrigerante (° C).

STL: Sobre temperatura límite (calentamiento) (° C).

### Tablas del fabricante (continuación)

Sobre temperatura límite en ° C (STL)					
Clase de alimento	A	E	B	F	H
Devanado aislado	60	75	80	100	125
Colectores, anillos rozantes	60	70	80	80	80
Cojinetes de rodamiento y desplazamiento	50	50	50	50	50
Cojinetes de rodamiento con grasas especiales	60	60	60	60	60



### Desclasificación por altitud y temperatura

La instalación de la máquina dependerá de las condiciones del ambiente. La tabla siguiente indica los porcentajes a los que deberán afectarse.

Temperatura del medio refrigerante ° C	Potencia admisible en % de la potencia nominal	Altura de instalación sobre el nivel del mar (mt.)	Potencia admisible en % de la potencia nominal
30	107	1000	100
35	104	2000	94
40	100	3000	86
45	96	4000	77
50	92	<b>Para temperatura del medio refrigerante de 40° C.</b>	
55	87		
60	82		

### Cargabilidad

El dimensionamiento del motor se debe realizar utilizando un motor de aislamiento F con una sobreelevación de temperatura B.

El aumento de la temperatura en otras partes del motor debe tenerse en cuenta y también la lubricación a intervalos de grasa y el tipo de control.

#### 4.1.6. Formas constructivas normalizadas

La siguiente tabla indica las diversas formas constructivas (montaje) normalizadas. Cada figura representa una configuración de referencia.



##### EJEMPLO

###### Ejemplos de montaje

<i>Código I</i>	<i>IMB3</i>	<i>IMV5</i>	<i>IMV6</i>	<i>IMB6</i>	<i>IMB7</i>	<i>IMB8</i>
<i>Código II</i>	<i>IM 100I</i>	<i>IM 101I</i>	<i>IM 103I</i>	<i>IM 105I</i>	<i>IM 106I</i>	<i>IM 107I</i>
<i>Motor de pie</i>						
<i>Código I</i>	<i>IMB5</i>	<i>IMV1</i>	<i>IMV3</i>	<i>IM305I</i>	<i>IM306I</i>	<i>IM307I</i>
<i>Código II</i>	<i>IM 300I</i>	<i>IM 301I</i>	<i>IM 303I</i>	<i>IM 305I</i>	<i>IM 306I</i>	<i>IM 307I</i>
<i>Con brida de motor, brida grande con un aclaramiento de agujeros de fijación</i>						
<i>Código I</i>	<i>IMB14</i>	<i>IMV18</i>	<i>IMV19</i>	<i>IM365I</i>	<i>IM366I</i>	<i>IM367I</i>
<i>Código II</i>	<i>IM 360I</i>	<i>IM 361I</i>	<i>IM 363I</i>	<i>IM 365I</i>	<i>IM 366I</i>	<i>IM 367I</i>
<i>Con brida de motor, brida pequeña con agujeros de fijación</i>						

\*) No está fijado en IEC 600 34-7

En la tabla se ha observado el estándar de varios diseños - NBR 5031, cada figura representa una configuración de referencia (con o sin patas), la ubicación del extremo del eje (en la carcasa y la caja de conexiones) y como soporte del motor



##### GLOSARIO

NBR:

Asociación Brasileña de Normas Técnicas (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Los motores eléctricos se proporcionan, por lo general en un B3 constructivo, para operación en una posición horizontal.

Características tales como bridales (FF, FC y FC Din), eje de la posición (horizontal y vertical) se proporcionan como opcional. Se recomienda el uso de sombrero de protección para los motores a la intemperie, eje hacia abajo.

**EJEMPLO**

IM 1 00 1

IM Arreglos de montaje

Designación internacional de montaje

Tipos de construcción, con patas motor con  
dos rodamientos protegidosArreglo de montaje, horizontal montaje con  
patas hacia abajo, etc.

Extensión de eje, una extensión cilíndrica, etc.

**ANEXO**

En el Anexo del presente manual, podrá conocer las abreviaturas de las formas constructivas.

**4.1.7. Frecuencia 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 apreciable resulta en elevación rápida de la temperatura del motor. Si el intervalo entre arranques sucesivos es muy reducido, llevará a una aceleración de temperatura excesiva en los bobinados, y puede provocar daños y reducir su vida útil.

La norma NBR 7094 establece un régimen de arranque mínimo que los motores deben ser capaces de realizar:

### Dos arranques sucesivos

El primer arranque se realiza con el motor frío, esto es, con sus bobinados a la temperatura ambiente y el segundo luego enseguida, sin embargo, después de que el motor haya desacelerado hasta el reposo.

### Un arranque con el motor caliente

El arranque se realiza con los bobinados a la temperatura de régimen. La primera condición simula el caso en que el primer arranque del motor es abortado, por ejemplo, por actuación de la protección, y se permite una segunda tentativa enseguida.

La segunda condición simula el caso de desconexión accidental del motor en funcionamiento normal, por ejemplo, por falta de energía en la red, y permite retomar el funcionamiento después del restablecimiento de la energía.

### EJEMPLO



Potencia nominal kW HP	J del motor aprox. Kg. m <sup>2</sup>	Frecuencia de maniobra en vacío Z0 (maniobras/horas)	Potencia nominal kW HP	J del motor aprox. Kg. m <sup>2</sup>	Frecuencia de maniobra en vacío Z0 kW HP kW HP (maniobras/horas)		
					kW	HP	
0.12	1/6	0.0003	4.000	3	4	0.0058	2.500
0.18	1/4	0.0004	4.000	4	5.5	0.0110	2.000
0.25	1/3	0.0006	3.500	5.5	7.5	0.0212	1.400
0.37	1/2	0.0008	3.500	7.5	10	0.026	1.200
0.55	3/4	0.0015	3.000	11	15	0.051	1.100
0.75	1	0.0018	3.000	15	20	0.060	600
1.1	1.5	0.0027	3.500	18.5	25	0.147	300
1.5	2	0.0036	3.000	22	30	0.162	300
2.2	3	0.0052	2.800	30	40	0.3	240

### ACTIVIDAD. 12 Tipos de servicio

Esta actividad permite consolidar los conocimientos sobre los tipos de servicio de los motores asincrónicos

Unir con flechas el tipo de servicio con la definición correspondiente



Servicio continuo

Es aquel en que se opera en carga un tiempo determinado menor que el requerido para alcanzar el equilibrio térmico, seguido por un tiempo de reposo tal que la máquina vuelve a la temperatura ambiente.

Servicio temporario o de corta duración

Es aquel en que el motor está conectado continuamente, pero se alternan estados de carga y de vacío o menor carga.

Servicio intermitente

Es aquel de suficiente duración a carga constante, para que se alcance el equilibrio térmico con el medio.

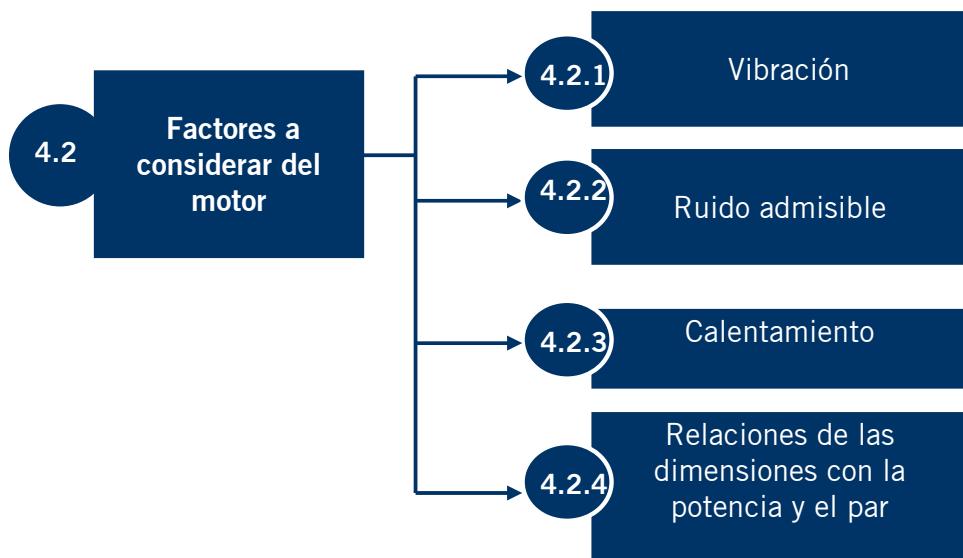
Servicio interrumpido con carga intermitente

Es aquel constituido por una secuencia de ciclo, cada uno de los cuales comprende un tiempo de operación y otro de reposo

## 4.2 Factores a considerar del motor

### Presentación

Al poner en funcionamiento los motores asincrónicos, es necesario considerar los siguientes factores:



### RECUERDE

Para profundizar sobre este tema, le recordamos ver el curso Inspección sensorial.



#### 4.2.1. Vibraciones

Las vibraciones excesivas son siempre perjudiciales para el propio motor porque afectan a los rodamientos (o cojinetes) y a la carcasa. Si además son transferidas al mecanismo que aquel impulsa, pueden hacerlo operar en condiciones no admisibles, como es el caso de máquinas herramientas de precisión.

Las fuentes de vibraciones pueden ser varias y cada una presenta características que permiten diferenciarlas y corregirlas.

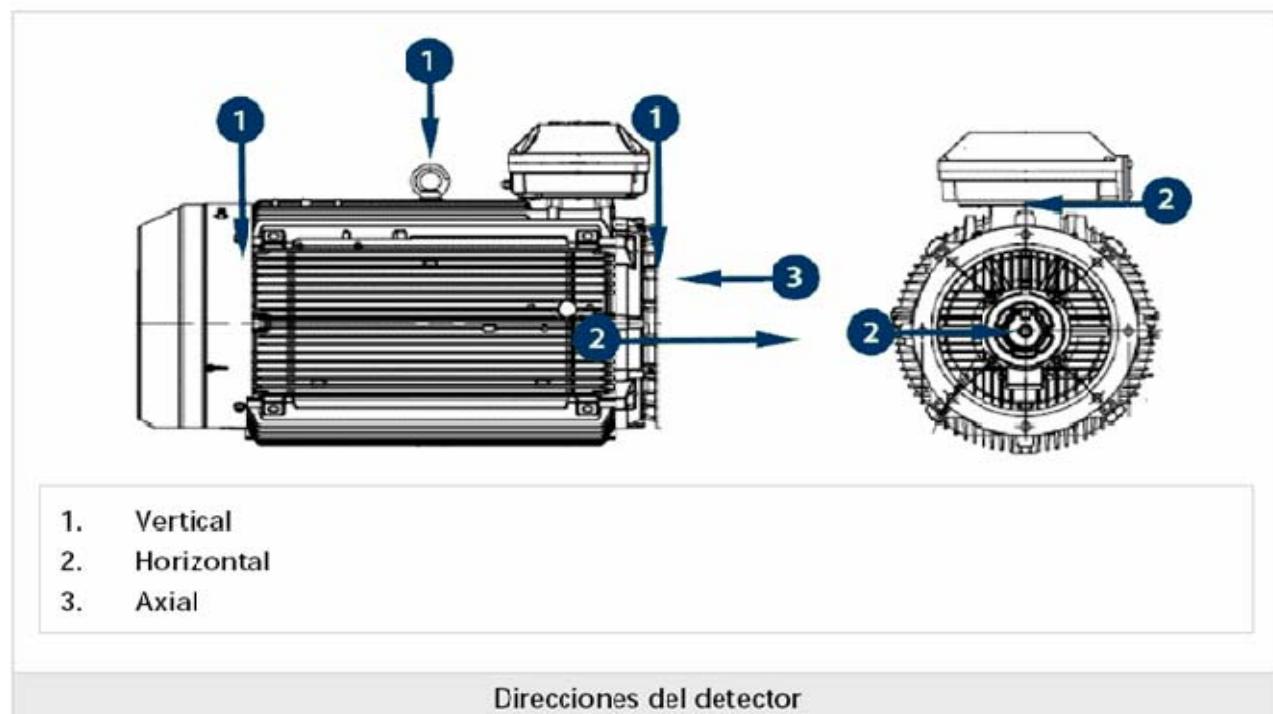
Las principales características de las vibraciones son:

- Desequilibrio de masas rotantes.
- Oscilaciones magnéticas por entrehierro variable.
- Rodamientos o cojinetes en mal estado.
- Ciertas combinaciones de números de ranuras del rotor y del estator.

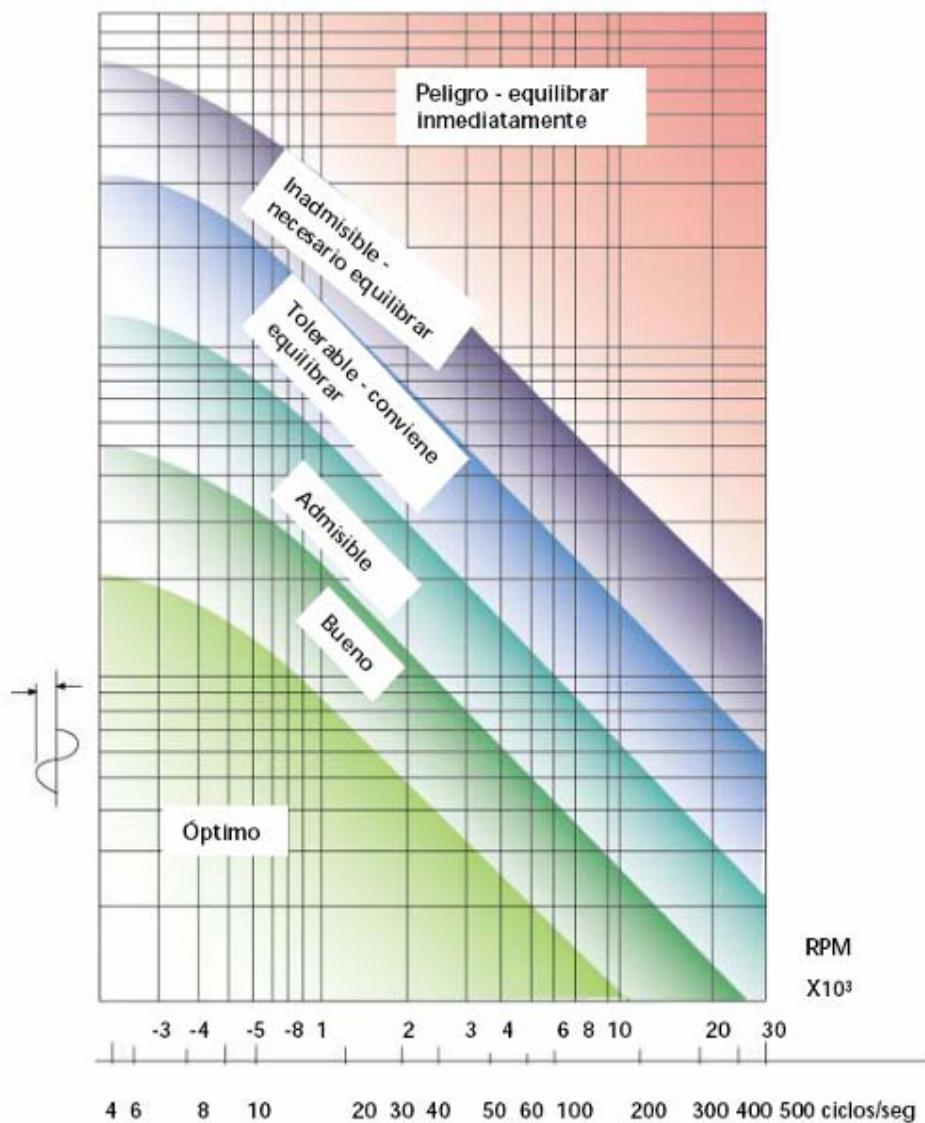
Para verificar la vibración se debe contar con un instrumento adecuado que generalmente mide el valor de la cresta de la oscilación fundamental. El equipo se completa con accesorios que permiten analizar más en detalle las señales obtenidas, lo que ayuda a localizar y corregir las causas de vibración.

Las direcciones en las que se debe ubicar el detector del equipo están mostradas en la figura. La dirección 3 es poco importante y en general no se tienen vibraciones apreciables.

El motor debe estar libre (sin fijar a la base) o sobre una plancha de goma y funcionando en vacío.



La siguiente figura muestra los valores generalmente aceptados de las amplitudes en micrones  $\mu$  y las acciones a seguir en cada caso. En el eje de abscisas se indican las frecuencias posibles de la vibración (que podrían no corresponder a la del rotor en las tres últimas fuentes de vibración) y el valor de las vueltas por minuto que representan si aquellas son producto exclusivo del desbalanceo del rotor que es lo más común.



Valores de las amplitudes

Por tratarse de un ensayo de tipo, sólo es usual realizarlo en motores de gran potencia. En los motores seriados de pequeña y mediana potencia se limitan y atienden las vibraciones durante la fabricación. Para ello:

- Se tiene en cuenta la vibración en el diseño al elegir los números de ranuras de estator y rotor.
- Se balancean los rotores de todos los motores previamente a su montaje.
- Se rectifica y centra cuidadosamente el rotor.

#### 4.2.2. Ruido admisible

Aunque a veces por su número o por los lugares donde van instalados, se hace necesario especificar los valores máximos que el ruido podrá alcanzar.



##### EJEMPLO

Estos casos pueden ejemplificarse con instalaciones en plantas donde se ubican gran número de motores y se tienen, a la vez, operarios trabajando. O en acondicionadores de aire, que en caso contrario perturbarían al usuario.

El efecto negativo del ruido es sobre las personas exclusivamente.

Las fuentes del ruido en los motores son:

###### Ruidos mecánicos

En general, son groseros y de fácil detección y eliminación. Ejemplo: roces entre partes móviles y fijas, rodamientos en muy mal estado, etc.

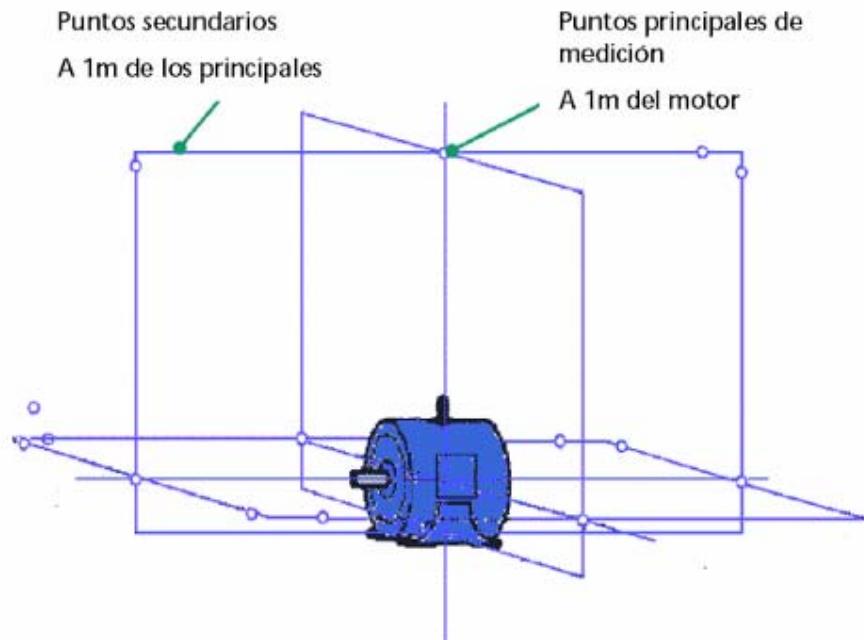
###### Ruidos magnéticos

No deben alcanzar valores apreciables en diseños eléctricos adecuados y se deben a valores elevados de la inducción magnética

###### Ruidos de ventilación

Toman importancia en motores de 1500 (1800) ó 3000 (3600) RPM y cuanto mayor es la potencia del motor, pues se trabaja con velocidades mayores del aire.

La norma es la que detalla cómo efectuar la medición y los recaudos a tener en cuenta. La determinación consiste en la obtención de valores de ruido con un instrumento apropiado en los puntos exemplificados en la figura.



Puntos para efectuar la medición de los ruidos

En general, la determinación se hace en unidades de presión sonora, cuyo valor medio debe ser inferior al valor especificado por el comprador del motor.

En la norma se dan valores típicos de presiones sonoras para los motores normales que podrán servir de referencia.

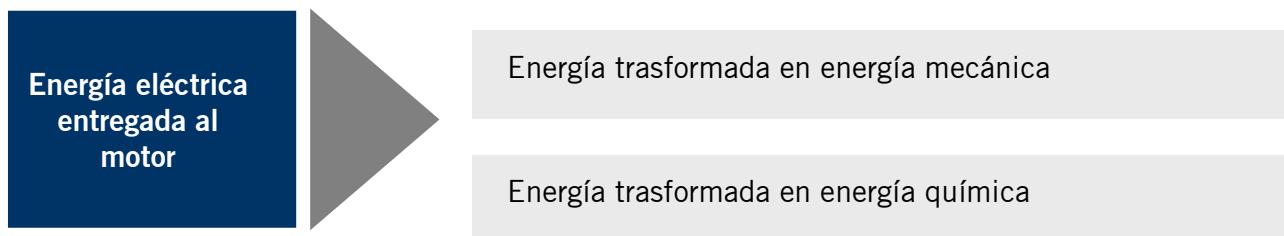
### Limites de presión sonora media en decibeles

Gama de Velocidad en [v/mín]	600<ns≤ 960		960<ns≤ 1320		1320<ns≤ 1900		1900<ns≤ 2360		2360<ns≤ 3150		3150<ns≤ 3550	
	IP 22	IP 44	IP 22	IP 44	IP 22	IP 44	IP 22	IP 44	IP 22	IP 44	IP 22	IP 44
<P≤1,5	-	67	-	70	-	71	-	74	-	75	-	79
1,5<P≤3	-	69	-	70	-	73	-	78	-	80	-	82
3<P≤7,5	-	72	-	74	-	77	-	82	-	83	-	85
7,5<P≤15	72	75	75	78	78	81	81	86	84	87	87	90
15<P≤30	75	78	78	82	81	85	83	87	87	91	90	93
30<P≤50	78	80	81	84	83	86	85	89	88	92	92	95
50<P≤75	79	81	83	86	86	88	88	92	90	94	93	97
75<P≤150	82	84	85	89	88	92	90	93	92	96	95	98
150<P≤300	85	87	87	91	90	94	94	96	95	98	96	100
300<P≤400	86	88	90	92	92	96	94	98	96	99	98	102

#### 4.2.3. Calentamiento

El calentamiento que experimenta cualquier parte de un motor, es decir, **el incremento de temperatura en dicha parte en relación a la del medio refrigerante**, depende del balance energético en el motor. Cuando el medio es el aire circundante, el calentamiento es el incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente.

Del análisis del balance energético resulta:



**Energía mecánica**

Comprende:

- Energía necesaria para efectuar el trabajo mecánico exterior, que es transferida por el eje motor a la carga.
- Energía que se utiliza para vencer el rozamiento de las partes rotativas con el fluido circundante e impulsar el sistema de ventilación en las máquinas autoventiladas

**Energía química**

Comprende energía correspondiente a:

- Las pérdidas en el cobre en los arrollamientos estatóricos y retóricos.
- Las pérdidas en el hierro de estator y rotor.
- El rozamiento en cojinetes y escobillas.
- Las pérdidas adicionales en el cobre y hierro de la máquina, debidas a fenómenos de carácter secundario, pero que pueden alcanzar valores importantes según el diseño y el tipo de motor.

Las pérdidas en el hierro dependen de la tensión aplicada a las pérdidas en el cobre de la corriente circundante por los arrollamientos, por lo tanto, las pérdidas son función del estado de la carga del motor.

El intervalo de tiempo de funcionamiento depende del tipo de servicio del motor.

Por otra parte, la capacidad de intercambio de calor con el medio refrigerante depende de:

- Las características constructivas del motor.
- El sistema de ventilación.

**EJEMPLO**

Si en un motor de construcción abierta se obstruyen la entrada y la salida del aire de ventilación mediante la colocación de rejillas de protección contra contactos accidentales o de pantalla para obtener protección contra goteo, es necesario reducir la carga para disminuir la corriente y así, con menos pérdidas en el cobre, mantener el mismo calentamiento.

Por lo tanto, el calentamiento de un motor depende del tipo de servicio, del estado de carga, de las características constructivas y del sistema de ventilación.



## ANEXO

Si desea acceder a más información sobre el calentamiento de un motor eléctrico, le recomendamos que lea el Anexo de este manual..

Durante el calentamiento se deben considerar los siguientes aspectos:

### Influencia del medio refrigerante

La temperatura ambiente (en general, la temperatura del medio refrigerante) sumada al calentamiento fija la máxima temperatura a alcanzar por un motor: la temperatura límite. Para fijarla se ha adoptado una temperatura ambiente de 40° C (IEC). Si el equipo se utiliza permanentemente a temperatura inferior, el usuario puede permitir que el calentamiento se eleve en ese valor y, si por el contrario se utiliza a mayores, sólo pueden admitirse calentamiento menores.

La altitud, al variar la presión atmosférica, disminuye la capacidad de refrigeración del aire. Por ello, cuando se instalan los motores a alturas mayores a 1000 m sobre el nivel del mar, se utilizan a potencias inferiores a la nominal en una proporción adecuada.

La humedad, el polvo, los productos químicos u otras contaminaciones del ambiente, influyen en el calentamiento admisible. En especial la presencia de gases, polvos inflamables o explosivos limita aún más el calentamiento en motores cuya construcción no sea del tipo antiexplosiva, como los de seguridad aumentada (o tipo "e").

### Tipo de servicio

El tipo de servicio a que se somete una máquina es la estipulación de los ciclos de trabajo y reposo.

Para poder adquirir o utilizar correctamente un motor, es fundamental analizar cómo la sucesión de las corrientes de arranque y frenado y de cada estado de carga van calentando al motor.

En general, para servicios distintos al continuo, se pueden utilizar los motores mayores a su potencia nominal. En servicio continuo o para suministrar una misma potencia en servicios no continuos los motores necesarios son más pequeños y más económicos, lo que requiere el estudio de cada caso, si no existe la información del fabricante.

## Clase de aislación y calentamiento

En función de los materiales aislantes con que están fabricadas, existen especificaciones que indican el calentamiento límite que pueden alcanzar ciertas partes, expuestas a mayor calentamiento y que además son indicativas del conjunto del motor.

