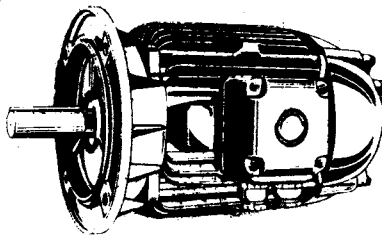


# Capítulo 9

## SELECCION DE MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS

- 9.1 Factores que influyen en la elección del motor
- 9.2 Características del ambiente
- 9.3 Características de la carga
- 9.4 Características del motor
- 9.5 Criterios de selección



NV 160-B5



# SELECCION DE MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS

## 9.1 CRITERIOS DE SELECCION

Los factores que intervienen en la elección de un motor asíncrono de jaula de ardilla son los siguientes:

- Las características de la red de suministro, es decir, la tensión de servicio, la frecuencia, la clase de corriente y el número de fases disponibles, lo cual depende de la forma de suministro de la energía eléctrica: muchas veces proviene de un concesionario, otras, del propio usuario pudiendo ser éste una fábrica, un laboratorio, un taller, un edificio o una casa, por ejemplo.
- Las características del ambiente, o sea, el lugar y el modo de emplazamiento del motor (influyen, por ejemplo, la altura sobre el nivel del mar, el tipo de atmósfera, es decir, si es corrosiva, o explosiva, o pulverulenta, influye también la temperatura del local, etc.).
- Los gastos de explotación, o sea, los gastos de instalación, mantenimiento, reparación, control y operación de la máquina durante su vida de funcionamiento.
- Las características de la carga, es decir, la potencia nominal, la velocidad, el torque en función de la velocidad, la variación de la velocidad, el tiempo de aplicación de la carga, la forma de aplicación de la misma: con o sin golpes, el momento de inercia de las masas giratorias y de las que se trasladan y la máxima aceleración permitida durante los períodos transitorios de la puesta en marcha y el frenado de las cargas.
- Las características del motor, es decir, su clase de diseño, su (s) tensión (es) de trabajo, su frecuencia, su potencia mecánica nominal, su (s) velocidad (es), sus torques de arranque y mínimo, su corriente de arranque, su forma y ejecución constructiva, su clase de aislamiento, sus dimensiones y su peso.

## 9.2 CARACTERISTICAS DEL AMBIENTE

Las carcasas protegen al motor de los efectos dañinos del medio ambiente en que se colocan: humedad, álcalis, ácidos, aceites, polvos, etc. Los lugares pueden ser limpios, neutros, sumamente sucios (atmósfera con polvos abrasivos) o altamente explosivos (polvos explosivos o inflamables o vapores).

Ahora bien, los motores no son todos exteriormente iguales. Así, se construyen motores a prueba de gotco, salpiqueo, a prueba de intemperie, de ex-

plosión, etc., pudiendo ser su armadura del tipo abierto, cerrado o totalmente cerrado, según el caso.

El motor de armadura abierta es el más común y el más barato. Se puede usar en lugares donde el aire está relativamente libre de partículas extrañas o de líquidos. No debe usarse en lugares cercanos a chorros de agua o en atmósfera que contiene polvo. El aire circula libremente por el motor, produciendo el enfriamiento necesario y, naturalmente, si contiene partículas extrañas, a la larga, resulta dañado el aislamiento. Se recomienda este motor para uso general en la granja.

El motor de armadura a prueba de salpiqueo ofrece mayor protección contra el polvo y el aire, pero, naturalmente, es más caro. Se recomienda para usar en lugares donde se requiere constantes lavados de los equipos. El motor de armadura totalmente cerrada no permite que entre aire ni agua. La refrigeración se realiza sólo por convección y radiación y, para mejorarla, el motor está provisto de una serie de aletas exteriores. Es bastante caro y sólo debe usarse en casos especiales.

El ambiente, o sea, el lugar y el modo de emplazamiento del motor determinan la clase de protección, el tipo constructivo y el aislamiento de los motores eléctricos:

### **9.2.1 Clases de protección**

Según el lugar de emplazamiento del motor se precisan diferentes medidas de protección, en primer lugar, contra la penetración de suciedad y agua y, en segundo lugar, contra el peligro de tocar involuntariamente partes conductoras de corriente o rotativas.

Las clases normalizadas de protección, según NEMA, se indican en la placa de características por la letra **P** y dos cifras.