Para realizar la medición directa en el punto presumiblemente más caliente, es necesario contar con indicadores interiores (caso termocupla) u otros elementos adicionados en la fabricación. Esto sólo se justifica en prototipos, en arrollamientos cuyo calentamiento no es detectado por la protección exterior o en máquinas de gran potencia y alta tensión que integran el sistema de control y protección.

Como resulta difícil la medición directa en el punto presumiblemente más caliente, lo que se controla es que ciertas partes tengan un calentamiento menor que el especificado para ellas, indicándose distintos valores según se mida por termómetro (método poco preciso) o por variación de resistencia (del que solamente se obtiene el calentamiento medio del arrollamiento).

### 4.2.4. Relación de las dimensiones con la potencia y el par

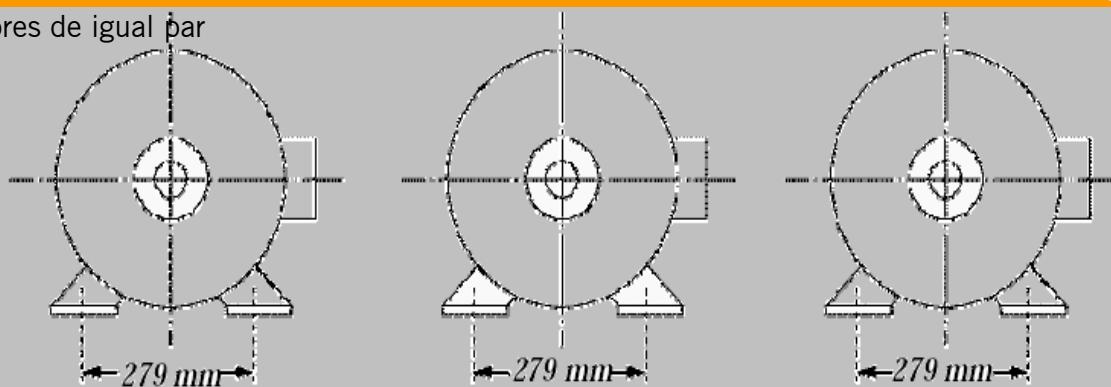
Las dimensiones de un motor están fijadas por el par que debe desarrollar y no por su potencia.

Esto se puede ver en la comparación entre motores cuyas dimensiones y potencias se encuentran normalizadas con fines de intercambiabilidad.

#### EJEMPLO



Motores de igual par



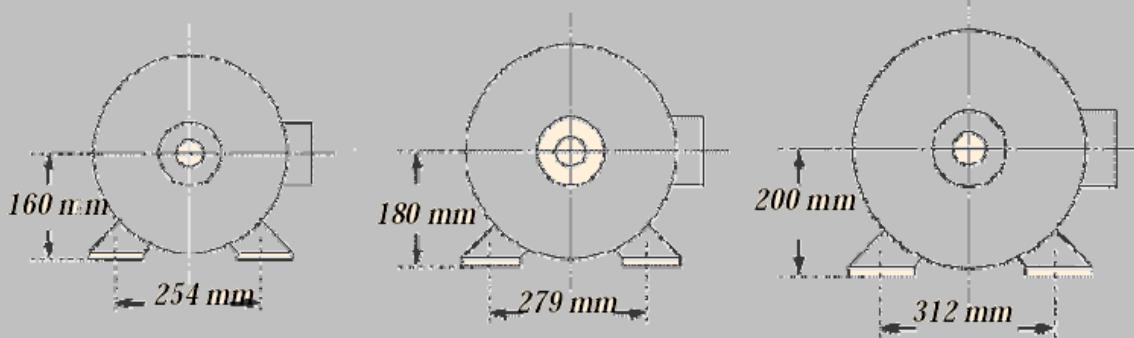
P= 22 kW (30 CV)  
n~1440 v/mín  
M=14.9 kgm  
Carcasa 180 L

P= 15 kW (20 CV)  
n~960 v/mín  
M=14.9 kgm  
Carcasa 180 L

P= 11 kW (15 CV)  
n~730 v/mín  
M=14.9 kgm  
Carcasa 180 L

**EJEMPLO Continuación**

Motores de igual potencia



Se desprende de las figuras que para un mismo par no varía el tamaño de la carcasa duplicando la potencia. También que, para la misma potencia, cuanto mayor es la velocidad, los motores resultan más reducidos y por lo tanto menor su precio.

Las condiciones de refrigeración y normalización de la fabricación hacen en muchos casos, que estas relaciones no se cumplan tan estrictamente como en los ejemplos dados.

**ACTIVIDAD. 13 Factores a considerar**

Esta actividad le permite identificar algunos factores de los motores asincrónicos recién trabajados

Leer las siguientes preguntas y señalar la opción correcta en cada caso



1

¿Que energía comprende la energía mecánica cuando se calienta el motor ?

- a. Energía que se utiliza para vencer el rozamiento de las partes rotativas con el fluido circundante.
- b. Energía correspondiente a las pérdidas en el cobre en los arrollamientos estatóricos y retóricos.
- c. Energía correspondiente a las pérdidas adicionales en el cobre y hierro de la máquina, debidas a fenómenos de carácter secundario.
- d. Energía proveniente del hierro de estator y rotor

2

¿Cual es el factor que determina las dimensiones de un motor.

- a. Potencia.
- b. Deslizamiento.
- c. Par.
- d. Velocidad sincrónica.

**ACTIVIDAD. 14 Supervisamos los motores asincrónicos**

Esta actividad le permite repasar los factores que se deben considerar en los motores asincrónicos

Completar las consignas de la plantilla



	Vibraciones	Ruido admisible	Calentamiento
Breve descripción del factor.			
Principales características.			
¿Cómo se verifica el nivel que alcanza el factor?			
¿Cómo afecta el funcionamiento del motor asincrónico?			
Otros comentarios.			

## 4.3 Prueba de motores

### Presentación

Si bien esta parte está dirigida hacia las llamadas pruebas de recepción, que realiza el fabricante en presencia del comprador o de una institución de control de calidad que lo represente, lo indicado es aplicable a los ensayos que puedan requerirse para cualquier fin.

El motor es, en su función primaria, una máquina que transforma energía eléctrica en mecánica. Corresponde, por lo tanto, al realizar las pruebas de recepción, comprobar que esta transferencia es posible y que se realiza bajo valores estipulados. Es decir, se controlan los parámetros eléctricos y se observa que la entrega de energía mecánica se cumpla en la forma correcta y esperada.

La verificación de esos valores eléctricos y mecánicos se hace por métodos también Estipulados.

En la mayoría de los casos, las **normas IEC y NEMA fijan los ensayos**. Los valores y características que no estén establecidos en normas, deben ser especificados por el comprador en su orden de compra o garantizados por el fabricante.

Los ensayos establecidos en normas se han elaborado en base a la investigación y a la experiencia, y de ellos puede inferirse, en términos generales, el comportamiento de la máquina en servicio.

Sin embargo debe señalarse que:

- En general, las condiciones eléctricas y mecánicas de prueba no son las de servicio
- No hay pruebas normalizadas que puedan garantizar el funcionamiento correcto durante la vida útil del motor
- Para salvar el primer punto, la experiencia del fabricante y la utilización de la máquina en las condiciones que él indica, son los elementos a tener en cuenta. La idoneidad técnica y la confiabilidad de la producción del fabricante, será lo que pueda dar tranquilidad en lo segundo.
- Durante las pruebas, las máquinas deben estar totalmente armadas, con todos los elementos que llevarán el servicio. Debe verificarse que las condiciones ambientales del local de ensayo cumplan con los requisitos que se indican.
- Además el montaje debe permitir una ventilación adecuada de acuerdo al tipo de máquina que se trate y, en lo posible, similar a la que tendrá en servicio.

El orden en que se indican los ensayos en el siguiente esquema es el aconsejado para una adecuada recepción.



### RECUERDE

Para acceder a más información sobre las pruebas de motores, le recordamos que vea el curso Mediciones eléctricas



#### 4.3.1. Verificación de las dimensiones mecánicas

Si se trata de motores normalizados, ha de verificarse el cumplimiento de las medidas principales establecidas por IEC y NEMA.

Aunque no se trate de un motor normalizado, es muy útil conocer sus dimensiones con exactitud para el montaje, ya se trate de un reemplazo o de una nueva instalación, pues así es posible realizar un proyecto completo y luego ahorrar trabajo en obra.

La posibilidad de una **intercambiabilidad rápida y eficiente** es la razón de la existencia de los motores normalizados y, por lo tanto, en este caso, aumenta la importancia de que el motor cumpla las especificaciones relativas a dimensiones.

### ATENCIÓN



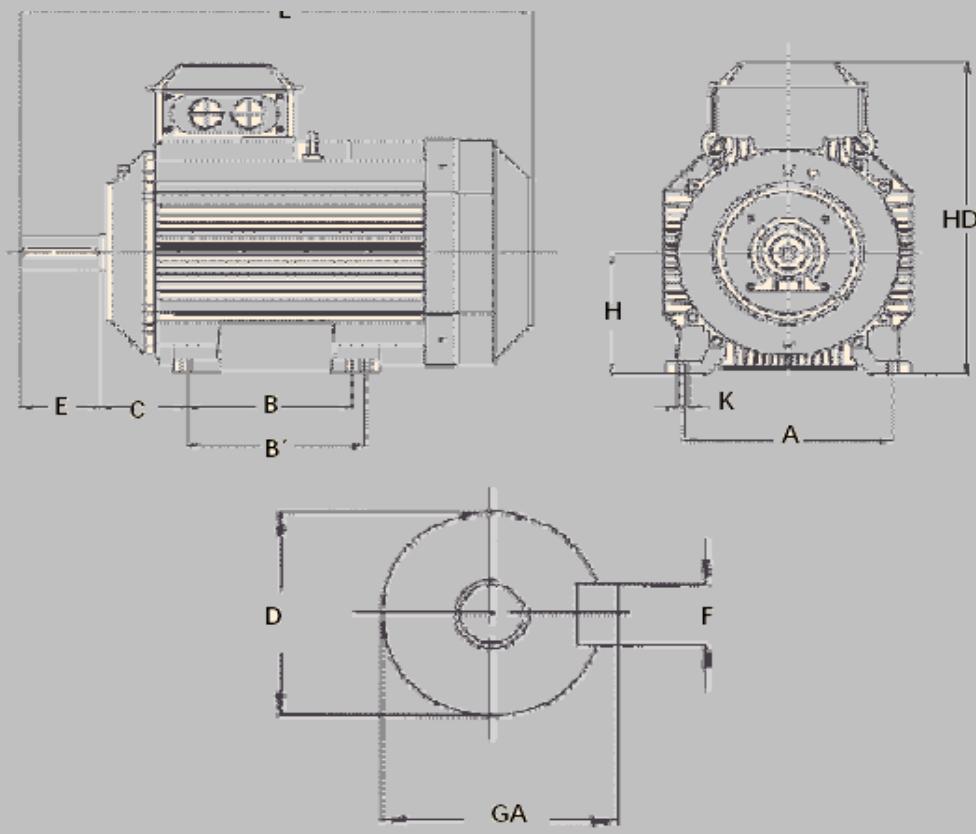
En todos los casos se debe anotar el peso del motor, su sistema de izamiento y las ubicaciones de la caja de terminales y del terminal de puesta a tierra.

**EJEMPLO**

Para motores con base de fijación (IEC)

- Altura de eje H.
- Distancia entre los ejes de los agujeros de montaje A y B.
- Distancia del centro de los agujeros de montaje al relieve de salida del eje C.
- Diámetro de los agujeros de montaje: K.
- Longitud de la extensión del eje: E.
- Diámetro de la extensión del eje: D.
- Ancho y diámetro del eje más chaveta F y GA.

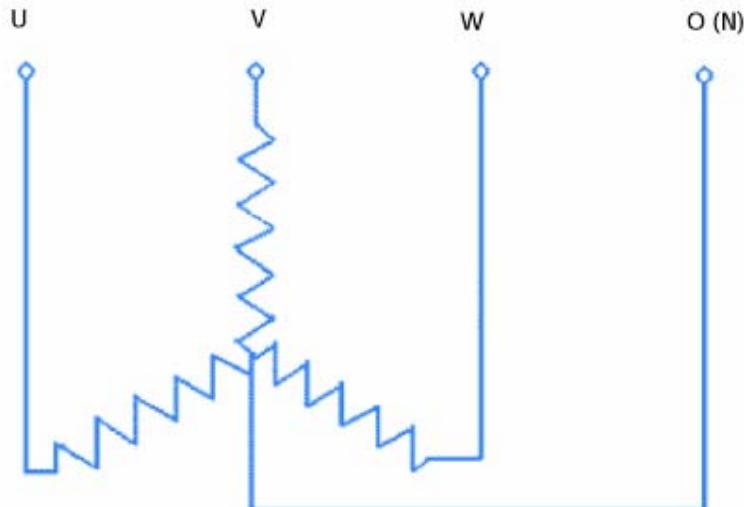
Motor de pie IM 101, B3

**ANEXO**

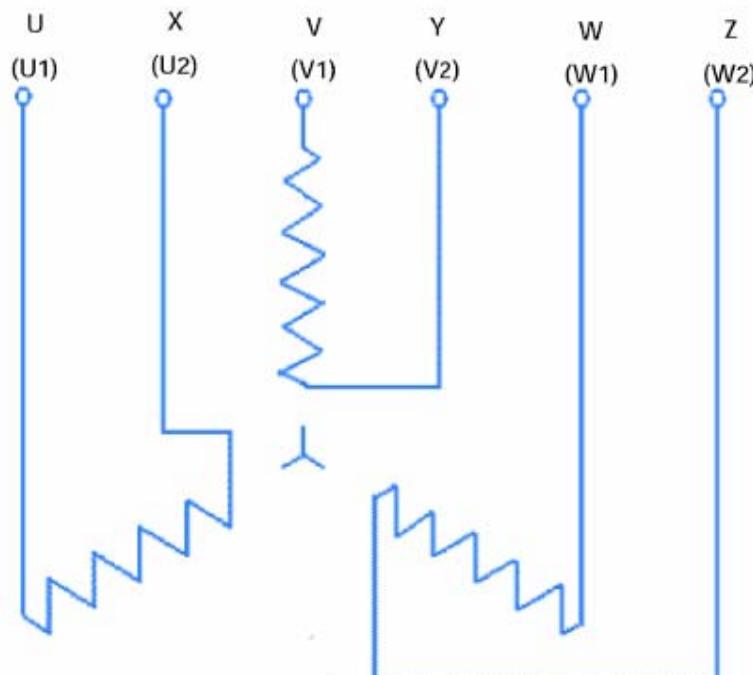
Si desea conocer más información sobre la verificación de las dimensiones mecánicas, puede acceder al Anexo de este manual.

### 4.3.2. Verificación de la marcación de terminales y el sentido de rotación

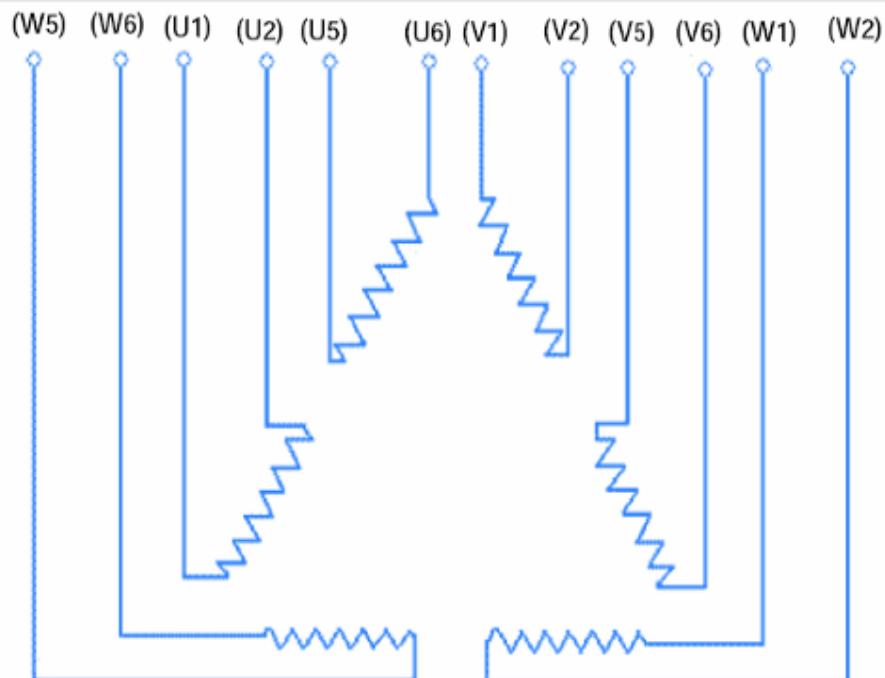
La forma de marcación de terminales está establecida en la norma IEC y NEMA.



Motor de corriente alterna con 4 terminales de salida



Motor de corriente alterna con 6 terminales de salida



**Motor de corriente alterna con doce terminales de salida**

El sentido de rotación es el que se observa enfrentando al eje o al extremo más grueso del eje, si tuviera dos.

Si ambos diámetros son iguales, o no tiene eje de salida, se observa desde el lado opuesto al colector o anillos, si existe colector y/o anillos en un extremo de la máquina. Desde el lado de los anillos, si existe colector y anillos situados en lados opuestos.

Si las reglas anteriores no fueran aplicables, se requiere un convenio especial.

La relación establecida entre la marcación de los terminales y el sentido de rotación indica que el giro será en el sentido de las agujas del reloj, cuando se aplique a los terminales en orden alfabético una terna directa.

#### 4.3.3. Ensayo de calentamiento

Este ensayo consiste en determinar la máxima sobre temperatura que alcanzan las distintas partes de un motor, para su condición de servicio, con carga, tensión y frecuencia nominales.

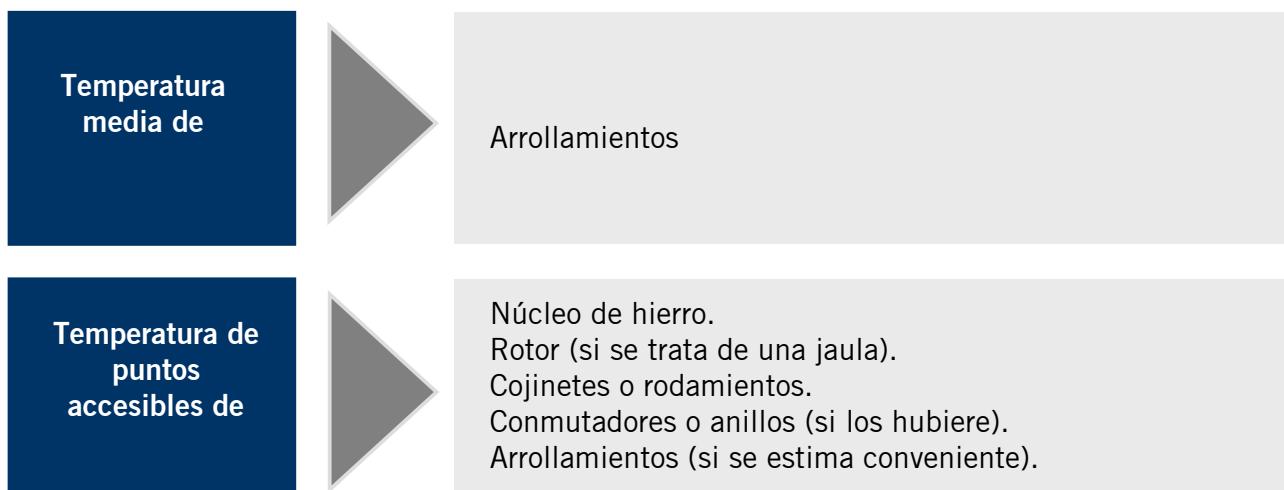
Se define:

$$\theta = \text{temperatura alcanzada} - \text{temperatura del medio refrigerante}$$

Se trata de conocer la temperatura de las partes más calientes y de valorar si su deteriorante efecto sobre la aislación está dentro de los límites compatibles con una duración de uso aceptable del motor.

Pero resulta que el **calentamiento de un motor no es uniforme para todas sus partes**: los aislantes eléctricos son también aislantes térmicos y los puntos que alcanzan mayores temperaturas suelen no ser accesibles. Por eso, la medición de temperatura en los puntos presumiblemente más calientes, que se realiza por indicadores instalados en el interior de la máquina durante su fabricación, es la más adecuada, pero se justifica económicamente sólo en prototipos o en máquinas de gran potencia. Las normas exigen esta medición exclusivamente en máquinas cuya potencia sea igual o mayor a 5000 kVA o que tengan rotores de más de 1 m de longitud.

Entonces, las temperaturas que se determinan con este ensayo son:



La temperatura más alta que se alcanza en los arrollamientos, y se produce en puntos internos, puede calcularse con la fórmula de Boucherot, si no ha sido incluida en las normas correspondientes.

La misma expresa:

$$\text{Temp máxima} = \text{temperatura media} + a \times (\text{temperatura media} - \text{temperatura superficial})$$

El coeficiente  $a$  es función del tipo de arrollamiento y de la forma de enfriamiento. Se considera que varía entre 0,4 y 0,8 pero, por las dificultades para su determinación, la validez de la fórmula de Boucherot no es general.

Los máximos valores admisibles de temperatura, según las normas, se indicaron y no deben ser superados por el motor en sus condiciones de servicio por lo tanto, se trata de medir la temperatura ambiente (o la del medio refrigerante si no fuera el aire ambiente), hacer funcionar al motor en sus condiciones de servicio hasta que se alcance el estado de régimen (es decir, el equilibrio térmico con el medio) y determinar entonces la sobre temperatura que alcanzan los puntos del motor que se controlan, en relación a la temperatura ambiente

Este ensayo está establecido en las recomendaciones de IEC34.1

#### ANEXO



Para conocer más sobre el ensayo de calentamiento, le sugerimos que lea el Anexo de este manual.

#### 4.3.4. Medición de la resistencia de aislación

Esta medición permite **detectar defectos groseros de la aislación**, como contactos directos, humedad o suciedad.

Es de gran utilidad, pues se realiza previamente a los ensayos con alta tensión y evita someter una máquina muy defectuosa, húmeda o sucia a esos ensayos del dieléctrico que pueden entonces resultar destructivos.

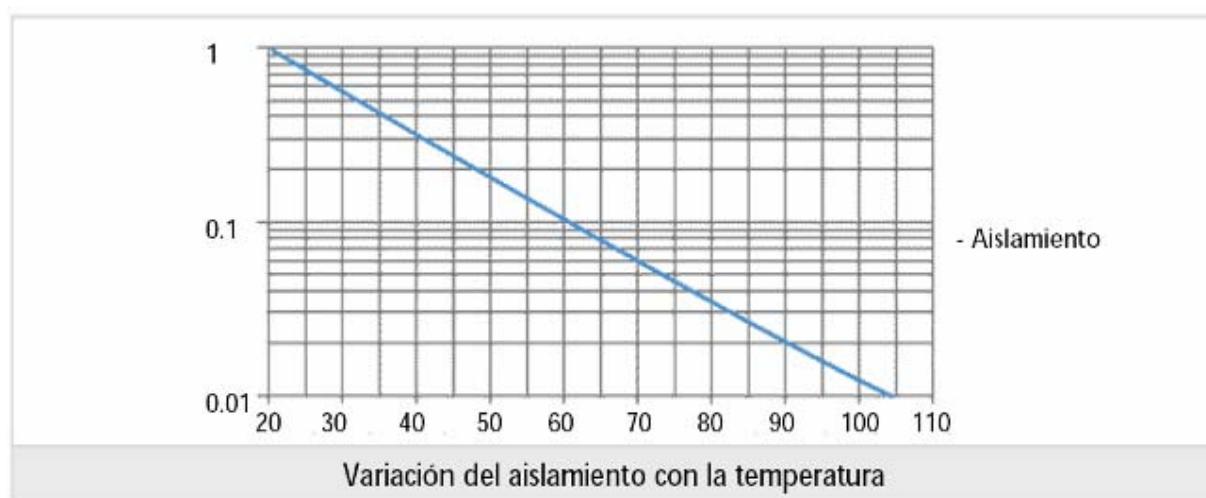
También antes de la puesta en servicio de un motor nuevo o que no ha funcionado durante un tiempo, es muy conveniente medir su resistencia de aislación, pues se procede al secado, si fuera necesario, y se evitan daños importantes.

En cuanto a los valores a obtener, existe una regla empírica que dice que la resistencia de aislación, en MW, a aproximadamente la temperatura de régimen, debe ser mayor que la dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Tensión del motor [V]}}{\text{Potencia del motor [kVA]} + 1000}$$

Y tampoco en ningún caso, menor que  $1 \text{ M}\Omega$ .

Como la resistencia de los arrollamientos disminuye mucho al aumentar la temperatura, tiene gran importancia la temperatura a la que se realiza la medición.



Para llevar a cabo la medición de la resistencia de aislación se utiliza un megohmetro cuya tensión sea adecuada a la del motor en ensayo.

### EJEMPLO



Para motores hasta 600V se emplean megóhmétros de 500 V, pero para motores de mayor tensión se utilizan megóhmétros de 1000 ó 5000 V.

Antes de la medición, es conveniente verificar el megohmetro, que a circuito abierto y cortocircuitado debe marcar ¥ y 0 respectivamente.

La resistencia de aislación se mide entre cada fase del arrollamiento estatórico (si no están directamente conectadas) y la carcasa, estando las demás fases y arrollamientos conectados a la carcasa.

Si el arrollamiento rotórico fuese aislado, se realiza en la misma forma su medición.

El megohmetro debe aplicarse durante un minuto, el valor de la medición es el leído al transcurrir ese lapso, pues, por la capacidad de los arrollamientos, una medición en CC aparece con un incremento del valor obtenido con el tiempo.

Si se emplea un megohmetro a manivela, hay que cuidar que la velocidad que se imprime sea constante durante dicho minuto. Para ello, resultan más prácticos los megóhmétros con motor o los electrónicos.

Luego de la medición deben descargarse a tierra los arrollamientos.

### ATENCIÓN



Inmediatamente después de la medición de la resistencia de aislamiento, se debe conectar a tierra el bobinado para evitar accidentes.

A través del índice de polarización se puede evaluar las condiciones de aislamiento del motor conforme a la tabla siguiente:

Índice de polarización	Evaluación del aislamiento
1 o Menor	Malo
< 1.5	Peligroso
1.5 a 2.0	Regular
2.0 a 3.0	Bueno
3.0 a 4.0	Muy bueno
> 4	Excelente

## GLOSARIO



### Índice de polarización (IP):

Es tradicionalmente definido por la relación entre la resistencia de aislamiento medida en 10 min. y la resistencia de aislamiento medida en 1 min. con temperatura relativamente constante

### 4.3.5. Prueba de alta tensión

Estos ensayos permiten **juzgar el estado de la aislación del motor** debido a que la experiencia ha demostrado que si soporta durante un breve lapso una determinada tensión de prueba de frecuencia industrial, ( $U_P = K \cdot U_N$ ), será capaz de soportar durante su vida útil la tensión nominal  $U_N$ .

Se realizan exclusivamente sobre una máquina nueva y no deben repetirse, pues representa una fuerte solicitud para el dieléctrico. Si por exigencias especiales, o después de reparaciones parciales en los arrollamientos, se procede a un nuevo ensayo, debe realizarse al 80 y al 75%, respectivamente de  $U_P$ .

Es más adecuado proceder a los ensayos con alta tensión con la máquina a la temperatura de régimen, como lo establece la norma, por la gran variación del comportamiento de los aislantes con la temperatura, pero no está exigido por las recomendaciones de la IEC.

Los ensayos con alta tensión para motores asincrónicos son:

- Con tensión aplicada entre los arrollamientos y la carcasa.
- Con tensión aplicada entre las fases de un arrollamiento.

Para la verificación de la aislación entre espiras no aparecen exigencias en las normas, pero se indican aquí los métodos más usuales.

Estos ensayos están establecidos en las recomendaciones IEC 34-1.

Con el motor a aproximadamente su temperatura de régimen, es decir, a continuación del ensayo de calentamiento, se procede a poner en cortocircuito los terminales de cada arrollamiento.

Se aplica entre cada arrollamiento estatórico y rotórico y la carcasa la tensión indicada en la norma (que se resume en la tabla siguiente para motores asincrónicos). Los demás arrollamientos, el núcleo y la carcasa, están conectados a tierra.

Para los ensayos entre fases en máquinas polifásicas, se aplica según lo indicado en 1-2 y 3, el 75% de la tensión de prueba entre cada fase y las demás unidas entre sí, a la carcasa y a tierra.

Cabe señalar que la recomendación IEC citada refiere a este ensayo con el 100% de la tensión indicada en la tabla para máquinas de más de 1 kVA.

Si hubiera falla en la aislación, ésta se detecta por la caída en la indicación del voltímetro, que mide la tensión aplicada, y porque actúan los elementos de protección que habitualmente incluye el tablero.

Los ensayos de rutina en fábrica se realizan en máquinas producidas en serie cuya potencia no supere los 5 kW(kVA). La recomendación IEC citada admite un ensayo de 5 segundos a la tensión de prueba indicada o de 1 segundo al 120%.

Es usual realizar en fábrica ensayos de aislación entre espiras de los arrollamientos antes del armado del motor. Se emplea una tensión del 150 al 200% de la nominal y un núcleo de prueba, y se aumenta la frecuencia para evitar la sobrecorriente.

## 4.4

# Determinación de las características de funcionamiento

### Presentación

Para conocer en profundidad cómo es el mecanismo de funcionamiento de los motores asincrónicos, se trabajara en los siguientes temas:



### 4.4.1. Marcha en vacío

Los valores de los parámetros de funcionamiento del motor medidos en este estado sirven fundamentalmente para la **determinación en forma indirecta de su rendimiento** y, conjuntamente con los parámetros determinados en el arranque, para el **trazado del diagrama circular**. Para todo ello, es necesario haber medido la resistencia de los arrollamientos.

#### 4.4.2. Arranque

Conocer el par de arranque permite **verificar si es adecuado al par resistente de la carga**. Y medir la corriente de arranque, permite verificar si la instalación que alimenta al motor, el sistema de arranque y las protecciones previstas, son las que corresponden.

#### 4.4.3. Servicio con carga nominal

Con este ensayo **se verifica si el motor es capaz de suministrar su potencia nominal con la corriente, al cos j, el resbalamiento y el rendimiento especificados**. No hay que olvidar, sin embargo, que el ensayo que verifica la capacidad del motor de entregar su potencia nominal, es el de calentamiento.

En ensayos de tipo, se hacen además, las mismas determinaciones para el 25, 50, 75 y 125% de la potencia nominal.

#### 4.4.4. Medición de la resistencia de los arrollamientos

La forma de medir la resistencia de los arrollamientos se indica en ensayo de calentamiento. Sólo cabe aconsejar que para una mayor sencillez en el manejo de las fórmulas del cálculo de rendimiento, se midan dichas resistencias entre terminales de línea (U, V, W).

Esta medición detecta falsos contactos cuando no se obtiene estabilidad en la medición. Y, en el caso de encontrarse desigualdades apreciables entre las mediciones de un mismo motor, sería un indicador de fallas de conexión o apertura de algún circuito.

#### 4.4.5. Ensayo en vacío

El ensayo en vacío es normalmente un **ensayo de rutina que el fabricante realiza sobre toda la producción**, ya que le sirve para evaluar:

- Si el motor gira y alcanza su velocidad de vacío en el sentido de giro adecuado.
- Si la corriente de vacío es la especificada. Si se obtienen valores muy distintos, cabe pensar en errores de conexión internos de los bobinados estatóricos o en la caja de conexiones, en los motores provistos para distintas conexiones.
- Si son prácticamente iguales las corrientes de las tres fases. Cuando ello no ocurre, indica una simetría en el bobinado estatórico, que puede ser debida a inversiones o errores en las conexiones de bobinas, cortocircuito entre espiras o fases, etc., la que generalmente es acompañada de sobre corriente y calentamiento excesivo del motor.
- Si el motor gira sin que se detecte inconvenientes de tipo mecánico, como rozamientos entre las partes móviles y las fijas, ruido anormal en los rodamientos, vibraciones exageradas, etc. En los motores con cojinetes a fricción se verifica también el centrado magnético axial que, si no coincide con el mecánico, origina un empuje que desubica el rotor.

Como ensayo de recepción, se obtienen las pérdidas mecánicas y en el hierro estatórico que intervienen en la determinación del rendimiento por el método indirecto y en el trazado del diagrama circular.

Pero quien reciba un motor, debe prestar atención también a las observaciones citadas previamente para el fabricante debido a que aportan una idea de los estados eléctrico, magnético y mecánico del motor.

## ANEXO



Para profundizar sus conocimientos sobre el ensayo en vacío, lo invitamos a leer el Anexo de este manual.

### 4.4.6. Ensayo a rotor bloqueado

Aunque el proceso de arranque de un motor es un fenómeno transitorio, los parámetros más significativos, los que aparecen en el momento de la conexión, se obtienen de un ensayo a rotor bloqueado.

No es un ensayo de rutina del fabricante, puesto que de sus resultados se verifican fundamentalmente características de diseño y solamente algunas constructivas referentes al rotor, para el cual, cualquiera sea su tipo (jaula de ardilla inyectada en aluminio, o de cobre soldada o bobinada), es común emplear satisfactorias tecnologías de fabricación.

Sin embargo, es éste **un ensayo típico de recepción**, pues permite al usuario comprobar la correspondencia entre los valores especificados y los reales de la corriente y el par de arranque a cuya importancia ya se hiciera mención.

Además, los valores determinados en este ensayo se emplean en la construcción del diagrama circular.

Este ensayo también establecido en la norma IEC 60034-2/72 y son indicadas las tolerancias correspondientes en la recomendación IEC 60034-1/69.

## ANEXO



Puede dirigirse al Anexo para obtener más información sobre el ensayo de rotor bloqueado.

En esa sección también podrá encontrar una breve explicación del Diagrama de Heyland.

### ACTIVIDAD. 15 Trivia de pruebas y ensayos

Este ejercicio permite repasar los conocimientos acerca de las pruebas y ensayos de los motores asincrónicos

Leer las siguientes preguntas y responder brevemente



- 1** ¿Cuál es el ensayo que permite verificar si el motor gira y alcanza su velocidad en el sentido de giro adecuado?

.....

- 2** ¿Cuál es el objetivo del ensayo de calentamiento?

.....

- 3** ¿Cuál es el objetivo de la prueba medición de la resistencia de aislación?

.....

- 4** ¿Cuál es la prueba que se realiza exclusivamente sobre una máquina nueva y no debe repetirse?

.....

- 5** ¿Qué herramienta se utiliza para realizar la medición de la resistencia de aislación?

.....

- 6** ¿Cuál es la fórmula que se utiliza para medir la temperatura más alta que se alcanza en los arrollamientos?

.....

- 7** ¿En qué casos se justifica la medición de temperatura en los puntos más calientes con indicadores instalados en el interior de la máquina durante su fabricación?

.....

- 8** ¿Qué prueba se recomienda hacer antes de la puesta en servicio de un motor nuevo o que no ha funcionado durante un tiempo?

.....

- 9** ¿Cuáles son los ensayos con alta tensión para motores asincrónicos?

.....

**Felicitaciones ! usted ha finalizado el capítulo 4.**

**A continuación se desarrollara el capítulo Mantenimiento de los motores asincrónicos**



# Mantenimiento de motores asincrónicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 5

---

5.1 Mantenimiento mecánico	140
5.2 Mantenimiento eléctrico	147
5.3 Guía de evaluación de posibles averías	153

Este capítulo explica cómo se realiza el mantenimiento de los motores asincrónicos y brinda claves para detectar posibles averías.



## 5.1 Mantenimiento mecánico

### Presentación

En el siguiente esquema se presentan las acciones necesarias para realizar un adecuado mantenimiento mecánico de los motores asincrónicos.



### 5.1.1. Reengrase de los rodamientos

La experiencia y el conocimiento de los elementos que pueden afectar el correcto estado de la grasa (medio ambiente, temperatura, hermeticidad del alojamiento) son los mejores indicadores para establecer los lapsos de reengrase. Pero si no se cuenta con una evaluación concreta de esto, es **conveniente efectuar inspecciones a menudo**, observando el estado de la grasa mediante el retiro de las tapas que dejan al descubierto al rodamiento.

El **reengrase debe efectuarse entre las 500 y 2000 horas de servicio del motor**.

Además, de ser posible, se efectuará retirando la grasa usada, desmontando el rodamiento y lavándolo. Con ello, se evita simultáneamente la mezcla de grasas, que generalmente es inconveniente. El deterioro del lubricante se reconoce por el cambio de la consistencia o del color, o por la presencia de suciedad.

La tarea común de inyectar periódicamente grasa sólo es posible en los sistemas en que se expulsa el sobrante del alojamiento mediante el llamado disco regulador. Cuando los motores poseen este elemento, presentan engrasadores y aberturas inferiores en las cajas de los rodamientos.

El sobrecaleamiento es un síntoma de incorrecta lubricación (falta o exceso de grasa), pero puede deberse también a un inconveniente mecánico, como la pérdida de juego axial.



### RECUERDE

Si desea conocer más información sobre rodamientos, le recordamos que puede acceder al curso Rodamientos.

A continuación se describen algunas particularidades que se deben considerar al realizar el reengrase de rodamientos.

#### A. Motores sin engrasador

Los motores hasta la carcasa IEC 200 normalmente no llevan engrasador. En estos casos el reengrase deberá ser efectuado conforme al plan de mantenimiento preventivo existente, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Desarmar cuidadosamente los motores.
- Retirar toda la grasa.
- Lavar los rodamientos con keroseno o gasóleo.
- Reengrasar el rodamiento inmediatamente.



### ATENCIÓN

No se debe rodar el rodamiento sin grasa.

## B. Motores con engrasador

Es aconsejable **efectuar el reengrase durante el funcionamiento del motor**, de modo que permita la renovación de la grasa en el alojamiento del rodamiento. Si esto no fuera posible, debido a la presencia de piezas giratorias cerca de la entrada de grasa (poleas, acoplamientos, etc.) que puedan poner en riesgo la integridad física del operador, se procede de la siguiente manera:

- Limpiar las proximidades del orificio del engrasador.
- Inyectar aproximadamente la mitad de la cantidad total de grasa estimada y poner en marcha el motor durante 1 minuto aproximadamente en rotación nominal desconectar nuevamente el motor y colocar la grasa restante.

La inyección de toda la grasa con el motor parado puede llevar a la penetración de parte del lubricante al interior del motor por el orificio de pasaje de eje en las tapas de rodamientos interiores.

### ATENCIÓN



La máxima temperatura de trabajo aconsejada tanto para la grasa como para el rodamiento es de 70° C y, en lo posible, no debe superarse. Por cada incremento de 15° C sobre esta temperatura, el intervalo de reengrase debe ser reducido por la mitad.



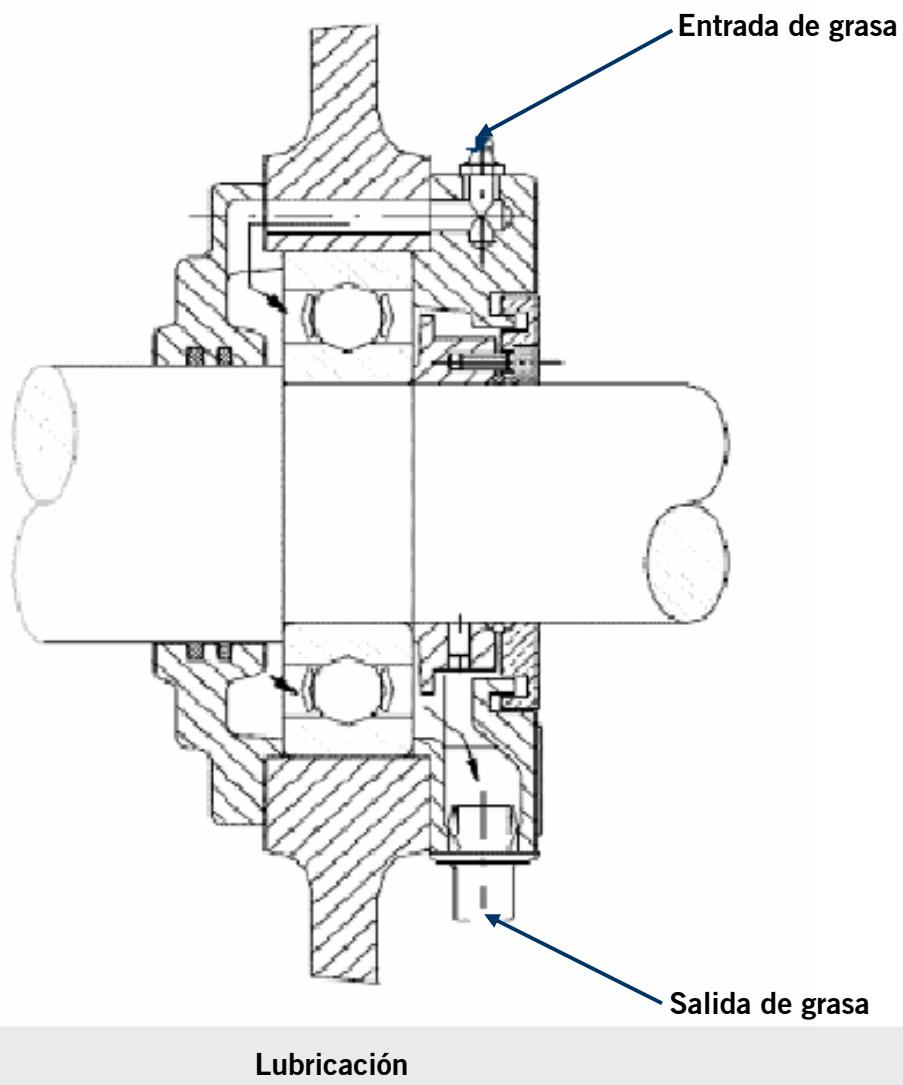
### EJEMPLO

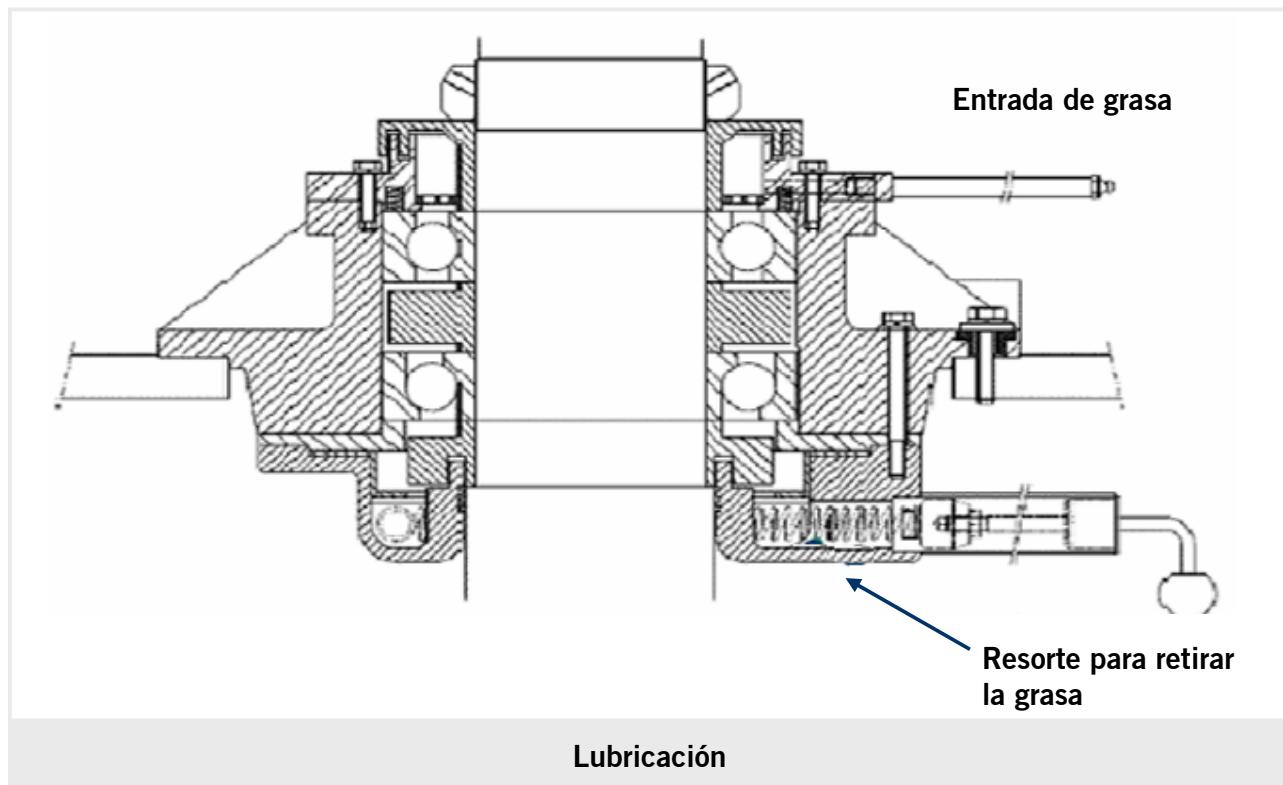
Carcasa tipo	Cantidad de grasa (g)	3600 RPM	3000 RPM	1800 RPM	1500 RPM	1000 RPM	500-900 RPM
Rodamientos de esferas intervalos de lubricación, en horas							
160-180	10	4300	5900	9500	10900	12700	14400
200	15	3800	5400	9300	10300	12400	14300
225	30	1100	2000	4100	4700	5700	6500
250	30	1100	2000	4100	4700	5700	6500
280	30	1100	2000	4100	4700	5700	6500
315	40	700	1600	3700	5400	5400	6100
355	50	-	800	3100	4000	5000	5700
Rodamientos de rodillos intervalos de lubricación, en horas							
200	15	1600	2700	6800	8300	9600	10700
225	30	700	1100	2800	3600	4400	5000
250	30	1100	2000	4100	4700	5700	6500
280	30	1100	2000	4100	4700	5700	6500
315	40	700	1100	2800	3600	4400	5000
355	50	-	-	1900	2600	3900	4400

### C. Lubricantes

Al reengrasar, se debe utilizar solamente grasa específica para rodamientos con las siguientes propiedades:

- Base litio o compuestos de litio de buena calidad.
- Viscosidad 100 - 140 cSt a 40° C.
- Consistencia NLGI grado 2 ó 3.
- Temperatura de trabajo continuo, entre – 30° C hasta + 130° C.





### 5.1.2. Auscultación de los rodamientos

Con la ayuda de un estetoscopio o de un destornillador se obtiene, mediante el ruido escuchado, una idea del estado de los rodamientos.

Como para el diagnóstico es necesaria cierta pericia, es aconsejable el uso de un probador de rodamientos, el cual mediante el análisis de las vibraciones señala claramente el estado y la eventual necesidad del cambio del rodamiento.

Sin embargo, antes del reemplazo es necesario lavarlo y probarlo con grasa nuevamente para establecer si subsiste la anomalía.

### 5.1.3. Revisión de los cojinetes a fricción

En los casos que se tengan cojinetes a fricción se debe vigilar su temperatura. Las causas de una elevación inadmisible pueden ser:

- Excesiva tensión de la correa si la hubiera.
- Inmovilidad de alguno o varios anillos levanta-aceite.
- Superficie áspera de los cojinetes y del eje.
- Pérdida de alineación.

Las inspecciones a realizar consisten en verificar los siguientes factores:

- El nivel del líquido.
- La ausencia de pérdidas.
- El correcto funcionamiento de los anillos

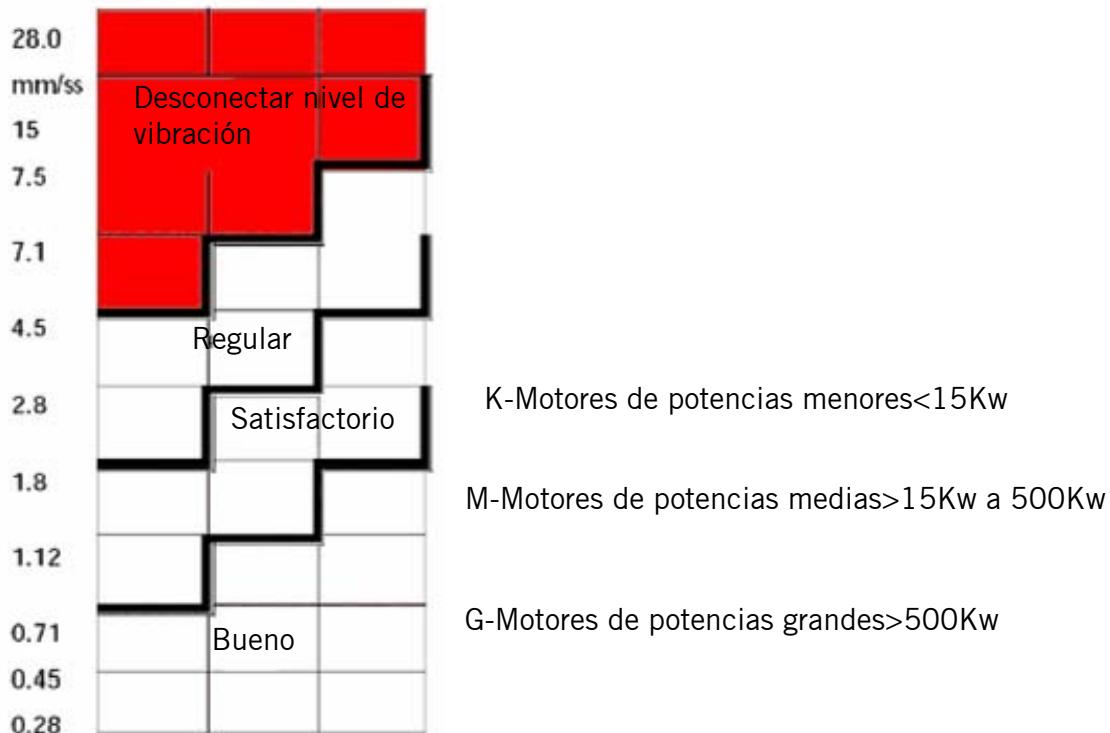
Se debe renovar el aceite cada 6 ó 10 meses, o antes si se viera sucio. En el caso de utilizar el mismo aceite, es necesario efectuar un buen filtrado.

El desgaste excesivo del cojinete traerá otras anormalidades de tipo mecánico, como marcha irregular con aparente desequilibrio, por lo que puede detectarse a través de estos síntomas. Si se miden los diámetros del buje y del eje se determina el hueco existente, cuyo máximo admisible es una información que generalmente suministra el fabricante del motor.

#### 5.1.4. Vibraciones

La permanencia en valores bajos de las vibraciones, indica que no hay cambios en la geometría de las masas rotantes ni en la alimentación y fijación del motor.

Conviene tener presente que **vibraciones elevadas o mantenidas por largo tiempo dañarán sensiblemente los rodamientos y cojinetes.**



### 5.1.5. Fijación del motor y de otros elementos

Es conveniente verificar periódicamente las condiciones de fijación del motor a su base, con más frecuencia durante los primeros meses de su funcionamiento.

Además, como algunas veces los inconvenientes en los elementos accionados por el motor derivan problemas en éste, es aconsejable extender la revisión mecánica sobre el acoplamiento o la transmisión.

#### EJEMPLO



Algunos controles son alineación y tesado de la correa, lubricación de los reductores y cajas de velocidad, alineación y fijación de los pernos de los acoplos, etc.

## 5.2 Mantenimiento eléctrico

### Presentación

A continuación se describe cómo debe realizarse el mantenimiento eléctrico en los motores asincrónicos.



### 5.2.1. Características de la corriente consumida

Se **verifica la constancia de la intensidad de corriente consumida por el motor** cuando funciona con carga estable y, simultáneamente, en el caso de un motor trifásico, si son prácticamente iguales las corrientes de las tres fases.

Si se observan fluctuaciones de la corriente con carga constante, se debe revisar la jaula del rotor y, si se aprecian diferencias entre las intensidades de corriente de las fases, el bobinado estatórico.

Esta observación puede hacerse mediante los instrumentos ubicados en el tablero de control, si los hubiera, o con una pinza amperométrica.

### 5.2.2. Tensión de la red y carga del motor

Se **controlan los valores de la tensión en bornes del motor y de la corriente consumida a plena carga**, para comprobar que el funcionamiento se desarrolla en las condiciones prefijadas.

Las corrientes mayores que la nominal llevan a calentamientos que reducen la vida del motor. En muchos casos, este incremento en la corriente no está provocado por una sobrecarga mecánica, sino porque se alimenta al motor a una tensión menor que la nominal.

### 5.2.3. Arranque

Se debe observar un arranque para **verificar su correcta acción**, controlando la actuación de los **elementos de maniobra**. Deben revisarse los contactos de los guardamotores, interruptores o contactores, y reemplazarlos si fuera necesario.

### 5.2.4. Elementos de protección

Es necesario verificar las protecciones:

- Las térmicas, para comprobar que están bien reguladas.
- Los fusibles, para comprobar si tienen el dimensionamiento adecuado.

### 5.2.5. Conexionado y puesta a tierra

Conviene **controlar periódicamente el apriete de todas las conexiones y la rigidez de los empalmes y terminales**, para asegurar que no queden elementos flojos que originen calentamientos localizados excesivos, que podrían provocar incluso el incendio del motor.

### 5.2.6. Estado de la aislación

Un indicador del estado de la aislación es la resistencia de aislación de los bobinados. Este valor a temperatura de régimen (entre 80 y 100° C, aproximadamente) deberá superar al obtenido con la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Resist. de Aislación [M}\Omega\text{]}}{\text{Tensión Nominal del motor [V]}} > \frac{\text{Potencia del motor [kVA} + 1000\text{]}}{20}$$

Y no ser menor que 1 MΩ.

Otra verificación:

$$R_i > \frac{20 \times u}{1000 + 2 \times P}$$

Si es menor a 2 MW se debe realizar secado.

En caso de no alcanzar el valor indicado, debe procederse a:

- La limpieza del bobinado, puesto que el depósito de suciedad es lo que más comúnmente reduce la resistencia de aislamiento.
- Si lo anterior no da resultado, el secado debido a que la causa es la presencia de humedad de la aislación.

La tarea de limpieza del bobinado se realiza preferentemente con el motor abierto, mediante el sopleteado de aire a presión, o la aplicación de un cepillo suave. Ante la presencia de aceite o grasa, se debe sopletear con algún solvente y asegurarse que no ataque químicamente la aislación.

Se recomienda el solvente dieléctrico debido a que no es inflamable.

La aplicación de un nuevo barnizado, luego de la limpieza, no debe entenderse como necesaria. Cuando se midan valores relativamente altos de la resistencia de aislamiento, no se ejecutará.

#### ATENCIÓN

Un aumento del recubrimiento de material aislante reduce la capacidad de disipación térmica. Por ello, deberá evaluarse esa situación y solamente barnizar cuando se vean claras huellas de erosión química o mecánica (abrasión por partículas en el aire de ventilación) de la aislación y se asegure que el barniz penetre a los lugares más necesarios, que en general no son las cabezas de bobinas.



Si fuera menester la operación de secado, se puede emplear cualquiera de los siguientes métodos, en función del volumen del motor y de las instalaciones con que se cuente:

- Cubrir el motor con una lona y distribuir interiormente lámparas o resistencias calefactores. Se dejará camino a la aireación de manera de evacuar la humedad o se agregará un ventilador.
- Utilizar horno o estufa.
- Por circulación de CC o CA, requiriéndose un valor menor que el nominal y una tensión de alimentación reducida.

En todos los casos hay que **controlar la temperatura de los arrollamientos** para que no superen los valores límites correspondientes a su clase de aislación. Para ello, es conveniente ubicar varios termómetros sobre el bobinado o hacer uso de circuitos de medición.

Como regla general puede considerarse que no se deben superar 90° C durante el secado, ni los 5° C por hora de incremento mientras se llega a esa temperatura.

### 5.2.7. Limpieza

En ambientes de gran suciedad o con partículas en suspensión, se deben instalar motores **del grado de protección adecuado**. Aún en ese caso, es necesario realizar una permanente vigilancia, con revisiones periódicas para evaluar y prevenir las consecuencias de la acción de las partículas sobre la aislación.

La limpieza periódica, realizada en la forma ya indicada, es la primera acción a seguir; el agregado de sistemas filtrantes en el circuito del aire de ventilación será la solución cuando aquella sea requerida con mucha frecuencia. En este último caso, es conveniente verificar que la ventilación no se ha empobrecido, lo que puede provocar incrementos del calentamiento.

### 5.2.8. Revisión del rotor y otros elementos

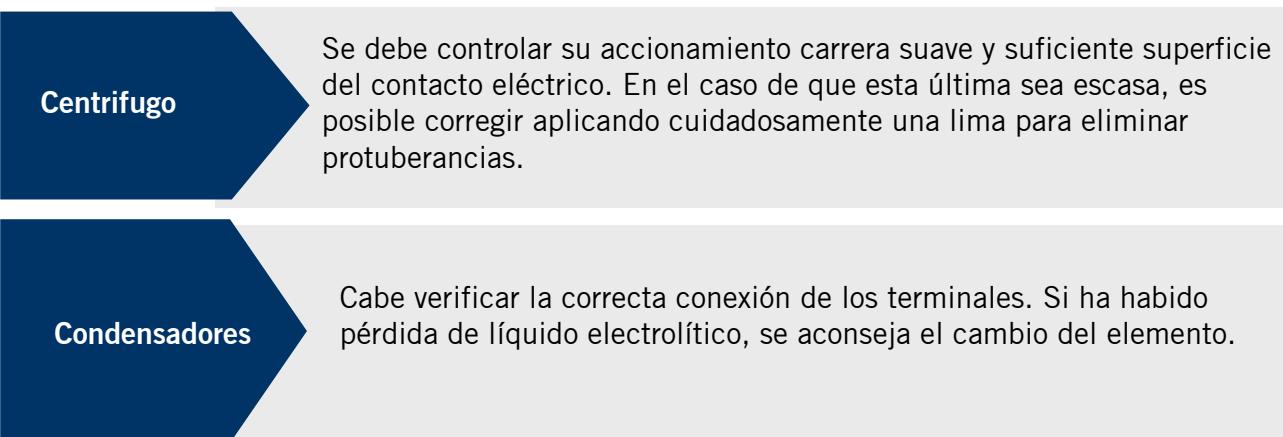
La revisión de la jaula podrá **prevenir en alguna medida un futuro defecto**. En general, sólo cabe una inspección visual que busca algún indicio de anormalidad. En casos de jaulas de cobre, se observan sus soldaduras y rigidez mecánica.

Este hecho, que no es fácil valorar y que también puede producirse en la operación de secado, es crítico para los motores de más de 1000 RPM. El barnizado de las cabezas de las bobinas es entonces conveniente.

De los anillos colectores se vigilan sus superficies, excentricidades y, de tanto en tanto, se verificará que la rigidez mecánica se mantiene, puesto que estos anillos también se fijan sobre material aislante.

Con mayor frecuencia se debe controlar la superficie de contacto de las escobillas, particularmente luego del periódico reemplazo por desgaste.

También es necesario realizar la revisión de otros elementos del motor:

- 
- Centrifugo**  
Se debe controlar su accionamiento carrera suave y suficiente superficie del contacto eléctrico. En el caso de que esta última sea escasa, es posible corregir aplicando cuidadosamente una lima para eliminar protuberancias.
  - Condensadores**  
Cabe verificar la correcta conexión de los terminales. Si ha habido pérdida de líquido electrolítico, se aconseja el cambio del elemento.

### 5.2.9. Medición de la resistencia de los bobinados

Sirve para la **verificación de las conexiones**, particularmente en los casos en que haya sido necesario **abrir las**.

### 5.2.10. Prueba de rigidez dieléctrica

Debe evaluarse muy cuidadosamente la ejecución de esta exigencia debido a que sucesivas aplicaciones de un alto potencial reducen la vida del aislante. Por ello, sólo se justifica en los casos que se dude acerca del estado de la aislación y siempre que la circunstancia de una eventual falla posterior del motor detenga un mecanismo imprescindible.

Ante valores elevados de resistencia de aislamiento, no es necesaria la prueba de rigidez dieléctrica.

Pero en los casos que aquella no se pueda elevar con los procesos ya descriptos, es posible realizarla para eliminar la duda de que el fenómeno se debe a un defecto incipiente localizado que puede repararse preventivamente, o a haber llegado al extremo de la vida del aislante, lo que implica la necesidad de un rebobinado.

El valor de la tensión es del 75% del de prueba de un motor nuevo, aplicada durante un minuto. Si esta prueba se ejecuta para agregar confiabilidad a la medición de la resistencia de aislación, es posible tener una duración de sólo algunos segundos.

**ACTIVIDAD. 16 Verdadero / Falso**

Este ejercicio permite verificar la comprensión sobre mantenimiento mecánico y eléctrico de los motores



Lea cada una de las siguientes afirmaciones e indicar si es verdadera o falsa

**1** Es recomendable realizar el reengrase antes de las 500 horas de servicio del motor.

- A) Verdadero
- B) Falso

**2** En los motores sin engrasador es aconsejable efectuar el reengrase durante el funcionamiento del motor

- A) Verdadero
- B) Falso

**3** Se aconseja que la limpieza del bobinado se realice con el motor cerrado.

- A) Verdadero
- B) Falso

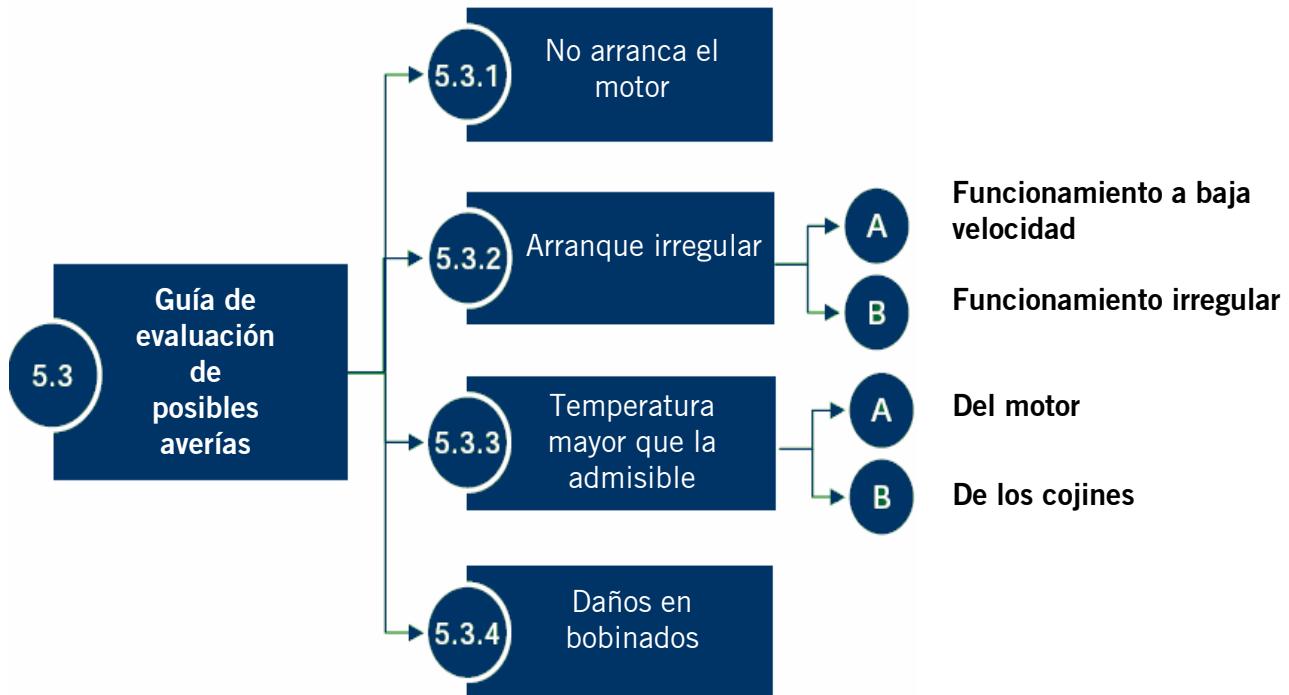
**4** Se recomienda ubicar varios termómetros sobre el bobinado para controlar que la temperatura de los arrollamientos no superen los valores límites correspondientes a su clase de aislación.

- A) Verdadero
- B) Falso

## 5.3 Guía de evaluación de posibles averías

### Presentación

A continuación se presenta una guía de evaluación de posibles averías de los motores asincrónicos.



### 5.3.1. No arranca el motor

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- No hay tensión en bornes del motor (comprobarlo mediante voltímetro o busca-polo).	Falta de alimentación en la red.	Comprobar en el tablero de entrada si hay suministro hacia el motor.	Reparar.
	Falta de continuidad en la línea al motor.	Buscar a lo largo de la linea con voltímetro o busca-polos, para localizar el punto de interrupción.	Reparar.
	Si hay fusibles, alguno fundido.	Verificar con el mismo voltímetro la tensión después de los fusibles.	Verificar trabas mecánicas y luego cambiar fusibles.
	Si hay interruptor manual o guarda-motor, averías en sus mecanismos o contactos.	Comprobar si hay tensión a la salida de los bornes.	Abrir el aparato, revisar y reparar o reemplazar.
	Si hay contactor, este no acciona por: - Bobina abierta. - Operación de los protectores térmicos y no se repusieron. - Falla en el conexionado. - Contacto quebrado.	Verificar si el contactor cierra, si esto no ocurre: - Comprobar continuidad de la bobina. - Comprobar que está oprimido el botón de reposición. - Revisar el circuito de mando. - Verificar el cierre de todos los contactos.	Cambiar bobina. Oprimir reposición. Modificar conexionado. Cambiar contactos.

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
2- La tensión en bornes del motor es demasiado baja (medirla con voltímetro).	La red suministra una tensión muy baja. Gran caída de tensión en la línea al motor.	Medir la tensión de la red en el tablero de entrada. Calcular la caída de tensión en la línea al motor en el arranque.	Elevar la tensión de suministro. Aumentar las secciones a la adecuada.
3- El rotor está trabado.	Cojinetes trabados. Rotor descentrado que roza con el estator.	Tratar de girar el rotor por medios mecánicos sin carga para comprobar si puede hacerlo. Si no se logra y a simple vista no aparece el motivo, cabe revisar la transmisión, desarmar los cojinetes y el motor para localizar el problema.	Revisar cojinetes, transmisión.
	Transmisión trabada o que ofrece un gran par resistente.	Si en vacío el rotor gira libremente, verificar si el efecto de rotor bloqueado lo produce un par resistente de la carga mayor que el par de arranque del motor.	
	Carga excesivamente alta.	Reducir la carga, cambiar el motor.	
4- Conexión equivocada en bornes del motor.	En los motores con arrollamientos divididos, error en el conexionado.	Controlar si la conexión en la caja de bornes del motor coincide con la indicada por el fabricante.	Modificar.

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
5- Falla en el circuito rotórico externo.	En motores trifásicos de rotor bobinado. Circuito abierto en las resistencias externas o en las escobillas.	Verificar el correcto asentamiento de las escobillas y la continuidad del circuito rotórico externo. Al medir las corrientes estatóricas se encuentran mediciones bajas.	Aflojar portaescobillas; asentar escobillas o reparar el circuito rotórico.
6- Falla en el motor.	Arrollamiento estatórico a masa.	Medir la resistencia de aislación entre estator y masa.	Reparar.
	Arrollamiento estatórico abierto.	Comprobar la continuidad en cada fase del estator. Al medir o medir la corriente en cada fase.	Reparar.
	Rotor bobinado abierto.	Comprobar la continuidad en cada fase del rotor. Al medir la corrientes estatóricas se encuentran intensidades bajas.	Reparar.
	Jaula abierta.	Se aprecian variaciones cíclicas en las corrientes.	Cambiar rotor y/o reparar.
	En los monofásicos, interruptor centrífugo abierto, capacitores a masa, etc.	Desarmar el motor a fin de examinar estas partes.	Cambiar auxiliares.

### 5.3.2. Arranque irregular

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- Desperfecto en los elementos de mando o auxiliares.	Contactos quemados o gastados particularmente en el contactor.	Desarmar el contactor y revisar sus contactos.	Cambiar contactos.
	Desajuste en el polo de sombra del contactor.	Escuchar en el contactor si existe el ruido característico de la intermitencia en los contactos.	Reparar el polo de sombra.
	Error en el conexionado del contactor.	Revisar el circuito de mando del contactor de acuerdo al esquema.	Modificar las conexiones.
	En los motores de rotor bobinado, resistencia externa muy baja.	Comprobar que la resistencia incluida en el circuito rotórico es la adecuada para el arranque.	Aumentar la resistencia.
2- Falla en el estator.	Cortocircuito entre espiras en el estator.	Con esta falla se aprecia también zumbido y alta corriente. Desarmar el motor para observar el bobinado estatórico.	Reparar el cortocircuito o rebobinar.

La baja tensión puede estar motivada por el suministro. Por ello, el arranque irregular también puede ser producido por los factores presentados a continuación.

## A. Funcionamiento a baja velocidad

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- Valor inadecuado de la tensión de alimentación.	Tensión demasiado baja. Conexión al neutro en lugar de una de las fases.	Medir con voltímetro la tensión en bornes del motor: en todas las fases para detectar si no es menor que la nominal. Si lo fuera, medir también en el tablero de entrada para comprobar si se trata de un problema de suministro.	La baja tensión puede estar motivada por el suministro o por una instalación inadecuada. Por lo tanto, puede ser necesario corregir en la red o modificar la instalación.
2- Funcionamiento en dos fases.	Operación de un fusible luego del arranque del motor.	Comprobar el estado de los fusibles. La medición indicada de la tensión en bornes del motor ya comprende la verificación de los fusibles. También puede medirse la corriente en cada fase.	Cambiar fusible.
3- Error en el conexionado externo del motor.	Conexión equivocada en la caja de bornes por ejemplo, triángulo por estrella o, si se trata de un motor de varias velocidades se ha conectado a otra toma.	Comparar la conexión de la caja de bornes con la que indica el fabricante en el esquema que aparece, en general, en el reverso de la tapa de dicha caja.	Modificar la conexión si se advierte error.
	En motores de rotor bobinado, resistencia externa incluida.	Revisar el circuito rotórico externo, para verificar que no han quedado resistencias incluidas.	Eliminar resistencias rotóricas externas.

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
4- Carga excesiva.	Deterioro en la transmisión.	Revisar la transmisión, en particular, la lubricación en engranajes y el tesado de correas, intentando detectar si no ejercen una carga resistente anormal.	Lubricar, alinear o aflojar correas.
	Par resistente de la carga demasiado alto.	Evaluuar (por ejemplo, por la corriente consumida por el motor) el par resistente de la carga, pues el par motor puede resultar insuficiente para acelerar las masas rotantes hasta la velocidad nominal.	Reducir la carga o cambiar el motor.
5- Falla en los arrollamientos.	Bobinado a masa.	Medir las corrientes de fase, pues esta falla produce incrementos. Comprobar con megger el aislamiento a masa.	Reparar o rebobinar.
	Conexión interna equivocada de alguna bobina o cortocircuito entre espiras.	Desarmar el motor a fin de revisar los arrollamientos.	

## B. Funcionamiento irregular

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- Desajustes en la transmisión.	Desperfecto en los engranajes.	Cuando la transmisión es un engranaje o un conjunto de engranajes, revisar su correcto ajuste, alineación y lubricación.	Reparar engranajes.
	Correas de transmisión flojas o deterioradas.	En este caso verificar el estado de las correas y su tesado.	Cambiar o tensar correas (todas).
2- Funcionamiento en dos fases.	Operación de un fusible luego del arranque del motor.	Medir la corriente en cada fase o la tensión en bornes del motor o revisar los fusibles y la alimentación.	Cambiar fusible.
	Falla en la red de alimentación.		Normalizar alimentación.
3- Fallas mecánicas en el motor.	Desgaste de los cojinetes.	Evaluar el ruido de cojinetes y, si se aprecian síntomas de deterioro, desarmar.	Cambiar cojinetes.
	Deformación de la carcasa.	Retirar las protecciones para apreciar si no existen roces entre elementos fijos y rotantes y, en particular, entre rotor y estator o elementos extraños en el entrehierro.	Reparar.
4- Falla en las jaulas.	Soldadura abierta en la jaula.	Comprobar si existen variaciones cíclicas de la corriente. Desarmar el motor para comprobar el estado de la jaula.	Reparar.

### 5.3.3. Temperatura mayor que la admisible

La temperatura del motor y de los cojines puede ser mayor que la admisible.

#### A. Del motor

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- Tensión de alimentación inadecuada.	Tensión de alimentación baja.	Medir con voltímetro la tensión de bornes del motor.	Regular la tensión en bornes del motor a su valor nominal.
	Tensión de alimentación alta.		
	Funcionamiento en dos fases.		
2- Carga o clase de servicio.	Carga excesiva.	Comprobar (por ejemplo, por la corriente que consume el motor) si la carga total en el eje no supera la que el motor puede suministrar.	Reducir la carga o cambiar por otro motor de mayor potencia.
	Clase de servicio demasiado exigente.	Establecer si el motor es apto para la clase de servicio en que se usa, es decir, si la periodicidad de los arranques o frenadas contracorriente es la indicada en su placa de características.	Llevar el motor al funcionamiento para el cual ha sido diseñado o cambiar el motor.

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
3- Fallas en la refrigeración.	Obstrucción en las ranuras de ventilación.	Comprobar si existen elementos extraños o suciedad en las aberturas de ventilación.	Limpiar.
	Defectos en el ventilador.	Retirar las protecciones y observar el ventilador, en particular su sentido de giro.	Reparar o invertir.
	Mala circulación de aire externo.	Observar si no existen objetos que dificultan la circulación externa del aire, o que dirigen el aire caliente hacia las entradas del motor.	Modificar la instalación.
4- Fallas en los arrollamientos.	Cortocircuito entre espiras en el estator.	Con esta falla se aprecia también zumbido y altas corrientes. Desarmar el motor para observar el bobinado estatórico.	Reparar el cortocircuito o rebobinar.
	Falla en las soldaduras de la jaula o cortocircuito en el bobinado rotórico.		Reparar.

## B. De los cojines

Causas posibles	Averías posibles	Verificación	Reparación
1- Estado de la lubricación.	Falta lubricante.	Comprobar el estado de la lubricación, desarmado de los cojinetes.	Limpiar y reengrasar.
	Sobra lubricante.		
	Lubricante sucio o contaminado.		
2- Estado de los cojinetes.	Cojinetes exigidos por tiro excesivo de las correas o falta de alineación.	Verificar la alineación y el tesado de las correas.	Corregir.
	Desgaste de los cojinetes.	Evaluar el ruido de cojinetes, y si se aprecian síntomas de deterioro, desarmar.	Cambiar cojinetes.

**ACTIVIDAD 17 Problemas en el arranque del motor**

Este ejercicio permite reforzar los conceptos recién trabajados sobre problemas en el arranque del motor asincrónico



Leer las posibles averías y escribir una medida para resolver el problema

Possible avería	medida a tomar
Falta de alimentación en la red.	
Contactos quemado o gastados particularmente en el contactor.	
Tensión demasiado baja.	
Cortocircuito entre espiras en el estator.	
En motores de rotor bobinado, resistencia externa incluida.	
Desperfecto en los engranajes.	
En los motores con arrollamientos divididos, error en el conexionado.	
Si hay fusibles, alguno fundido.	
Operación de un fusible luego del arranque del motor.	
La red suministra una tensión muy baja.	
Correas de transmisión flojas o deterioradas.	
Operación de un fusible luego del arranque del motor.	
En los motores de rotor bobinado, resistencia externa muy baja.	
Conexión equivocada en la caja de bornes.	
Arrollamiento estatórico a masa.	
Deterioro en la transmisión.	
Deformación de la carcasa.	
Jaula abierta.	
Si hay contactor, éste no acciona por bobina abierta.	
Falla en la red de alimentación.	
En los monofásicos, interruptor centrifugo abierto, capacitores a masa.	
Par resistente de la carga demasiado alto.	
Error en el conexionado del contactor.	
Si hay interruptor manual, averías en sus mecanismos o contactos.	
En los motores de rotor bobinado, resistencia externa muy baja.	

### 5.3.4. Daños en bobinados

El tiempo de vida operacional del bobinado de un motor eléctrico depende de varios factores, como: especificación correcta (tensión, frecuencia, numero de polos, grado de protección, etc.), instalación y mantenimiento correctos, etc.

Si se quema un motor eléctrico, en primer lugar, se debe identificar la causa (o posibles causas) de la quema, bajo análisis del bobinado dañado. **Es fundamental que la causa sea identificada y eliminada**, para evitar eventuales nuevas quemadas del motor.

Identificada la causa más probable, el usuario deberá eliminarla y/o mejorar el sistema de protección del motor. Para auxiliar en el análisis, las fotos y el cuadro abajo presentan las características de algunos tipos de daños en bobinados y sus posibles causas

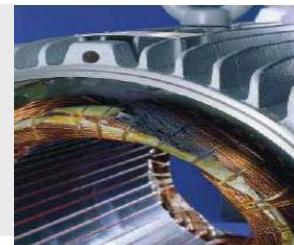
#### Corto de espiras

- Falla en el esmalte de aislamiento del alambre.
- Falla en el barniz de impregnación.
- Contaminación interna del motor.
- Rápidas oscilaciones en la tensión del motor.



#### Corto entre fases

- Falla del material aislante.
- Contaminación interna del motor.
- Degrado del material aislante por abrasión debido al motor operar en alta temperatura.



#### Corto en la conexión

- Falla del material aislante.
- Contaminación interna del motor.
- Sobrecalentamiento de la conexión debido a mala conexión



### Corto en la salida de la ranura

- Falla en el esmalte de aislamiento del alambre.
- Falla en el barniz de impregnación.
- Falla del material aislante.



### Corto en el interior de la ranura

- Contaminación interna del motor.
- Rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación.
- Degrado en el material.



### Pico de tensión

- Oscilaciones bruscas en la tensión de alimentación.
- Transitorios de maniobra de banco de capacitores.
- Motor accionado por convertidor de frecuencia con algunos parámetros incorrectos.



### Desbalanceo de tensión

- Desequilibrio de tensión y/o de corriente entre las fases.
- Oscilaciones de tensión en las tres fases.
- Falla en el banco de capacitores.
- Contactos mal hechos.



### Rotor trabado

- Eje trabado por la carga.
- Excesiva dificultad para arrancar la carga, debido a elevada caída de tensión, inercia y par de carga muy elevados.



**Sobre calentamiento**

- Exceso de carga en la punta del eje (permanente o eventual / periódico).
- Sobre tensión o sub tensión en la red de alimentación (permanente o eventual / periódico).
- Cables de alimentación muy largos y/o finos.
- Excesivo numero de arranques en corto tiempo.
- Conexión incorrecta de los cables de conexión del motor.
- Ventilación deficiente (tapa deflectora dañada u obstruida, basura sobre la carcasa, temperatura ambiente elevada, etc.).

**Falta de fase de conexión estrella**

- Quema de un fusible.
- Rompimiento de un cable alimentador.
- Quema de una fase del transformador de alimentación.

**Falta de fase de conexión triángulo**

- Mal contacto en los terminales de una fase del transformador.
- Mal contacto en las conexiones.
- Mal contacto en el arrancador, contactor o guarda motor.



### ACTIVIDAD 18 Memotest de daños bobinados

Este ejercicio permite identificar los daños en los bobinados en los motores asincrónicos

Unir con flechas la imagen con el nombre correspondiente



Corto en la conexión



Pico de tensión



Corto entre fases



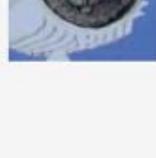
Rotor trabado



Sobre calentamiento



Falta de fase conexión triángulo



Desbalanceo de tensión



Corto en el interior de la ranura



Falta de fase conexión estrella



Corto de espiras



Corto en la salida de la ranura

En este punto finaliza la explicación sobre Mantenimiento de motores asincrónicos.

**¡Felicitaciones!**

Ha finalizado el curso de Motores Asincrónicos.

# Anexo

## Capítulo 2: introducción a los motores asincrónicos

### Componentes

### Tabla de datos garantizados

En las páginas presentadas a continuación, se muestran ejemplos de tablas de datos garantizados donde se detallan los distintos parámetros que son necesarios para la selección del motor.

Velocidad 1200 rpm (2 polos)										Torque				Intensidad		Peso Aprox.
codIGO actual	codigo antiguo	tipo	frame IEC	HP	KW	Fs.	220 V Amp	440 V/Amp.	Eficiencia	Torque nominal	Momento de Inercia	de arranque constante	de In	Kg		
01135	836640	1LA7 072-6Y A60	71	0.40	0.29	1.05	1.60	0.80	1090	65.0	2.61	0.0006	2.3	4.9	5.7	
01136	836672	1LA7 073-6Y A60	71	0.50	0.37	1.15	2.20	1.10	1020	61.0	3.70	0.0009	1.5	2.0	5.7	
01137	836680	1LA7 080-6Y C60	71	0.60	0.45	1.05	2.40	1.20	1000	61.0	3.96	0.0015	1.9	2.7	8.5	
01138	836673	1LA7 080-6Y A60	80	0.75	0.56	1.15	3.30	1.65	1075	62.0	4.97	0.0015	1.5	2.0	8.5	
01139	836690	1LA7 082-6Y A60	80	0.90	0.66	1.05	3.60	1.80	1080	66.0	5.94	0.0018	1.9	3.1	10.5	
01140	836674	1LA7 083-6Y A60	80	1.00	0.74	1.15	4.20	2.10	1090	67.0	6.54	0.0018	2.6	4.0	10.5	
01141	836601	1LA7 090-6Y C60	80	1.20	0.90	1.05	5.20	2.60	1135	67.0	7.53	0.0023	2.0	3.2	11.9	
01142	836676	1LA7 090-6Y A60	90	1.50	1.12	1.15	6.60	3.30	1110	69.0	0.63	0.0020	2.0	3.4	12.0	
01143	836678	1LA7 096-6Y A60	90	2.00	1.50	1.15	7.80	3.90	1100	72.0	12.95	0.0035	2.7	6.0	14.9	
01144	836670	1LA7 112-6Y A60	112	3.00	2.20	1.15	11.90	5.00	1150	72.1	19.59	0.011	1.9	4.0	26.7	
01145	836691	1LA7 113-6Y A60	112	4.00	3.00	1.15	15.00	7.50	1150	76.8	24.78	0.011	2.0	4.5	29.5	
01146	836606	1LA7 120-6Y A70	112/M	5.00	3.73	1.15	16.40	9.20	1150	78.5	31.00	0.015	1.8	4.6	40.5	
01147	836683	1LA7 123-6Y A70	112/M	7.50	5.69	1.15	26.00	13.00	1150	78.0	47.00	0.019	1.8	5.1	54.0	
01148	836694	1LA5 164-6Y C70	112/M	10.00	7.50	1.05	33.00	16.50	1150	80.5	62.00	0.025	1.9	5.2	60.0	
01149	836685	1LA5 164-6Y C70	160MIL	15.00	11.20	1.05	44.00	22.00	1150	85.0	92.93	0.041	2.0	5.9	73.5	
01150	836686	1LA5 167-6Y C70	160MIL	20.00	14.90	1.05	60.00	30.00	1170	86.0	121.8	0.049	1.8	5.0	89.5	

Motores de alta eficiencia (Evidencias superiores a EP Act)															
01151	856624	1LA4 186-6Y-A80	180L	25	18,7	1,05	67,5	33,8	1170	88,0	152,2	0,2	2,6	5,6	100
01152	856625	1LA4 206-6Y-A80	200L	30	22,4	1,05	79,0	39,5	1175	89,0	181,9	0,29	2,3	5,4	240
01153	856630	1LA4 207-6Y-A80	200L	36	26,8	1,05	95,0	47,5	1175	89,0	218,3	0,33	2,6	5,6	255
01154	856630	1LA6 224-6Y-C80	225M	50	37,3	1,15	124,0	62,0	1170	92,0	304,5	0,57	2,4	5,8	315
26704	843606	1LA6 251-6AA60	250M	60	45	1,10		73,9	1176	92,4	361	0,89	2,1	6,0	410
26705	843608	1LA6 280-6AA60	280S	75	56	1,05		81,7	1178	93,0	438	1,3	2,3	6,0	540
26706	843609	1LA6 281-6AA60	280M	100	75	1,00		121,7	1180	93,0	534	1,5	2,4	6,2	580
26707	843610	1LA6 310-6AA60-Z	315S	125	93	1,10		151,6	1185	93,8	725	2,4	2,5	6,2	770
26708	843612	1LA6 313-6AA60-Z	315M	150	112	1,10		181,3	1185	94,2	870	2,9	2,5	6,2	830
26709	843618	1LA6 316-6AA60-Z	315L	175	131	1,10		210,4	1185	94,7	1060	3,5	2,5	6,5	970
26710	843620	1LA6 317-6AA60-Z	315L	200	149	1,10		239,7	1183	94,7	1280	4,3	2,2	6,6	1060
26711	843625	1LA6 318-6AA60	315L	250	187	1,05		299,3	1185	95,0	1550	4,9	2,3	6,6	1100

Velocidad 1800 rpm (4 polos)										Torque				Intensidad		Peso Aprox
codigoo actual	codigoo arreglo	tipo	frame IEC	HP	kW	F.S.	220 V Amp	440 V Amp.	In a	rpm	Ecienc ia	Torque no final	Momento de inercia	de arranque como f.c.		
										un %	Nm	Kg*m2	de Tr	de In	Kg	
01108	836440	1LA7 070- 4Y650	71	0.40	0.29	1.05	1.6	0.80	1640	66.0	1.74	0.0006	1.8	2.8	4.7	
01109	836472	1LA7 070- 4Y650	71	0.50	0.37	1.15	1.9	0.95	1590	66.0	2.20	0.0006	1.3	2.7	5.5	
01110	836460	1LA7 071- 4Y650	71	0.60	0.45	1.05	2.2	1.10	1645	69.0	2.60	0.0008	1.8	3.4	6.0	
01111	836473	1LA7 073- 4Y650	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	1650	65.0	3.30	0.0008	1.9	3.7	6.0	
01112	836490	1LA7 080- 4Y650	80	0.90	0.67	1.05	3.1	1.55	1675	68.0	3.83	0.0015	2.3	4.4	8.1	
01113	836474	1LA7 080- 4Y650	80	1.00	0.75	1.15	3.5	1.75	1660	69.2	4.29	0.0015	1.9	3.7	8.1	
01114	836401	1LA7 081- 4Y650	80	1.20	0.90	1.05	4.0	2.00	1675	70.0	5.10	0.0018	2.2	3.7	9.3	
01115	836476	1LA7 083- 4Y650	80	1.50	1.12	1.15	5.0	2.5	1650	72.0	6.48	0.0018	1.8	3.0	9.3	
01116	836402	1LA7 090- 4Y650	90	1.80	1.34	1.05	6.4	3.2	1700	77.0	7.54	0.0028	2.4	5.2	11.9	
01117	836478	1LA7 090- 4Y650	90	2.00	1.50	1.15	7.0	3.5	1700	77.0	8.38	0.0028	2.2	4.4	12.1	
01118	836403	1LA7 094- 4Y650	90	2.40	1.79	1.05	7.4	3.7	1690	77.0	10.12	0.0035	2.0	4.5	14.9	
01119	836479	1LA7 096- 4Y650	90	3.00	2.20	1.15	9.6	4.8	1708	79.0	12.51	0.0035	1.8	3.6	14.9	
01120	836404	1LA7 111- 4Y650	112	4.00	3.00	1.15	13.0	6.5	1750	76.3	16.28	0.0048	2.2	5.6	27.1	
01121	836406	1LA7 112- 4Y650	112	5.00	3.73	1.15	15.8	7.9	1750	80.5	20.36	0.0058	2.3	6.5	28.7	
01122	836407	1LA7 113- 4Y650	112	6.60	4.92	1.05	19.6	9.8	1745	78.0	26.95	0.011	2.0	6.0	31.0	
01123	836483	1LA7 114- 4Y650	112	7.50	5.60	1.15	23.2	11.6	1740	80.0	30.71	0.011	2.2	5.6	32.7	
01124	836484	1LA7 131- 4Y750	M	10.00	7.50	1.15	28.8	14.4	1750	81.0	41.50	0.018	2.3	6.0	46.5	
01125	836412	1LA7 133- 4Y750	M	12.00	9.00	1.05	34.0	17.0	1750	81.2	49.50	0.024	2.5	6.6	49.0	
01126	836485	1LA5 164- 4Y750	M	15.00	11.2	1.15	43.0	21.5	1750	82.5	62.00	0.024	1.8	5.0	62.0	
01127	836486	1LA5 164- 4Y750	ML	20.00	14.9	1.15	53.0	26.5	1760	85.0	80.96	0.040	1.8	6.3	77.5	
01128	836487	1LA5 167- 4Y750	ML	25.00	18.7	1.15	64.0	32.0	1755	89.0	101.5	0.052	1.8	5.4	85.5	

Motores de alta eficiencia (Eficiencias superiores a E-P-Aut)										
01129	856431	1LA4 183-4V A80	180M	30	22.4	1.05	78	39.0	1755	90.7
01130	856436	1LA4 186-4V A80	180L	36	26.8	1.05	93	46.5	1760	91.3
01131	856440	1LA4 187-4V A80	180L	40	29.8	1.05	104	52.0	1750	91.3
01132	856448	1LA4 207-4V C80	200L	50	37.3	1.15	126	63.0	1760	91.3
01133	856450	1LA6 220-4V A80	225S	60	44.5	1.15	148	74.0	1765	96.2
01134	856475	1LA6 224-4V C80	225M	75	56.0	1.15	188	94.0	1780	92.7
26697	843475	1LA6 258-4BA90-Z	250M	100	76.0	1.20	240	120.0	1780	94.0
26698	843410	1LA6 280-4BA90-Z	280S	125	93.0	1.05	290	145.0	1785	94.7
26699	843412	1LA6 283-4BA90-Z	280M	150	112.0	1.00	355	177.5	1785	94.9
26700	843418	1LA6 310-4AA60	315S	185	136.0	1.00	-	222.2	1783	94.8
26701	843420	1LA6 313-4AA60	315M	225	168.0	1.00	-	265.2	1783	95.5
26702	843425	1LA6 316-4AA60-Z	315L	275	205.0	1.10	-	323.1	1783	95.6
26703	843430	1LA6 317-4AA60-Z	315L	350	261.0	1.10	-	409.5	1785	96.2

Potencia HP	Corriente Tipo de Motor	Código Producto	Veloci- dad	Eficiencia %	Cas phi	480 V	575 V	% FLA	lb-pie	% FL	EDT	LRF	Momento Inercia	Peso Lbs	Presión Sonora Lp dBA
3600 RPM (2 polos)															
100	404/5TS	M3BN405SMC	3GBN801230..+G	3573	93,6	0,9	111	89	870	14,7	340	260	14,5	1045	79
125	444/5TS	M3BN445SMB	3GBN841220..+G	3575	94,5	0,88	141	113	730	18,4	290	180	21,5	1460	82
150	444/5TS	M3BN445SMC	3GBN841230..+G	3577	94,5	0,89	166	133	790	22,0	300	210	27	1600	82
200	447/9TS	M3BN449KHA	3GBN841910..+G	3581	95	0,87	226	181	780	293	300	220	33	2900	83
250	447/9TS	M3BN449KHB	3GBN841920..+G	3580	95,4	0,88	278	223	750	367	280	210	40	2700	83
300	447/9TS	M3BN449KHC	3GBN841930..+G	3580	95,4	0,89	330	264	780	440	300	240	50	2950	83
350	447/9TS	M3BN449KHD	3GBN841940..+G	3577	95,4	0,89	382	306	730	514	260	240	55	3100	83
400	447/9TS	M3BN449KHF	3GBN841960..+G	3580	95,8	0,9	430	344	840	587	280	230	70	3450	83
450	585/6	M3BN586SMB	3GBN981220..+G	3580	95,8	0,89	493	395	750	660	310	190	81	3700	88
500	585/6	M3BN586SMC	3GBN981230..+G	3583	95,8	0,89	546	437	750	733	290	200	86	3850	88
600	586/7	M3BN587MLA	3GBN981410..+G	3581	95,8	0,88	662	530	750	880	280	220	97	4400	88
650	586/7	M3BN587MLB	3GBN981420..+G	3583	96,2	0,9	698	558	810	953	340	190	102	4600	88
1800 RPM (4 polos)															
100	404/5T	M3BN405SMC	3GBN802230..+G	1790	94,5	0,96	114	91	730	295	320	250	23	1080	70
125	444/5T	M3BN445SMB	3GBN842220..+G	1784	94,5	0,96	144	115	700	369	280	240	36	1460	72
150	444/5T	M3BN445SMC	3GBN842230..+G	1783	95	0,87	170	136	700	442	270	240	44	1600	72
200	447/9T	M3BN449KHA	3GBN842910..+G	1788	95	0,96	229	183	730	589	300	220	62	2500	74
250	447/9T	M3BN449KHB	3GBN842920..+G	1788	95	0,96	285	228	730	743	300	220	69	2600	74
300	447/9T	M3BN449KHC	3GBN842930..+G	1788	95,4	0,96	340	272	740	882	310	230	83	2850	74
350	447/9T	M3BN449KHD	3GBN842940..+G	1787	95,4	0,87	395	316	710	1029	290	220	93	3000	82
400	447/9T	M3BN449KHE	3GBN842950..+G	1787	95,4	0,87	450	360	740	1176	300	230	105	3100	82
450	447/9T	M3BN449KHF	3GBN842960..+G	1786	95,4	0,87	505	404	750	1323	300	250	119	3350	82
500	585/6	M3BN586SMC	3GBN982230..+G	1788	95,8	0,87	560	448	740	1469	270	220	171	4000	83
600	586/7	M3BN587MLA	3GBN982410..+G	1789	95,8	0,86	676	541	740	1763	260	240	200	4700	83
700	587/8	M3BN588LKA	3GBN982810..+G	1790	96,2	0,88	769	622	740	2053	280	240	238	5500	83
800	587/8	M3BN588LKB	3GBN982820..+G	1790	96,2	0,86	902	722	820	2348	290	270	252	5750	83

Potencia HP	Corriente Curvosa	Tipo de Motor	Código Producto	Velocidad RPM	%	Cos phi	460 V	575 V	% FLA	Torque BDT	LRT	%FL	Ib-pie 2	lbs	Peso	Presión Sobrea	1200 RPM (8 polos)	
																	900 RPM (8 polos)	
60	4045T	M 3BN 405 SMB	3GBN 903 230..+G	1189	93,6	0,82	75	60	740	265	310	290	36	1025	70			
75	4045T	M 3BN 405 SMC	3GBN 903 230..+G	1187	93,6	0,83	90	72	760	332	300	290	39	1080	70			
100	4445T	M 3BN 445 SMC	3GBN 943 230..+G	1188	94,1	0,85	117	94	650	442	230	210	59	1500	70			
125	4445T	M 3BN 445 SMD	3GBN 943 240..+G	1190	94,1	0,84	147	118	750	532	260	270	72	1650	70			
150	4479T	M 3BN 449 KHA	3GBN 943 390..+G	1182	95	0,84	176	141	770	661	290	260	98	2400	75			
200	4479T	M 3BN 449 KHC	3GBN 943 930..+G	1191	95	0,84	234	187	750	883	280	260	128	2650	75			
250	4479T	M 3BN 449 KHD	3GBN 943 940..+G	1191	95	0,84	292	234	750	1103	280	260	156	3000	78			
300	4479T	M 3BN 449 KHG	3GBN 943 970..+G	1190	95	0,85	346	277	730	1325	280	240	220	3500	78			
350	5856	M 3BN 586 SMB	3GBN 983 230..+G	1182	95	0,83	412	330	760	1541	270	250	230	3700	80			
400	5856	M 3BN 586 SMC	3GBN 983 230..+G	1182	95	0,84	465	372	770	1763	280	240	268	4000	80			
450	5867	M 3BN 587 MLB	3GBN 983 420..+G	1183	95	0,83	530	424	770	1983	280	260	322	4800	80			
500	5878	M 3BN 588 LKA	3GBN 983 810..+G	1184	95,4	0,83	588	470	770	2200	280	260	370	5500	80			
550	5878	M 3BN 588 LKB	3GBN 983 820..+G	1182	95,4	0,83	645	516	770	2420	280	260	392	5750	80			
50	4045T	M 3BN 405 SMB	3GBN 804 220..+G	886	91,7	0,8	63	51	690	296	300	190	36	1025	63			
60	4045T	M 3BN 405 SMC	3GBN 804 230..+G	886	91,7	0,8	75	61	710	356	310	200	40	1095	63			
75	4445T	M 3BN 445 SMC	3GBN 844 230..+G	891	93	0,82	92	74	750	442	300	160	59	1500	69			
100	4445T	M 3BN 445 SMD	3GBN 844 240..+G	890	93	0,83	121	97	750	591	160	290	72	1650	70			
125	4479T	M 3BN 449 KHA	3GBN 844 910..+G	890	93,6	0,83	150	120	730	738	300	160	98	2400	70			
150	4479T	M 3BN 449 KHC	3GBN 844 930..+G	891	93,6	0,83	180	144	750	885	310	170	128	2650	75			
200	4479T	M 3BN 449 KHD	3GBN 844 940..+G	890	94,1	0,82	242	194	770	1181	310	160	156	3000	78			
250	4479T	M 3BN 449 KHG	3GBN 844 970..+G	890	94,5	0,82	302	242	790	1476	310	150	220	3500	78			
300	5856	M 3BN 586 SMC	3GBN 984 230..+G	893	94,5	0,8	369	295	740	1766	280	130	268	4000	78			
350	5867	M 3BN 587 MLB	3GBN 984 420..+G	893	95	0,79	435	348	720	2057	270	130	322	4800	78			
400	5878	M 3BN 588 LKA	3GBN 984 810..+G	893	95	0,8	490	392	750	2353	280	140	370	5500	78			
450	5878	M 3BN 588 LKB	3GBN 984 820..+G	894	95	0,79	559	447	780	2648	300	150	392	5750	78			

## Capítulo 3: Motores asincrónicos trifásicos

### Motores para usos especiales

#### Caso financiero para motores EFF\_1

Este es un ejemplo de cómo se calcula de una manera rápida los ahorros financieros:

Ahorros Anuales=

$$= \text{hr} \times \text{kw} \times \%FL \times \$/\text{kW-h} \left( \frac{1}{\eta_{\text{std}}} - \frac{1}{\eta_{\text{HEM}}} \right)$$

Dónde:

Hrs: Horas de uso anuales.

kW: Potencia del motor en [kW].

%FL: Fracción de plena carga a la que gira el motor.

USD/kW-h: Costo de electricidad en USD/kW-h.

hStd: Eficiencia de motor estándar.

hHEM: Eficiencia de motor HEM.)

Si se está seguro de la eficiencia de un motor existente, entonces para los límites de eficiencia clase 2/3 es razonable estimar para un motor reparado.

Si el motor ha sido reparado, permite un 0,5% de pérdida para cada reparación.

Si está funcionando debajo de 100% de carga, entonces se deben utilizar las figuras de eficiencia para cargas parciales que los fabricantes incluyen en sus catálogos para 50 y 75%.

## Conexión del motor

### Conexiones típicas

Los esquemas de conexión a seguir **muestran la identificación de los terminales en la caja de conexión y las conexiones posibles** para el estator (fases) y rotor de los motores de inducción trifásicos.

Los números descriptos en cada esquema sirven para que el usuario pueda identificar el esquema de conexión correspondiente a su motor a través de una tarjeta fijada donde se detallan los números de los códigos correspondientes a los esquemas de conexión del estator, rotor y accesorios.

### -Esquemas de conexión para estatores y rotores (Norma IEC 60034-8)

Identificación general de bornes.

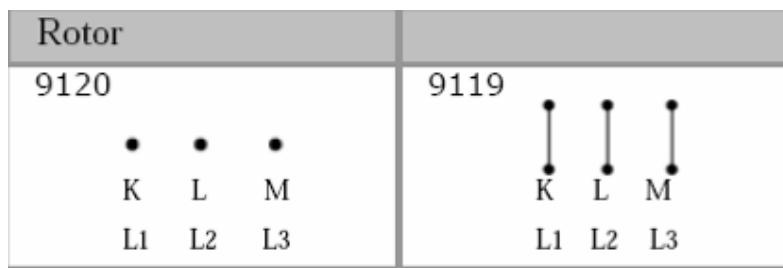
U, V, W = Estator.

K, L, M = Rotor.

### Esquemas de conexión del estator

3 Bornes	6 Bornes	6 Bornes - DAHLANDER					
9100 • • • U V W L1 L2 L3	9101 Δ W2 U2 V2 W2 U2 V2	9102 Δ 1U 1V 1W 2W 2V 2U L1 L2 L3	9103 YY 1U 1V 1W 2W 2V 2U L1 L2 L3	9104 Y 1U 1V 1W 2W 2V 2U L1 L2 L3	9105 Δ 1U 1V 1W 2W 2V 2U L1 L2 L3	9106 YY 1U 1V 1W 2W 2V 2U L1 L2 L3	
3 Bornes + Neutro							
9121 • • • • U V W N L1 L2 L3 N	U V W L1 L2 L3	U V W L1 L2 L3	Menor Velocidad	Mayor Velocidad	Menor Velocidad	Menor Velocidad	Mayor Velocidad
9 Bornes						12 Bornes	
9107 ΔΔ 	9108 Δ 	9109 YY U2 V2 W2 U3 V3 W3 U1 V1 W1 L1 L2 L3	9110 Y U2 V2 W2 U3 V3 W3 U1 V1 W1 L1 L2 L3	9111 ΔΔ 	9112 Δ 	9113 YY V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L1 L2 L3	9114 Y V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L1 L2 L3
12 Bornes – (part winding)							
9115 V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L2 L1 L3 Para arranque en Y	9116 V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L2 L1 L3 Para arranque en Δ	9117 V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L2 L1 L3 Y solo para arranque	9118 V4 W4 U4 V2 W2 U2 V3 W3 U3 V1 W1 U1 L2 L1 L3 Para velocidad nominal				

Esquemas de conexión del rotor (motor de anillos).



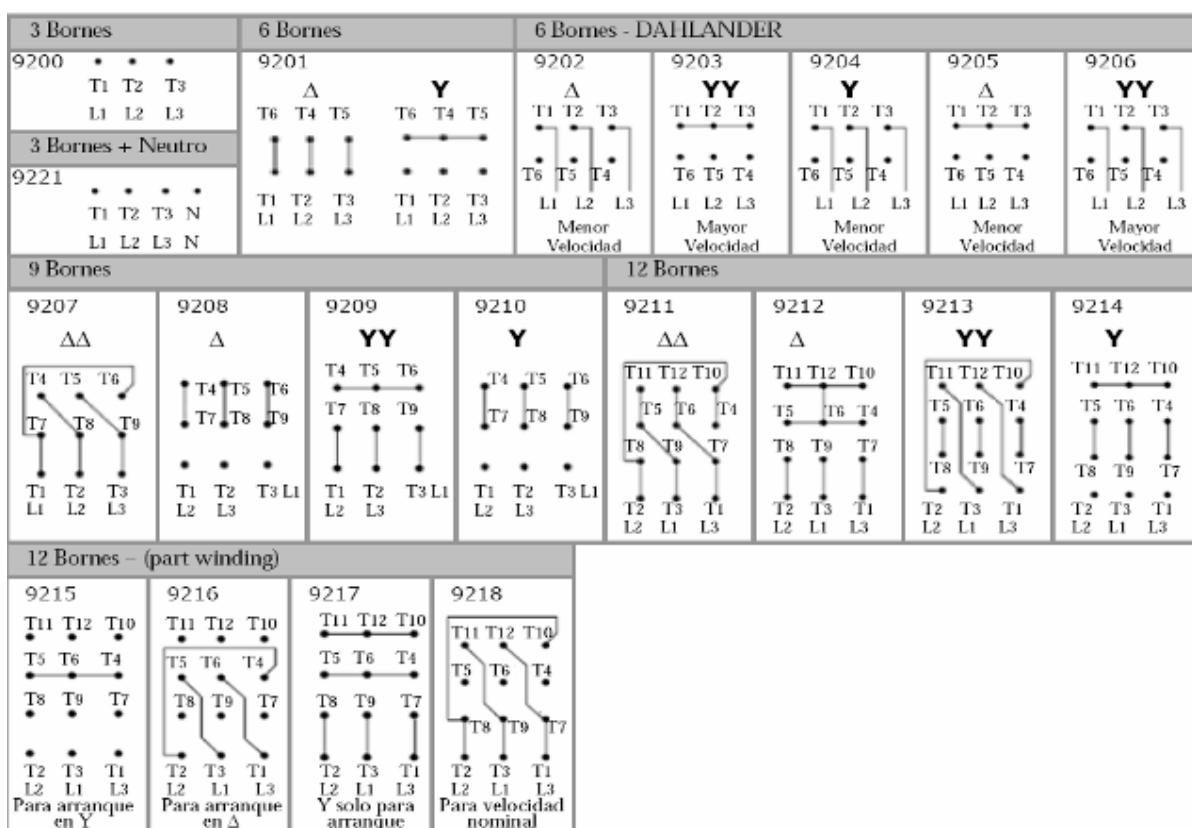
### -Esquemas de conexión para estatores y rotores (Norma NEMA MG1)

Identificación de bornes.

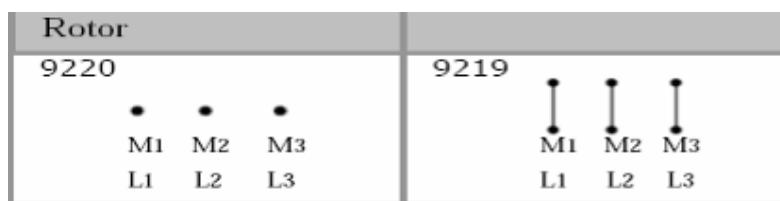
T1 a T12 = Estator.

M1, M2, M3 = Rotor.

Esquemas de conexión del estator.



Esquemas de conexión del rotor (motor de anillos).



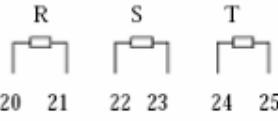
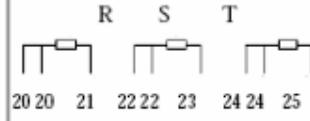
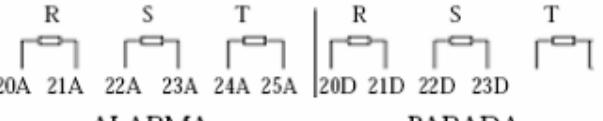
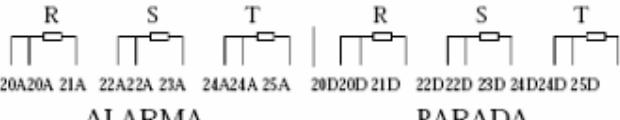
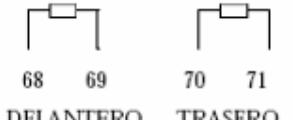
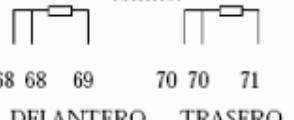
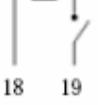
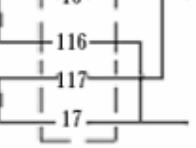
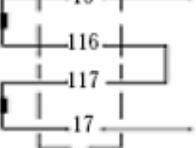
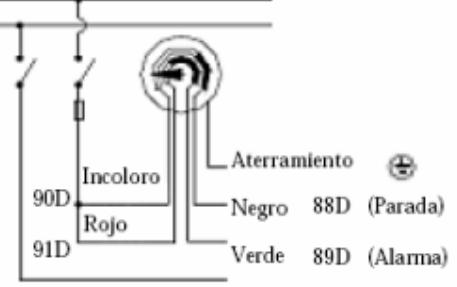
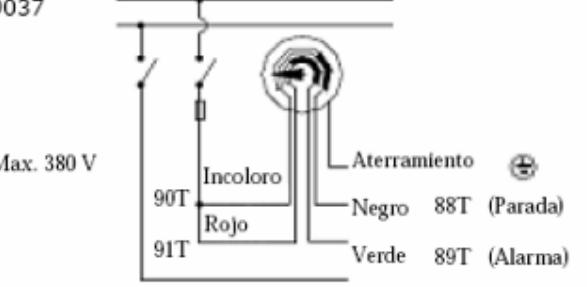
### - Esquemas de conexión para accesorios

Identificación general de los terminales de los accesorios:

16 a 29 = Resistencia de calentamiento.  
20 a 27 = Termo resistencia en el estator.  
36 a 43 = Termistores en el estator.  
52 a 59 = Termostatos en el estator.  
68 a 71 = Termo resistencias en los descansos

72 a 75 = Termistores en los descansos.  
76 a 79 = Termostatos en los descansos.  
80 a 82 = Dínamos taquimétricos.  
88 a 91 = Termómetros.  
92 a 93 = Frenos.  
94 a 99 = Transformadores

Termostatos		
9029 En el estator 1 por fase  52 53 54 55 56 57	9030 En el estator 1 por fase en serie  52 53	9031 En el estator 2 por fase  52A 53A 54A 55A 56A 57A 52D 53D 54D 55D 56D 57D ALARMA PARADA
9032 En el estator 2 por fase en serie  52A 53A 52D 53D	9036 En los descansos 1 por Descanso  76 77 78 79	DELANTERO TRASERO
Termistores		
9025 En el estator 1 por fase  36 37 38 39 40 41	9036 En el estator 1 por fase en serie  36 37	9027 En el estator 2 por fase  36A 37A 38A 39A 40A 41A 36D 37D 38D 39D 40D 41D ALARMA PARADA
9028 En el estator 2 por fase en serie  36A 37A	9035 En los descansos 1 por Descanso  72 73 74 75	DELANTERO TRASERO

Termosensores – PT100		
9021 En el estator 1 por fase 	9022 En el estator 1 por fase con 3 cables 	9023 En el estator 2 por fase  ALARMA PARADA
9024 En el estator 2 por fase con 3 cables 	9033 En los descansos 1 por Descanso  DELANTERO TRASERO	9034 En los descansos 1 por descanso con 3 cables  DELANTERO TRASERO
Resistencia de calentamiento (tensión única)		Resistencia de calentamiento (doble tensión)
9038 	9039 Con Termostato 	9410 Menor Tensión  Mayor Tensión 
Termómetro (descanso delantero)		Termómetro (descanso trasero)
9037 Max. 380 V 	9037 Max. 380 V 	

## Capítulo 4: Características de los motores asincrónicos

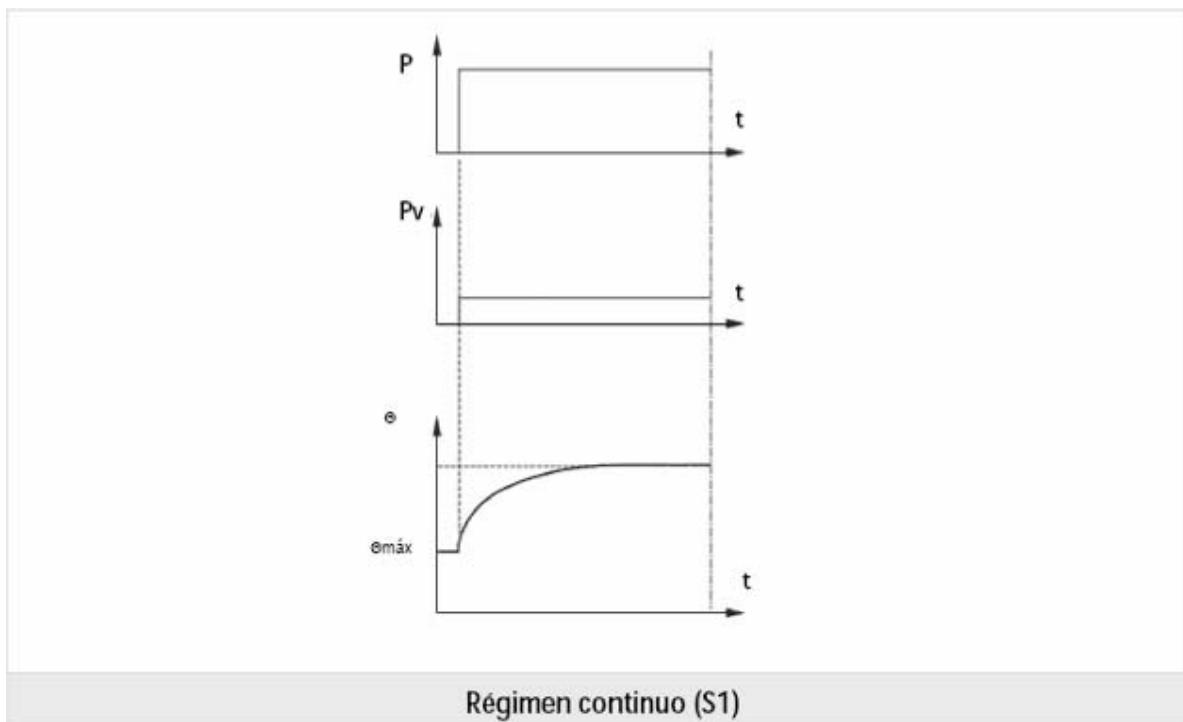
### Características de diseño

#### Régimen de servicio

##### - Régimen continuo (S1)

Este es un **servicio con carga constante**, por ejemplo, con carga nominal, cuya duración es lo suficientemente larga, que el equilibrio térmico es alcanzado.

Las componentes de la instalación deben estar dimensionadas de tal manera que puedan soportar esa corriente constante por un tiempo indefinido sin que sea necesaria una intervención extensa y que tampoco sea sobrepasada su temperatura límite admisible



$P$ : Carga.

$P_v$ : Pérdidas eléctricas.

$\theta$ : Temperatura.

$\theta_{\text{máx}}$ : Temperatura máxima alcanzada.

$t$ : Tiempo.

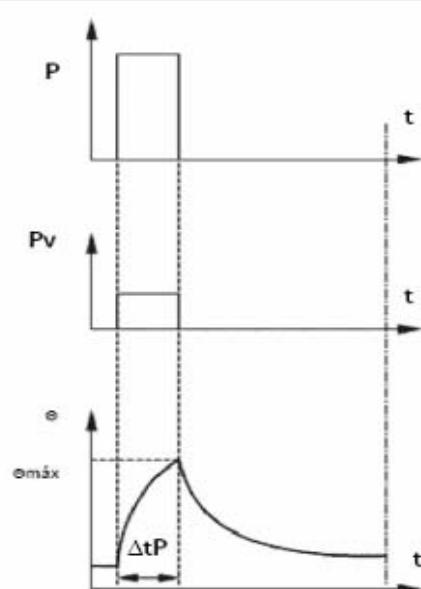
## Servicio de breve duración (S2)

Este servicio está caracterizado por **tiempos de carga relativamente cortos y pausas lo suficientemente largas**. De esta manera las componentes de la instalación pueden enfriarse a la temperatura ambiente.

Por tanto, cuando las instalaciones son sometidas a cargas de breve duración, iguales a la intensidad nominal de servicio  $I_c$ , de los componentes, no llegan a alcanzar su temperatura ambiente admisible y los aparatos pueden ser cargados, para un servicio de breve duración (S2), con una corriente  $I_{S2}$  mayor que la corriente nominal del aparato IN.

El tiempo de cargas admisible  $t_{S2}$  es el tiempo en el cual el aparato de maniobra, con la carga para el servicio de breve duración  $I_{S2}$ , alcanza su temperatura límite.

El tiempo de carga admisible  $t_{S2}$  es más corto mientras más alta sea la corriente de servicio de breve duración  $I_{S2}$ . Este tiempo se acorta también cuando la temperatura ambiente es más alta. En la siguiente figura se observan curvas de validez general para el calentamiento de aparatos de maniobra durante el servicio de breve duración.



Régimen de breve duración (S2)

P: Carga.

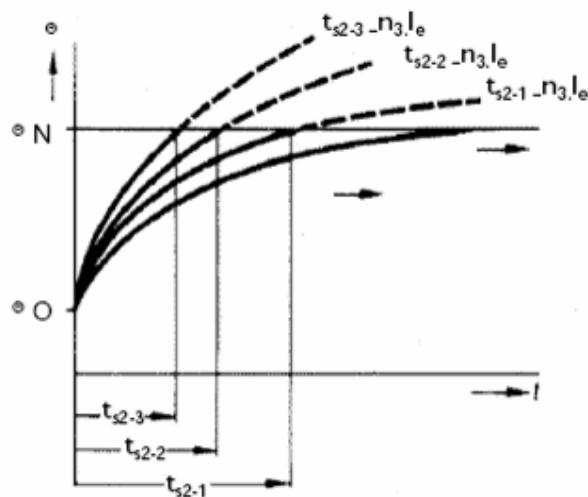
Pv: Pérdidas eléctricas.

$\theta$ : Temperatura.

$\theta_{\text{máx}}$ : Temperatura máxima alcanzada.

t: Tiempo.

DtP: Tiempo de operación a carga constante



**Curvas características de calentamiento de aparatos de maniobra**

I<sub>e</sub>: Corriente nominal de servicio.

I<sub>s2</sub>: Corriente de servicio de breve duración.

n: Factor.

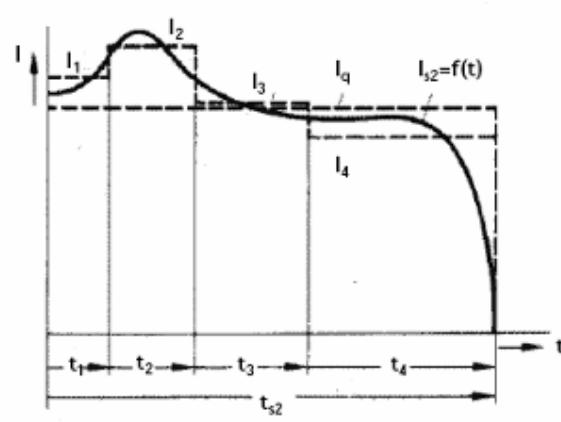
T<sub>s2</sub> : Tiempo de servicio admisible con T<sub>s2</sub> como carga.

Q N: Temperatura límite admisible.

Q O: Temperatura ambiente.

Si la intensidad de corriente durante el tiempo de carga I<sub>s2</sub> no es el mismo valor constante que durante el tiempo de carga T<sub>s2</sub>, entonces tiene los mismos efectos térmicos que la corriente variable. El valor de la corriente de sustitución se determina mediante el cálculo de la media cuadrática de la corriente durante el tiempo de carga.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de una corriente irregular durante el servicio de breve duración.



**Servicio de breve duración con carga irregular durante el tiempo de carga**

La intensidad de la corriente de servicio de breve duración se sustituye por una corriente escalonada con los valores de  $I_1$  a  $I_4$  y sus correspondientes tiempos de carga  $t_1$  a  $t_4$ . La media cuadrática de la corriente  $I_q$  es determinante para el calentamiento de las componentes de la instalación durante el servicio de breve duración.

El cálculo numérico de la corriente de sustitución se efectúa con la relación:

$$I_q = \sqrt{\frac{I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + \dots + I_n^2 \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

### Servicio intermitente (S3)

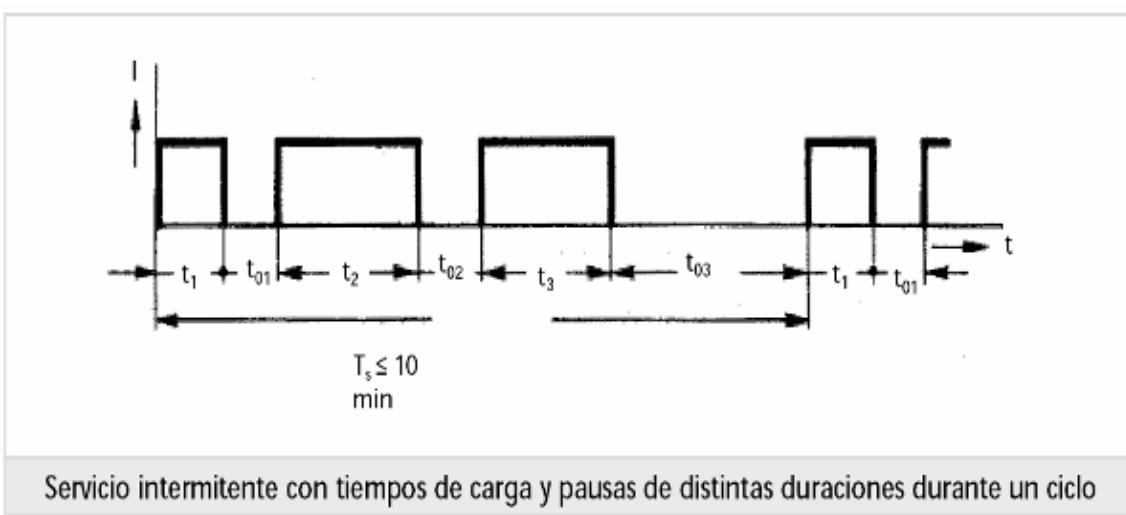
Durante un servicio intermitente (S3), los **aparatos de maniobra se conectan y desconectan periódicamente**; los tiempos de carga y las pausa son tan cortos, que los aparatos y demás componentes de la instalación no logran alcanzar su equilibrio térmico, ni durante los tiempos de carga (calentamiento) ni durante las pausas (enfriamiento).

El servicio intermitente está caracterizado por la duración del tiempo de carga  $t_{S3}$  y del ciclo  $t_c$ , es decir, por el factor de marcha ED% (tiempo relativo de conexión).

$$ED\% = \frac{t_{S3}}{t_c}$$

La duración del ciclo  $t_c$  es igual a la suma del tiempo de carga  $t_{S3}$  y de pausa  $t_p$ , o sea  $t_c = t_{S3} + t_p$ .

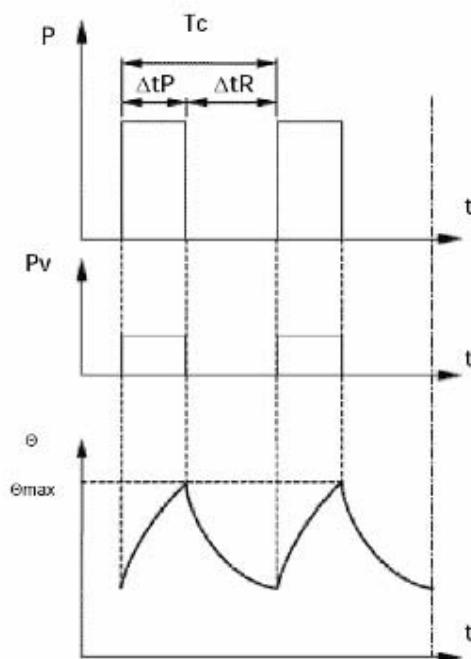
Tal como se muestra en la siguiente figura, en la práctica, se dan frecuentemente servicios intermitentes cuyos tiempos de carga y pausa varían pero la serie de tiempos y pausas se repite cíclicamente.



El factor de marcha ED% (tiempo relativo de conexión) se calcula en este caso para el ciclo completo con la ecuación:

$$\frac{ED\% = t_{S3} \times}{100\% t_c + t_p}$$

Según VDE 0530, el ciclo para motores de servicio intermitente tiene una duración de 10 minutos, si no se establece algo diferente. En la práctica, la duración de este ciclo se toma como valor máximo para los servicios intermitentes con motores.



Servicio intermitente (S3)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ: Temperatura.

Θ max : Temperatura máxima alcanzada.

T: Tiempo.

T<sub>c</sub>: Tiempo de un ciclo de carga.

Δt<sub>P</sub>: Tiempo de operación a carga constante.

Δt<sub>R</sub>: Tiempo de-energizado y en reposo.

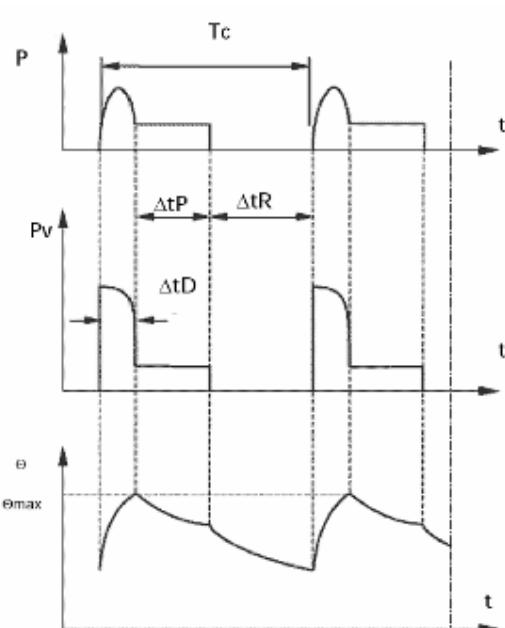
Δt<sub>P</sub>/T<sub>c</sub>: Factor de duración de ciclo.

## Servicio intermitente (S4)

Una secuencia de **ciclos de utilización idénticos**, cada uno incluye:

- Un tiempo de arranque.
- Un tiempo de operación a carga constante.
- Un tiempo desenergizado y en reposo.

El momento de inercia del motor ( $J_M$ ) y el momento de inercia de la carga ( $J_{ext}$ ) refieren al eje del motor.



Servicio intermitente (S4)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ: Temperatura.

Θmax : Temperatura máxima alcanzada.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

ΔtP: Tiempo de operación a carga constante.

ΔtR: Tiempo de desenergizado y en reposo.

ΔtD: Tiempo de aceleración/deceleración.

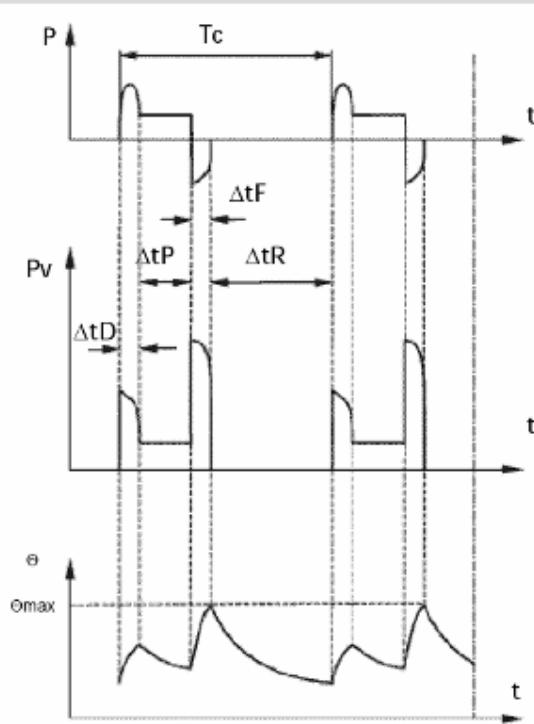
(Δ t<sub>d</sub> + Δ t<sub>P</sub>) / T<sub>C</sub> : Factor de duración de ciclo.

### - Servicio intermitente (S5)

Una secuencia de **ciclos de utilización idénticos**, cada uno consiste en:

- Un tiempo de arranque.
- Un tiempo de operación a carga constante.
- Un tiempo de frenado eléctrico.
- Un tiempo desenergizado y en descanso.

La abreviatura apropiada es S5, seguido por el factor de duración cíclica, el momento de inercia el motor (JM) y el momento de inercia de la carga (Jext), ambas refirieron al eje del motor.



Servicio intermitente (S5)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ : Temperatura.

Θmax : Temperatura máxima alcanzada.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

ΔtP: Tiempo de operación a carga constante.

ΔtR: Tiempo de-energizado y en reposo.

ΔtD: Tiempo de aceleración/deceleración.

ΔtF: Tiempo de frenado eléctrico.

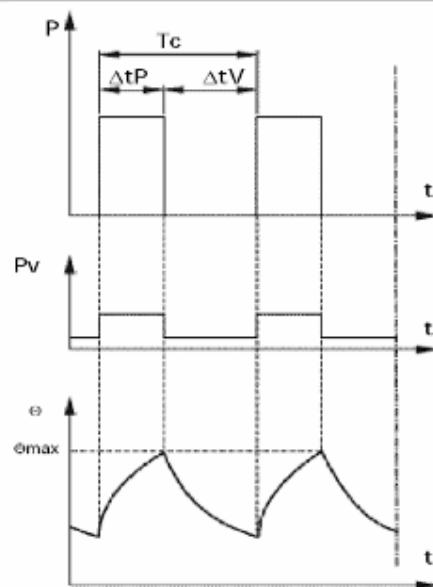
$\Delta t_D + \Delta t_p + \Delta t_F) / T_c$  : Factor de duración de ciclo.

### - Servicio intermitente (S6)

Una secuencia de **ciclos de funcionamiento idénticos**, cada ciclo consiste en:

- Un tiempo de operación a carga constante.
  - Un tiempo de operación en vacío.
- No hay tiempo desenergizado y en descanso.

La abreviatura apropiada es S6, seguido por el factor de duración cíclica



Servicio intermitente (S6)

P: Carga.

P<sub>v</sub>: Pérdidas eléctricas.

Θ : Temperatura.

Θ<sub>max</sub> : Temperatura máxima alcanzada.

T: Tiempo.

T<sub>c</sub>: Tiempo de un ciclo de carga.

Δt<sub>P</sub>: Tiempo de operación a carga constante.

Δt<sub>V</sub>: Tiempo de marcha en vacío.

Δt<sub>P</sub>/T<sub>c</sub>: Factor de duración de ciclo.

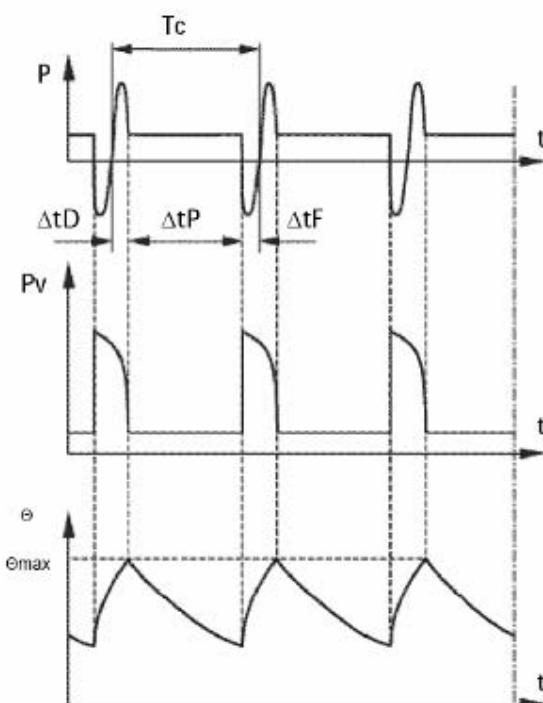
### - Servicio intermitente (S7)

Una secuencia de **ciclos de funcionamiento idénticos**, cada ciclo consiste en:

- Un tiempo de arranque.
- Un tiempo de utilización a carga constante.
- Un tiempo de frenado eléctrico.

No hay tiempo desenergizado y en descanso.

La abreviatura apropiada es S7, seguido por el momento de inercia del motor ( $J_M$ ) y el momento de inercia de la carga ( $J_{ext}$ ), ambas refirieron al eje del motor.



Servicio intermitente (S7)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

$\Theta$  : Temperatura.

$\Theta_{max}$  : Temperatura máxima alcanzada.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

$\Delta t_P$ : Tiempo de operación a carga constante.

$\Delta t_F$ : Tiempo de frenado eléctrico.

$\Delta t_D$ : Tiempo de arranque/aceleración.

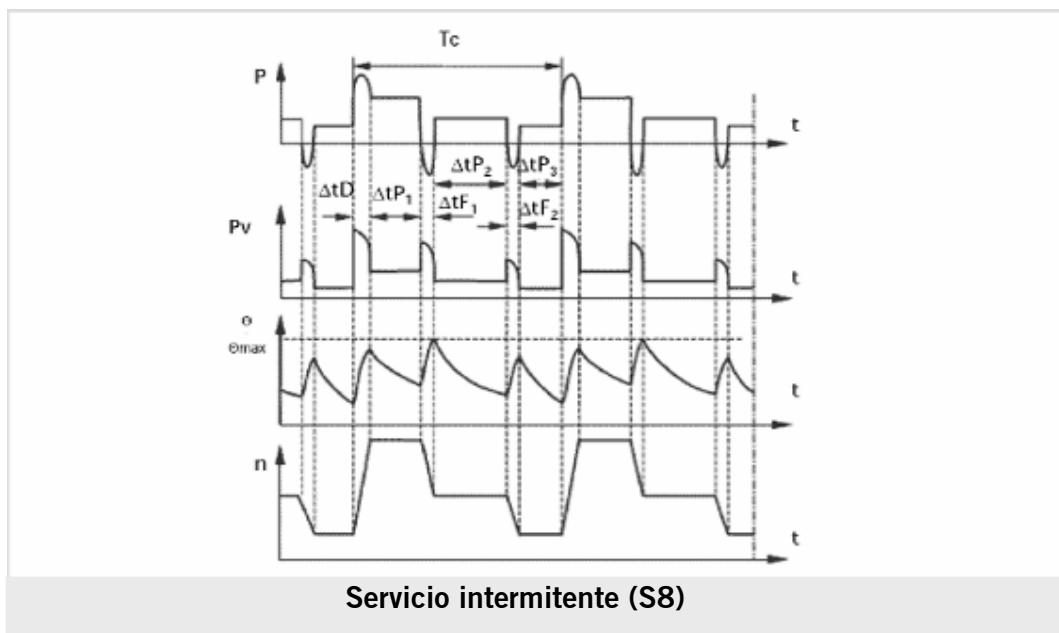
$\Delta t_P/T_c$ : Factor de duración de ciclo.

### - Servicio intermitente (S8)

Una secuencia de **ciclos de funcionamiento idénticos**, cada uno consiste en:

- Un tiempo de utilización a carga constante a una determinada velocidad de rotación.
- Seguido por uno o más tiempos de operación a otras cargas constante correspondiendo a diferentes velocidades de rotación tiempo de la operación en la carga constante que corresponde a una velocidad predeterminada de la rotación.
- Seguida por una o más veces de la operación en otras cargas constantes que corresponden a diversas velocidades de la rotación (realizada, por ejemplo, por medio de un cambio en el número de polos en el caso de los motores de inducción).

No hay tiempo desenergizada y en descanso. La abreviatura apropiada es S8, seguido por el momento de inercia.



P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ: Temperatura.

Θmax : Temperatura máxima alcanzada.

n: Velocidad.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

ΔtP: Tiempo de operación a carga constante ( $P_1, P_2, P_3$ ).

ΔtF: Tiempo de frenado eléctrico ( $F_1, F_2$ ).

ΔtD: Tiempo de arranque/acceleración.

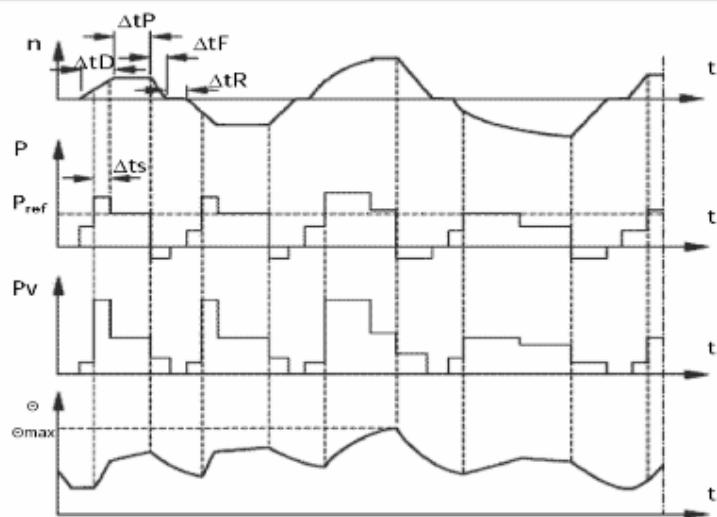
$(\Delta tD + \Delta tP_1)/ Tc; (\Delta tF_1 + \Delta tP_2)/ Tc; \Delta tF_2 + \Delta tP_3)/ Tc$ .

## Servicio intermitente (S9)

Un ciclo en el cual generalmente **la carga y la velocidad varían no-periódicamente dentro del rango de operación permitido**. Este ciclo incluye las sobrecargas aplicadas con frecuencia que pueden exceder grandemente la carga de la referencia.

La abreviatura apropiada es S9.

Para este tipo del ciclo, el tipo de servicio apropiadamente seleccionado y basado S1 de una carga constante se toma como el valor de referencia (“Pref” en el cuadro) para el concepto de la sobrecarga.



Servicio intermitente (S9)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ: Temperatura.

Θmax : Temperatura máxima alcanzada.

n: Velocidad.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

ΔtP: Tiempo de operación a carga constante.

ΔtF: Tiempo de frenado eléctrico.

ΔtD: Tiempo de arranque/aceleración.

ΔtR: Tiempo des energizado y en reposo.

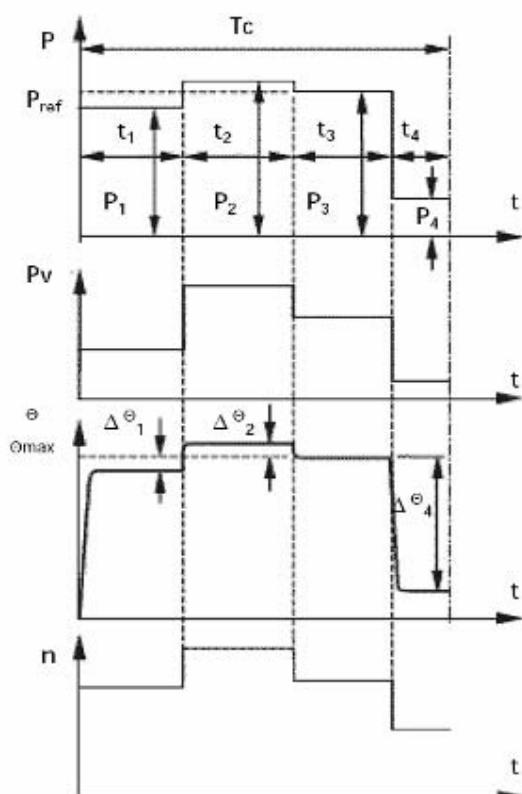
ΔtS: Tiempo de sobrecarga.

### Servicio intermitente (S10)

Un ciclo que consiste en un **número específico de valores discretos de la carga** (o carga equivalente) y si fuera aplicable, cada carga/combinación de la velocidad que es mantenida por suficiente tiempo para permitir que la máquina alcance el equilibrio térmico. La carga mínima dentro de un ciclo puede tener el valor 0 (sin carga o des energizado y en reposo).

La abreviatura apropiada es S10, seguido por las cantidades de unidad  $p/\Delta t$  para la carga respectiva y su duración y por unidad TL (vida térmica esperada) para la esperanza de vida termal relativa del sistema del aislamiento.

El valor de referencia para la esperanza de vida termal es la clasificación para el ciclo de funcionamiento continuo y los límites permitidos del tipo de servicio basado S1 del aumento de temperatura. Por una tiempo desenergizada y en descanso, la carga será indicada por la letra "r".



Servicio intermitente (S10)

P: Carga.

Pv: Pérdidas eléctricas.

Θ: Temperatura.

Θmax : Temperatura máxima alcanzada.

n: Velocidad.

T: Tiempo.

Tc: Tiempo de un ciclo de carga.

ΔΘ : Diferencia entre temperatura de bobinado y la temperatura alcanzada en servicio S1.



## EJEMPLO

$$S10 \rho/\Delta t = 1.1/0.4; 1/0.3; 0.9/0.2; r/0.1 \quad TL = 0.6$$

El valor del TL (vida térmica esperada) se debe completar al múltiplo más cercano de 0.05.

Para este tipo de ciclo el tipo de servicio apropiadamente seleccionado y basado S1 de una carga constante será tomado como el valor de referencia ('Pref' en el cuadro) para las cargas discretas.

## Abreviaturas de las formas constructivas

Abreviaturas de las formas constructivas		
IEC Código I	IEC Código II	DIN
IM B3	IM 1001	B3
IM B6	IM 1051	B6
IM B7	IM 1061	B7
IM B8	IM 1071	B8
IM V5	IM 1011	V5
IM V6	IM 1031	V6
IM B5	IM 3001	B5
IM V1	IM 3011	V1
IM V3	IM 3031	V3
IM B14	IM 3601	B14
IM V18	IM 3611	V18
IM V19	IM 3631	V19
IM B35	IM 2001	B3 / B5
IM B34	IM 2101	B3 / B14
IM B9	IM 9101	B9
IM V8	IM 9111	V8
IM V9	IM 9131	V9
IM B10	IM 4001	B10
IM V10	IM 4011	V10
IM V14	IM 4031	V14

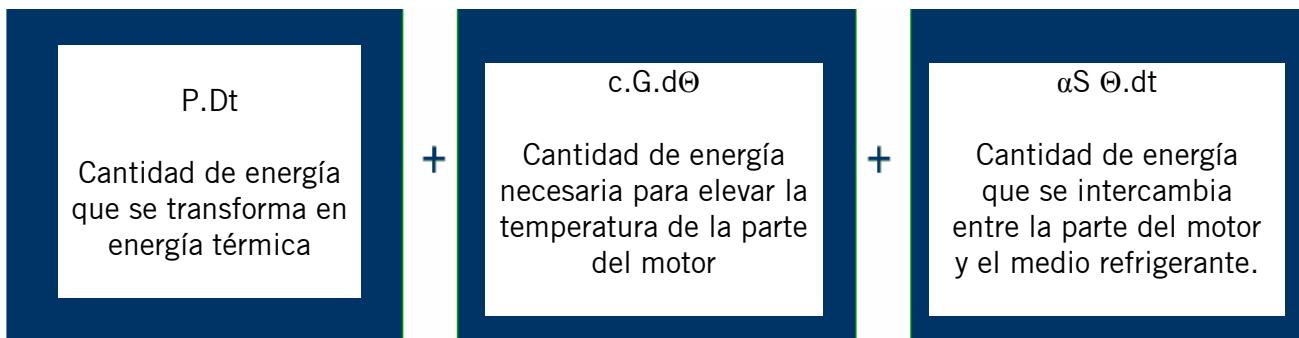
## Factores a considerar

### Calentamiento

Un motor eléctrico es un sistema complejo desde el punto de vista térmico, pues sus distintas partes experimentan un calentamiento producido por la energía térmica y mecánica que se desarrolla en esa parte en sí, y a su vez están influidas por la energía térmica desarrollada en las otras partes del motor.

El conjunto, en caso de funcionamiento a régimen continuo, alcanza un estado térmico estacionario, es decir, las distintas partes del motor llegan a temperaturas diferentes pero constantes en el tiempo.

A su vez, del balance energético de la energía térmica resulta:



Si se considera a la máquina como un cuerpo homogéneo, los símbolos tienen el siguiente significado:

P: Cantidad de calor producida por segundo en la máquina en W.

C: Calor específico promedio de la máquina, que expresa la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de la unidad de peso de la máquina, en un grado Celsius, En

$$\text{W/KG X } ^\circ\text{C}$$

G: Peso de la máquina en kilogramos

$\alpha$ : Coeficiente de la transmisión de calor cedida al medio refrigerante por metro cuadrado de superficie y por segundo cuando la diferencia de temperatura entre la máquina y el medio es de  $1^\circ\text{C}$ , en

$$\text{W/ m}^2 \times {}^\circ\text{C}$$

S: Superficie refrigerada de la máquina en m<sup>2</sup>.

$\Theta$ : Calentamiento de la máquina en  ${}^\circ\text{C}$ .

t tiempo, en segundos.

Al alcanzarse el equilibrio térmico la diferencia de temperatura se mantienen constante (servicio continuo) o varía periódicamente entre temperaturas constantes (servicio intermitente). En el primer caso, servicio continuo, el primer término de la suma, se anula y toda la energía térmica se intercambia con el ambiente, pues se alcanza una diferencia de temperatura con respecto al medio refrigerante constante en el tiempo  $d\Theta = 0$ .

$$P \cdot Dt = \alpha \cdot S \cdot \Theta_{max} \cdot dt$$

$$\Theta_{max} \cdot dt = p / \alpha \cdot S$$

Donde:

$\Theta_{max}$ : Calentamiento máximo de la máquina y los demás términos los indicados anteriormente.

Dicha diferencia de temperatura  $\Theta_{max}$ , es directamente proporcional a las pérdidas, e inversamente proporcional a la capacidad de intercambio con el medio refrigerante.

A su vez, la energía térmica es función fundamentalmente de las pérdidas en el hierro y en el cobre y del intervalo de tiempo.

Las pérdidas en el hierro dependen de la tensión aplicada a las pérdidas en el cobre de la corriente circundante por los arrollamientos, por lo tanto, las pérdidas son función del estado de la carga del motor.

El intervalo de tiempo de funcionamiento depende del tipo de servicio del motor. Por otra parte, la capacidad de intercambio de calor con el medio refrigerante depende de las características constructivas del motor y del sistema de ventilación.

El calentamiento de un motor depende del tipo de servicio, del estado de carga, de las características constructivas y del sistema de ventilación

## Prueba de motores

### Verificación de las dimensiones mecánicas

Tipo de fijación	Descripción	Esquema
Para motores con base de fijación (NEMA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altura de eje D.</li> <li>Distancia entre los ejes de los agujeros de montaje 2E y 2F.</li> <li>Distancia del centro de los agujeros de montaje al relieve de salida del eje V+BA.</li> <li>Diámetro de los agujeros de montaje: H.</li> <li>Longitud de la extensión del eje: V.</li> <li>Diámetro de la extensión del eje: <math>\phi</math> U.</li> <li>Diámetro del eje menos el chavetero R.</li> <li>Ancho de la chaveta S.</li> </ul>	
Para motores con brida de fijación (IEC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diámetro de la brida: P.</li> <li>Distancia de la superficie de montaje de la brida al relieve de salida del eje: R.</li> <li>Diámetro del asiento de la brida: N.</li> <li>Diámetro de los agujeros de fijación: S.</li> <li>Diámetro de la circunferencia de pernos de fijación: M.</li> <li>Cantidad de agujeros de montaje.</li> </ul>	

Tipo de fijación	Descripción	Esquema
Para motores con brida de fijación (NEMA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro de la brida: BD.</li> <li>• Distancia de la superficie de montaje de la brida al relieve de salida del eje: V.</li> <li>• Diámetro del asiento de la brida: N.</li> <li>• Diámetro de los agujeros de fijación: <math>\phi</math> BF.</li> <li>• Diámetro de la circunferencia de pernos de fijación: AJ.</li> <li>• Cantidad de agujeros de montaje.</li> </ul>	<p>The top diagram shows a side view of a motor with a flange. Labels include CX, BV, BB, AK, BD, BE, V, P, AB, AJ, and C. The bottom left diagram is a cross-section of a bearing housing with a diameter R and a shoulder S. The bottom right diagram is another cross-section of a bearing housing with a diameter DB and a shoulder EG.</p>

### Ensayo de calentamiento (realización)

El ensayo de calentamiento se lleva a cabo mediante las siguientes etapas:

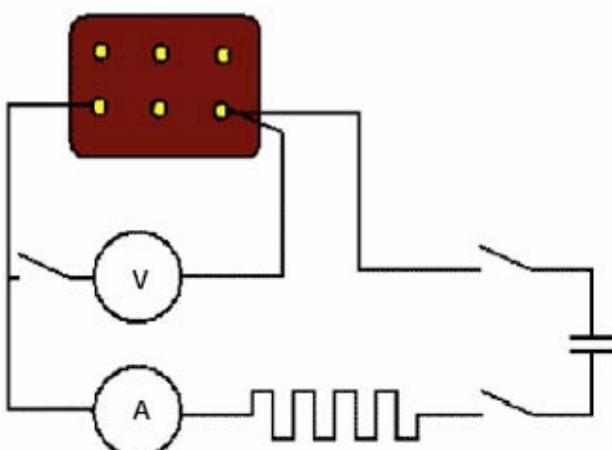
- Etapa 1** Se mide la temperatura ambiente por medio de termómetros ubicados alrededor del motor y distanciados a un metro aproximadamente.
- Etapa 2** Asegurándose que el motor se encuentra a la temperatura ambiente, se mide la resistencia de los arrollamientos en frío.
- Etapa 3** Se disponen los termómetros o termocuplas para medir la temperatura de las partes fijas.
- Etapa 4** Se hace funcionar el motor a tensión y frecuencia nominales
- Etapa 5** Se desconecta el motor y se mide la resistencia de los arrollamientos y la temperatura de los demás puntos controlados

## Etapa 1

Es importante es esta etapa protegerse de corrientes de aire u otros disturbios. Si la ventilación del motor procede de otro ambiente, se mide la temperatura de entrada al sistema de refrigeración. Esta medición se repite durante toda la prueba.

## Etapa 2

La medición hacerse con un puente adecuado al valor de resistencia de los arrollamientos, que es el método recomendado por su comodidad y precisión o con voltímetro y amperímetro



Es necesario tomar el tiempo de estabilización del instrumento que se empleará luego en la medición en caliente. El método de medición debe elegirse de modo que dicho tiempo de estabilización sea suficientemente breve como para que pueda considerarse despreciable la variación de temperatura al realizarse la medición en caliente

Es posible elegir dos formas para la medición con puente:

- Medir con puente de Wheatstone si la resistencia es mayor de  $1\Omega$ .
- Medir con puente doble de Thompson si es menor de  $1\Omega$ .

Si se emplea un puente de dos terminales de salida, se debe valorar la resistencia de los cables de conexión con respecto a la resistencia a medir y, de ser apreciable la relación, medir también la resistencia de dichos cables y restarla del total.

Para la medición con voltímetro y amperímetro el circuito a utilizarse y los instrumentos necesarios son:

- Voltímetro y amperímetro preferentemente clase 0.2 (pueden ser clase 0.5).
- Electromagnético o de bobina móvil, en este último caso se debe tener en cuenta que la lectura debe estar en el cuarto final de la escala.

Para el motor del ejemplo puede hacerse la lectura con aproximadamente 2,5 A y la escala adoptada para ambos instrumentos sería 0-3 (entre el 10% y el 20% de  $I_n$ ).

La batería a emplearse debe tener capacidad suficiente para mantener invariable su tensión durante la medición. Por ejemplo: 12 V -40 A·hora.

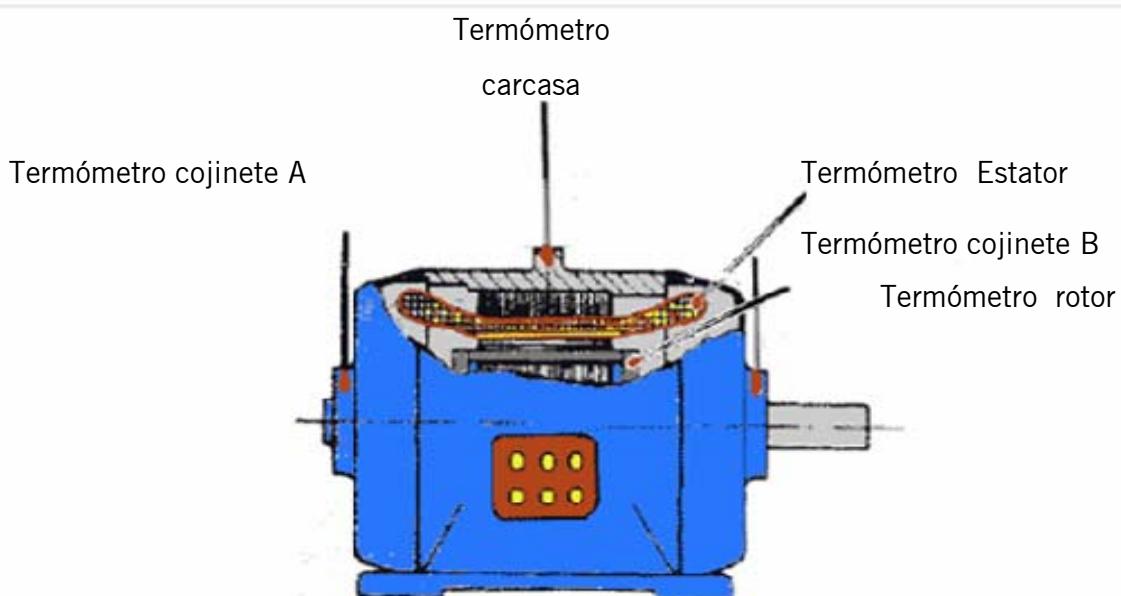
El resultado se corrige teniendo en cuenta el consumo del voltímetro con la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia de arrollamiento } (\Omega) = \text{Tensión medida(V)}$$

$$\frac{\text{Corriente medida(A)} - \text{Tensión medida(V)}}{\text{Resistencia del voltímetro}(\Omega)}$$

### Etapa 3

Los termómetros o termocuplas se sujetan con masilla térmicamente conductora, de modo de asegurar un buen contacto y evitar la radiación de calor en esos puntos.



Medición de temperatura

## Etapa 4

Se carga el motor directamente mediante un freno dinamométrico o de un generador continuamente en ensayo hasta:

**En los motores  
de servicio  
continuo**

Comprobar que se ha logrado el equilibrio térmico con el medio ambiente, que se alcanza cuando se estabiliza la diferencia entre la temperatura de la carcasa y la temperatura ambiente. Puede acortarse el ensayo sobrecargando el motor para la verificación final de la estabilización térmica debe efectuarse en las condiciones normales.

**En los motores  
de servicio de  
corta duración**

Comprobar una duración del ensayo que sea la especificada para ese servicio

**En los motores  
de servicio  
intermitente**

Comprobar que se ha logrado el equilibrio térmico con el medio ambiente, que se alcanza cuando no varía la sobre temperatura de la carcasa con relación al ambiente, medida al final del período de mayor carga en cada ciclo.

## Etapa 5

Logradas las condiciones indicadas en la etapa 4, se desconecta el motor y se mide rápidamente la resistencia de los arrollamientos y la temperatura de los demás puntos controlados. Estas determinaciones se repiten hasta que se comprueba que la temperatura descende.

Si la medición de resistencia se demora más de 30 segundos para motores de hasta 50 kW o de 90 segundos para motores mayores, desde el momento que se desconecta el motor, se debe realizar varias mediciones para extrapolar después al momento de la desconexión como se indica en la figura siguiente.

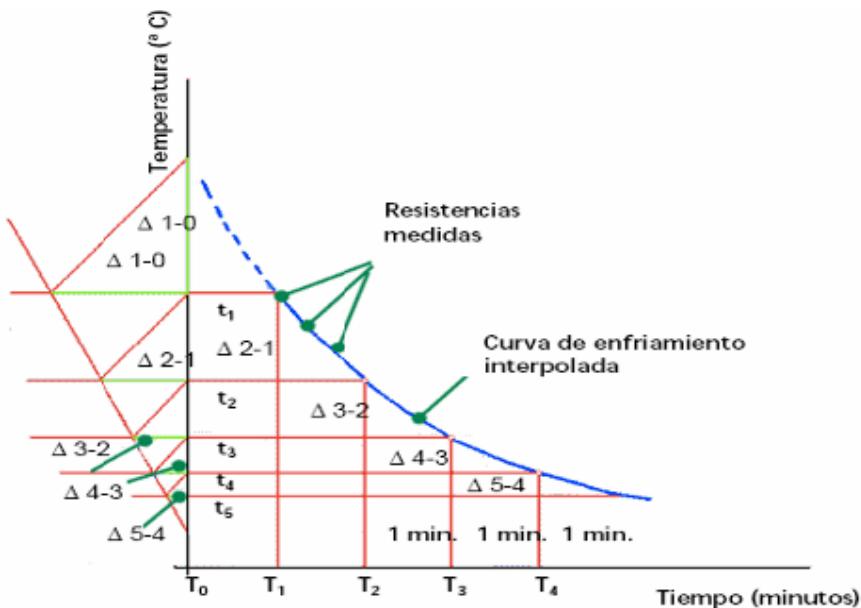


Gráfico de mediciones de temperatura

## EJEMPLO



Realización de un ensayo de calentamiento.

Los instrumentos que se indican a continuación están especificados (en lo que a escalas se refiere) para el siguiente motor: 11 kW(15 HP)- 380V 1450 RPM -50 Hz Aislación E  $\cos \phi = 0.86$ :

- Freno hidrodinámico; 1500 RPM.
- Transformadores de corriente clase 0.2 25/5 A.
- W1 y W2 vatímetros clase 0.5 0-600V 150 divisiones.
- A1, A2 y A3: Amperímetro Clase 0.5 0-5<sup>a</sup>.
- Frecuencímetro clase 0.5 45-55 Hz.
- v: Tacómetro.
- t: termómetros 10-100° C.

Este instrumental se eligió de la siguiente manera:

- El freno debe ser de la velocidad del motor y de la potencia adecuada.
- El conjunto de los instrumentos, clase 0,5 como mínimo.
- Para la corriente de este motor (22 A) se emplearon transformadores de medición.
- Se utilizaron tres amperímetros para verificar la similitud de las corrientes tomadas por las fases.
- Se midió sólo una tensión de línea, pero si no existe certeza de que la terna de tensiones de la red de alimentación es simétrica, deben medirse las tres..

Tension [V]	FRE C [Hz]	Veloc [RPM]	Intensidad de Corriente c-S A/div			Potencia =100 w/div W1 +W2	Temp amb [°C]	Temp Garc [°C]	Temp armil [°C]	Temp rotor [°C]	Temp cojin [°C]	Freno [kg]
			Fase U div	Fase V div	Fase W div							
380	50	1465	4.4 2	22.1	4.38	21.9	4.3 6	21.8	36+ 81	1170 0	19	19
380	50										19	19
380	50										30	0.716
380	50										35	0.716
380	50										37	0.716
380	50										38	0.716
380	50										38.	0.716
380	50										5	10.22
380	50										39	0.716
380	50										40	0.716
380	50										40	0.716
380	50										5	10.22
380	50										40	0.716
380	50										40	0.716
380	50										40	0.716
380	50										42	0.716
380	50	1452	4.4 6	22.3	4.4	22	4.4 6	22.3	38+ 82	1200 0	63	63

Resolución:

	Fase U	Fase V	Fase W	
<b>Resistencia del arrollamiento estatórico en frío (<math>\Omega</math>)</b>	0.897	0.897	0.897	Temp Amb: 24°C
<b>Resistencia del arrollamiento estatórico en caliente (<math>\Omega</math>)</b>	1.1	1.1	1.1	Temp Amb: 18.2°C

$$\Theta = \frac{R_C - R_F \times (235 - t_C) + t_f - t}{R_f}$$

Donde:

$R_C$ : Resistencia medida al finalizar el ensayo.

$R_F$ : Resistencia medida a la temperatura

$t_f$ : Temperatura ambiente en la medición inicial (en frío).

235: el coeficiente para cobre (si el arrollamiento fuera de aluminio 225).



### EJEMPLO

Para el ejemplo presentado, esta fórmula son:

$$\Theta = \frac{1.1 - 0.897 \times (235 + 24) + 24 - 18.2}{0.897} = 64.4^\circ$$

Se calcula entonces el calentamiento de las partes cuya temperatura se ha medido por temperatura o termocupla, restando a la temperatura alcanzada la temperatura ambiente al final del ensayo.

Si al desconectar el motor se comprueba que la temperatura aumenta, se considera ese valor mayor en el cálculo de calentamiento.



## EJEMPLO

Siguiendo con el ejemplo:

	<i>Temperatura máxima alcanzada en el ensayo ° C</i>	<i>Temperatura ambiente al finalizar el ensayo ° C</i>	<i>Calentamiento obtenido [° C]</i>	<i>Calentamiento admisible según Tabla I para aislación E [° C]</i>
<i>Arrollamiento estatórico (valores medios medidos por resistencias)</i>		<b>18.2</b>	<b>64.4</b>	<b>75</b>
<i>Valor puntual (medido por termómetro)</i>	<b>61</b>	<b>18.2</b>	<b>42.8</b>	<b>65</b>
<i>Rotor</i>	<b>63</b>	<b>18.2</b>	<b>44.8</b>	-
<i>Cojinetes (de rodamiento)</i>				
<i>A</i>	<b>41</b>	<b>18.2</b>	<b>22.8</b>	<b>60</b>
<i>B</i>	<b>42</b>	<b>18.2</b>	<b>23.8</b>	<b>60</b>

En conclusión, el motor cumplimenta el ensayo si los calentamientos no superan los valores indicados en la tabla.

Los métodos de corrección para otras condiciones de temperatura ambiente o altitud, pueden obtenerse en la recomendación IEC 34-1 citada.

## Determinación de las características de funcionamiento

### Ensayo en vacío

El ensayo en vacío se realiza a través de las siguientes etapas:

#### Etapa 1

Se conecta el motor con su eje libre a una fuente de tensión y frecuencia nominales y de secuencia conocida. Si se trata de un motor de rotor bobinado, se cortocircuitan los anillos rotóricos.

#### Etapa 2

Cuando se alcanza la velocidad de régimen, y se verifica que el sentido de giro sea el correcto, se miden las intensidades de corriente en las tres fases, la potencia consumida y la velocidad de rotación

#### Etapa 3

Por medio de un estetoscopio o destornillador se escuchan los cojinetes a fin de detectar si aparecen ruidos anormales

Para conocer las distintas pérdidas, se realiza este ensayo mediante una reducción del tensión de alimentación desde el 125% de la tensión nominal. Se debe comprobar que la intensidad de corriente de línea comienza a aumentar y disminuye la tensión.

Todos los parámetros se miden según la siguiente de valores:

Tensión	Freq	Vel	Intensidad de Corriente C= 2 A/div						Potencia C=20*2=40 A/div				Pot Tot				
			%	V	Hz	RPM	div	A	div	A	div	A	div	W1	div	W2	Wat
			Fase U		Fase V		Fase W		I Prom								
125	460	50	30000	5.86	11.72	5.8	11.6	5.82	11.64	11.65	84.5	3380	-53.2	-2129	1252		
110	420	50	30000	4.26	8.52	4.13	8.26	4.18	8.36	8.38	55	2200	-32	-1280	920		
100	380	50	30000	3.02	6.04	3.13	6.26	3.07	6.14	6.15	38	1520	-19.5	-780	740		
90	340	50	30000	2.37	4.74	2.44	4.88	2.4	4.81	4.81	28.2	1128	-12	-480	648		
75	285	50	30000	1.89	3.78	1.89	3.78	1.89	3.78	3.78	20.4	816	-5.1	-204	612		
60	230	50	30000	1.57	3.14	1.56	3.12	1.56	3.13	3.13	15.6	624	-2	-80	544		
50	190	50	30000	1.37	2.74	1.38	2.76	1.37	2.75	2.75	11.8	472	0.7	28	500		



## EJEMPLO

Retomando el ejemplo presentado en el ensayo de calentamiento, los instrumentos necesarios para realizar el ensayo en vacío son:

- T1, T2 y T3 Transformadores de corriente clase 0.2 25/5 A.
- W1 y W2 vatímetros clase 0,5 0-600V 150 div.
- A1, A2 y A3: Amperímetro Clase 0,5 0-5 A<sup>a</sup>.
- f: Frecuencímetro clase 0.5 45-55 Hz.
- V: Voltímetro clase 0,5 0-600 V.
- v: Tacómetro.

La evaluación de las posibles anomalías señaladas al comienzo del tratamiento de este ensayo, queda a las experiencias del inspector y del fabricante.

Las normas no establecen valores máximos ni tolerancias para los declarados por el fabricante, si los hubiera, con respecto a los parámetros que se determinan en este ensayo.

La potencia de vacío  $P_0$ , es igual:

$$P_0 = \text{pérdidas del hierro estatórico} + \text{perdidas mecánicas} + \text{perdidas en el cobre estatórico}$$

Las pérdidas en el cobre estatórico se determinan por la siguiente expresión general, para la que no es necesario conocer la conexión interna del motor, ya que es aplicable a motores conectados en estrella y en triángulo.

$$\begin{aligned}\text{Pérdidas en el cobre estatórico} &= 0.5x(R_{uv} + R_{uw} + R_{vw})10^2 \\ &= 0.5 \times (0.658 + 0.662 + 0.660)10^2\end{aligned}$$



## EJEMPLO

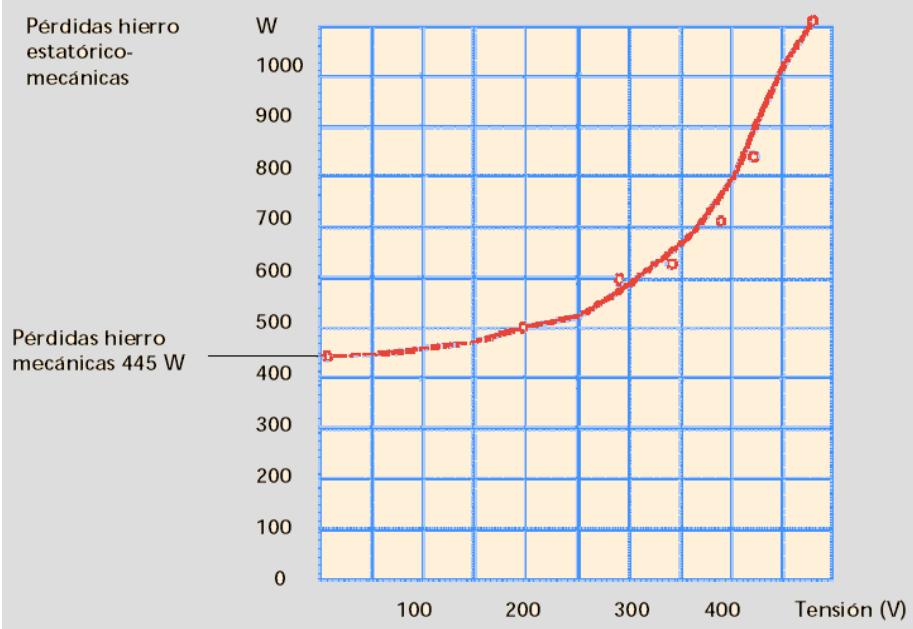
Se restan luego de la potencia consumida para las distintas tensiones a las que se tomaron valores y se grafica, tal como se muestra en la siguiente figura, en función de la tensión. Algunos autores aconsejan graficar en función de  $U^2$  con lo que la curva tiende a hacerse lineal.

Al extrapolar la curva, donde la misma corta al eje de las ordenadas, es decir, para tensión 0, se obtienen las pérdidas mecánicas, que para el ejemplo presentado serían 445 W.



## EJEMPLO continuación

Tensión		Potencia en Vacío [W]	Pérdidas en el Cobre estatórico [W]	Pérdidas hierro estatórico + mecánicas [W]
%	Volt			
125	460	1252	143	1109
110	420	920	69	851
100	380	740	37	703
60	340	648	23	625
75	285	612	14	598
90	230	544	10	534
50	190	500	7,5	492,5



Para el trazado del diagrama circular se utilizarán los siguientes parámetros, de los que se indica entre paréntesis el valor correspondiente al motor del ejemplo:

- $I_0$  prom.: a tensión nominal (6,15 A).
- $P_0$ : potencia consumida a tensión nominal (740 W).

$$\begin{aligned} \cos\phi_0 &= \frac{P_0}{\sqrt{3} \times U \times I_{0\_prom}} \\ \cos\phi_0 &= \frac{740}{\sqrt{3} \times 380 \times 6.15} = 0.18 \end{aligned}$$

### Ensayo a rotor bloqueado (cortocircuito)

Para realizar este ensayo se **bloquea solidamente el rotor** y, en el caso del motor de rotor bobinado, se cierra sobre el valor de resistencia correspondiente al arranque.

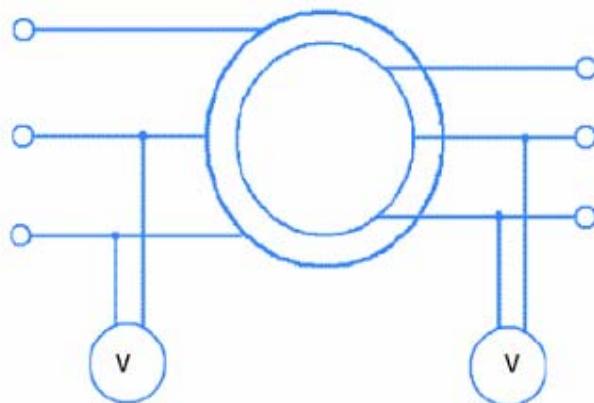
Se **conecta a una fuente de 50 Hz y de tensión regulada**, debido a que si se conecta a la tensión normal, el motor tomaría su corriente de arranque que es varias veces la nominal, lo que a veces la instalación de la sala de ensayos no puede suministrar. Sin embargo, la norma indica que se haga al 75-100% de la tensión nominal, pues si se hace a menores valores la extrapolación matemática, como se verá, entraña errores.

Por los valores de las corrientes en juego, la lectura de los instrumentos y de la indicación de la balanza debe hacerse simultánea y rápidamente para que sea despreciable la variación de la temperatura de los arrollamientos. Por ello, si se realizan varias determinaciones, debe esperarse luego de cada una para que el motor vuelva a la temperatura ambiente o medir la resistencia del arrollamiento en cada determinación.

Como aparece una variación de corriente y par de arranque con la posición relativa de los dientes del rotor y estator, las normas indican:

- Repetir la verificación para varias posiciones del rotor.
- Observar las diferencias.
- Adoptar para la corriente el mayor valor de los obtenidos y para el par el menor.

El par se mide directamente al acoplar al eje una barra que acciona una balanza. En el caso de un motor con rotor bobinado, tal como se observa en la siguiente figura, se abre finalmente el circuito del rotor y se mide la tensión entre los anillos, mientras el estator está alimentado a su tensión nominal.



Medición en rotor con bobinado

## EJEMPLO



Si retomamos el motor del ejemplo, los instrumentos necesarios son;

- T1, T2 T3 : Transformadores de Corriente, clase 0,2 – 150/5 A.
- W1 y W2 : Vatímetro, clase 0,5 – 0-600 V – 0-5 A-150 div.
- V: Voltímetro, clase 0,5 – 0-600 V.
- A1, A2 A3 : Amperímetros, clase 0,5 – 0-5 A.
- F: Frecuencímetro, clase 0,5 – 45 a 55 Hz.

Tensión	Frec	Intensidad de corriente C= 30 A/div						Potencia c=30x 20=600 W/div				Pot Tot	Brazo	Peso Aplicado
		Fase U		Fase v		Fase w		W1		W2				
V	Hz	div	amp	d i v	amp	div	amp	Div	wat	div	wat			
360	50	4.2	126	4	123	4.1	123	84	49.2	-14.5	-8.7	49.5	1.0	5.7

Se verifica si la corriente y el par de arranque medidos a tensión nominal corresponden al valor especificado, con una tolerancia permitida por la norma, del 20% para la corriente y del 10% del par.

Si el ensayo no se realiza a la tensión nominal, se extrae con las siguientes expresiones, de las que se indica entre paréntesis el cálculo correspondiente al motor del ejemplo:

$$\frac{I_{\text{arranque}} = I_{\text{prom. Medida en el ensayo}} \times \text{Tensión nominal}}{\text{Tensión de ensayo}}$$

$$I_{\text{arranque}} = 124 \times \frac{380}{360} = 132A$$

$$\frac{M_{\text{arranque}} = M_{\text{medida en el ensayo}} \times \text{tensión nominal}}{\text{Tensión de ensayo}}$$

$$M_{\text{arranque}} = 1.0 \times 5.7 \times \frac{(380)^2}{(360)^2} = 6.4 \text{kgm}$$

Si las determinaciones se hicieran a tensiones no cercanas a la nominal, la extrapolación indicada introduce errores debidos a la saturación, y se obtienen valores menores a los reales de la corriente y del par.

Se calculan también las relaciones:

$$\frac{I_{\text{arranque}}}{I_{\text{nominal}}} \quad \frac{M_{\text{arranque}}}{M_{\text{nominal}}}$$

## EJEMPLO



Para el ejemplo, estas relaciones son:

$$\frac{I_a}{I_n} = \frac{132A}{22A} = 6 \quad M_a = \frac{6.4 \text{kgm}}{3.65 \text{kgm}} = 1.75$$

Debido a que:

$$M_n = \frac{716 \times P(\text{CV})}{n(\text{v/min})} = \frac{716 \times 15}{2930} = 3.65 \text{kgm}$$

Cuando se trate de un motor con cojinetes a fricción no puede determinarse el par por esta medición directa, debido a que sus rozamientos son un freno no leído por la balanza, y se introduce así un error grosero en la determinación. Por lo tanto, en estos casos, el par de arranque se obtiene indirectamente del diagrama circular.

El cos φ del arranque se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \cos\varphi &= \frac{P_{cc} \text{ (medida en el ensayo)}}{\sqrt{3 \times U \times I \text{ (Prom. Medida en el ensayo)}}} \\ \cos\varphi &= \frac{(40500)}{\sqrt{3 \times 360 \times 124}} = 0.52 \end{aligned}$$

El ensayo con carga nominal consiste en hacer funcionar el motor mediante la entrega de su potencia nominal para determinar en esas condiciones si la corriente, el cos j, el rendimiento y la velocidad (o resbalamiento) cumplen con los valores declarados por el fabricante.

Además, los parámetros que se determinan en este ensayo son de interés porque:

- La corriente y la velocidad intervienen en el rendimiento obtenido por cálculo.
- La corriente y el cos j permiten verificar un punto del diagrama circular, que se ha trazado en base a los ensayos en vacío y a rotor bloqueado.
- El usuario diseña, en función de la corriente, la canalización y el sistema de protección; el rendimiento y el cos j le afectan directamente el costo de la energía y de la velocidad del motor dependerá la del mecanismo que él accione.
- Por ello, para tener un conocimiento completo del funcionamiento del motor, se repite este ensayo para el 25%, el 50%, el 75% y el 125% de la carga nominal, con lo que pueden construirse las curvas de variación de sus parámetros fundamentales en función de la potencia entregada.
- Este ensayo está establecido en la recomendación IEC 34-2/72 y en la -1/69. En ambos casos se procede a hacer funcionar el motor a tensión y frecuencia nominales.
- Para la medición directa, se regula el dispositivo de carga hasta que la potencia mecánica medida en el eje del motor sea la nominal.
- Para la medición indirecta, se carga el motor, se calcula la potencia entregada y se resta la eléctrica tomada de la red las pérdidas en el motor, por el procedimiento para el cálculo indirecto del rendimiento. Esto requiere una serie de tanteos puesto que algunas pérdidas son función de la corriente.

Preferentemente cuando un motor ha alcanzado su equilibrio térmico se procede a la lectura simultánea de todos los instrumentos.

Si el ensayo se realiza a distintas cargas, se comienza por el 125% de la nominal y se va disminuyendo para las demás condiciones.



## EJEMPLO

Este ejemplo corresponde a un ensayo de medición directa de la potencia mecánica entregada, puesto que se ha medido el par motor en el eje. No obstante, si bien el ajuste de la carga por el método de medición directa se realiza por cálculo y se le suprime las dos últimas columnas, esta misma tabla puede ejemplificar la obtenida por este método.

Cabe señalar, sin embargo, que habrá diferencias en los resultados obtenidos por ambos métodos.

Carga	Tensión	Frec	Velocidad	Frec	Intensidad de corriente $C = 30 \text{ A/div}$						
					Resb	Ns-Resb	Fase U		Fase V		Fase W
[%]	[V]	[Hz]	V/Min	V/Min	div	amp	div	amp	div	amp	
125	380	50	89	2911	2,6	26	2,58	25,8	2,61	25,96	
100	380	50	72	2928	2,2	22	2,19	21,9	2,21	22	
75	380	50	53	2947	1,71	17,1	1,71	17,1	1,78	17,13	
50	380	50	33	2967	1,22	12,2	1,22	12,2	1,23	12,23	
25	380	50	14	2986	0,72	7,2	0,72	7,2	0,73	7,23	

Potencia $c=30 \times 20=600 \text{ W/div}$				Pot Tot	Brazo	Peso Aplicado
W1		W2				
Div	Wat	div	Wat			
48,8	9760	26,8	5360	15120	1	4,62
41,2	8240	22,3	4460	12700	1	3,65
32	6400	16,7	3340	9740	1	2,73
22,8	4560	10,4	2080	6640	1	1,84
12,4	2480	0,6	120	2600	1	0,9

La evaluación del ensayo a rotor bloqueado consiste en verificar si el rendimiento, el resbalamiento y el factor de potencia del motor son los declarados por el fabricante, dentro de las tolerancias que admite la norma.

La corriente del motor no se verifica directamente, pero por la expresión:

Potencia del motor (HP)=

$$1.36 \times \sqrt{3} \times \text{tensión de alimentación(V)} \times \text{corriente del motor(A)} \times \cos\varphi \times \text{rendimiento}$$

Para una potencia y tensión de alimentación dadas, si están acotados los valores de cos j y rendimiento, también lo estará la corriente.

La **tolerancia del factor de potencia permitida** por las normas es:

$$\frac{- (1 - \cos\varphi)}{6}$$

Con un mínimo de 0.02 y un máximo de 0.07.

## EJEMPLO



El garantizado para el motor del ejemplo es 0,89. Resulta entonces la tolerancia:

$$\frac{- (1 - 0.89)}{6} = -0.18$$

Por lo que se adopta el mínimo -0,02.

El factor de potencia para la carga nominal se calcula de los valores medidos (ver tabla):

$$\cos\varphi = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \times U(V) \times I_{\text{prom}}^{(A)}}$$

$$\cos\varphi = \frac{12700}{\sqrt{3} \times 380 \times 22} = 0.878$$

Por lo tanto, en este caso se está dentro de la tolerancia.

La **tolerancia de resbalamiento permitida** por las normas es  $\pm 20\%$  de S.

## EJEMPLO



El garantizado para el motor del ejemplo resulta:

$$S(\%) = \frac{\text{Veloc.sincrónica} - \text{Veloc. Nominal}}{\text{Velocidad sincrónica}} \times 100 = \frac{3000-2930}{3000} \times 100\% = 2.33\%$$

Por lo tanto la tolerancia es igual a  $\pm 0,46\%$ .

En el ejemplo dado se ha determinado el resbalamiento por medio de una lámpara de efecto estroboscopio, contando el número de vueltas que en 1 minuto gira atrasando el rotor (72 vueltas para la carga nominal). Resulta:

$$S(\%) = \frac{72}{60 \times f} \times 100\% = 2.4\%$$

Si se utiliza el conteo de pulsos de un mili voltímetro, se aplica la misma fórmula:

$$S(\%) = \frac{\text{Número de pulsos}}{\text{Tiempo de conteo} \times \text{frecuencia}} \times 100\%$$

Por lo tanto, en este caso se está dentro de la tolerancia

Las normas estipulan tolerancias distintas, según el método de **determinación del rendimiento**

Con medición directa de la potencia mecánica entregada

$$-0.15 \times (1 - \eta)$$

## EJEMPLO



El garantizado para el motor del ejemplo es 0,86 (86%). Resulta entonces la tolerancia:

$$-0.15 \times (1 - 0.86) = -0.021 = 2.1\%$$

## Diagrama de Heyland

El diagrama circular es una **construcción gráfica que se realiza con los datos obtenidos de los ensayos en vacío y a rotor bloqueado**, de la que se deducen las características de funcionamiento del motor:

- Corrientes estatórica y rotórica.
- Potencia consumida.
- Potencia entregada.
- Rendimiento, par y factor de potencia.

Al calcular esto para los distintos estados de carga, se puede graficar su variación y apreciar los valores máximos que el rotor alcanza.

Resulta por lo tanto muy útil para conocer el comportamiento del motor cuando no se cuenta con instalaciones adecuadas para determinar cargándolo como se indica. También lo emplea el proyectista durante el diseño de sus motores, para la evaluación de las características que tendrán en funcionamiento.

La relación que vincula los parámetros internos del motor de inducción permite establecer que, a tensión y frecuencia de alimentación constantes, el lugar geométrico de los extremos de los vectores que representan las corrientes del estator es una circunferencia.

Esto es válido siempre que las reactancias y resistencia del motor sean independientes del resbalamiento, es decir, prácticamente constantes, como puede considerarse en los motores de rotor bobinado o, en menor grado, en los de jaula normal. Por lo tanto, no es aplicable a los motores de doble jaula o jaula profunda, para los cuales el círculo se distorsiona para las velocidades bajas (zona de arranque).

Por tratarse de una determinación gráfica aproximada, los valores que se obtienen de ningún modo pueden emplearse como verificación de datos garantizados.

Se ha tomado como ejemplo un motor asincrónico trifásico de jaula normal cuyos datos de placa son: 50 CV-380 V-72,3 A – cos j 0,89 – 944 vueltas/mín.

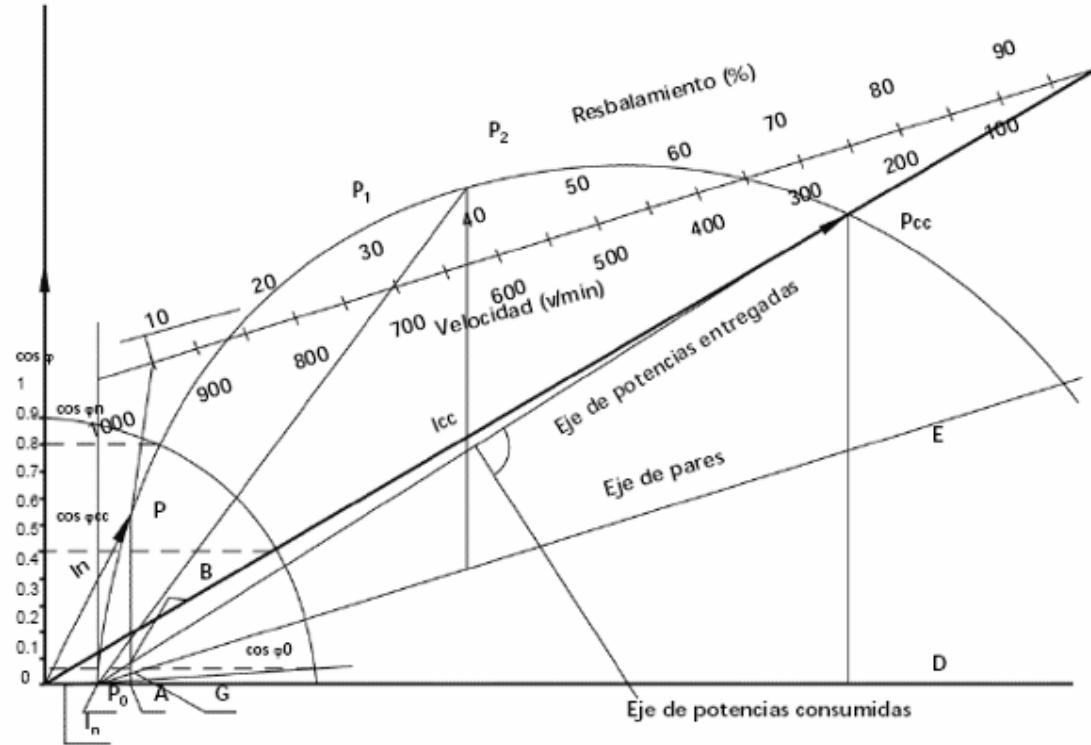


Diagrama de Heyland