Las cifras tienen el significado siguiente:

**Primera cifra:** protección contra contacto y penetración de cuerpos extraños.

0 Sin protección.

- 1 Protección contra introducción de la mano y contra la penetración de cuerpos extraños voluminosos.
- 2 Protección contra la introducción de los dedos y contra la penetración de cuerpos extraños medianos de más de 8 mm de diámetro.
- 3 Protección contra la introducción de herramientas (p.e. un destornillador) y la penetración de cuerpos extraños pequeños de más de 1 mm de diámetro.
- 4 Protección contra el acceso al interior, incluso voluntario, recurriendo a medios auxiliares de toda índole, y contra la formación de depósitos de polvo en el interior.
- 5 Protección contra el acceso al interior, incluso voluntario, recurriendo a medios auxiliares de toda índole, y hermeticidad total al polvo.

**Segunda cifra:** Protección contra el agua.

- 0 Sin protección.
- 1 Protección contra agua de goteo vertical.
- 2 Protección contra salpicaduras de agua con inclinación hasta de 30° como máximo por encima de la horizontal.
- 3 Protección contra salpicaduras de agua procedente de cualquier dirección.
- 4 Protección contra chorros de agua procedentes de cualquier dirección.
- 5 Protección contra agua a presión.

### 9.2.2 Tipos constructivos

Las formas constructivas de los motores eléctricos se distinguen en su aspecto exterior según tres puntos de vista:

1. Disposición del árbol: horizontal, vertical o inclinado.
2. Forma de la carcasa: con patas o con brida de sujeción.
3. Clase de apoyo del árbol: escudos portacojinetes o cojinetes de pedestal.

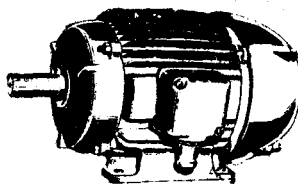
Los motores se caracterizan por un símbolo compuesto de dos índices: B3, B5, B8, V1, V5, por ejemplo, donde:

B : eje horizontal

V : eje vertical

Para los símbolos mencionados corresponden las siguientes características:

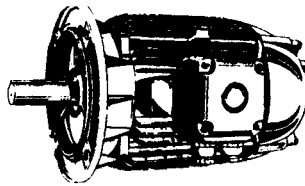
- *Motor con la forma B3:*  
tiene dos escudos, extremo de eje libre, y carcasa con patas. Véase la Figura 9.1.



NV71-B3

Fig. 9.1 Motor con la forma B3.

- *Motor con la forma B5:*  
tiene dos escudos, extremo de eje libre, brida de sujeción, y carcasa sin patas. Véase la Figura 9.2.



NV 160-B5

Fig. 9.2 Motor con la forma B5.

- *Motor con la forma B6:*  
tiene dos escudos, girados 90°, para sujeción en la pared, y carcasa con patas.
- *Motor con la forma B8:*  
tiene dos escudos, girados 180°, para sujeción en el techo, y carcasa con patas.
- *Motor con la forma V1:*  
tiene dos cojinetes, brida de sujeción, extremo de eje inferior libre.
- *Motor con la forma V5:*  
tiene dos cojinetes, extremo de eje inferior libre, y carcasa con patas, y sujeción a la pared.

Las dimensiones esenciales para colocar físicamente un motor con respecto al acoplamiento que lo conecta a su carga mecánica están normalizados por la NEMA y figuran en el catálogo del fabricante.

### 9.2.3 Tipos de aislamiento

El aislamiento de los devanados juega un papel importante en la vida de un motor. Los aislamientos pueden ser de diferentes tipos y se caracterizan fundamentalmente por la temperatura que pueden soportar como máximo, lo cual determina, en definitiva, su costo. El costo de remplazar los embobinados de un motor malogrado equivale aproximadamente a la mitad del costo del motor.

La plaza que indica las características de un motor, contiene la información necesaria concierne al aumento de la temperatura de la máquina sobre la del ambiente normal o del aire entrante (unos 40°C como máximo).

A continuación se designan las diferentes clases de materiales aislantes según la norma IEC y sus correspondientes temperaturas permanentes máximas admisibles de operación:

Clase de aislamiento	Temperatura máxima (°C)
0 ó Y	90
A (general)	105
E	120
B (laboratorios)	130
F	155
H	180
C (especial)	> 180

Las máquinas con aislamientos F y H son mucho más caras que las de clase A, por ejemplo.

### 9.2.4 Bases de motores

Las bases de los motores empleados pueden ser de dos tipos: rígidas o clásicas (resilientes).

La base rígida es la más usada y la más barata. Tiene unos huecos para los pernos de anclaje del motor, con los cuales se le fija sólidamente en lugares donde debe instalarse.

La base elástica, en cambio, tiene la propiedad de absorber las vibraciones producidas por el motor. Es, naturalmente, más cara y se emplea menos que la anterior. Se recomienda su uso para clasificadoras de granos y lavadoras. El efecto de amortiguamiento se obtiene mediante unos anillos colocados a cada lado del eje del motor. Esta base se fija también mediante pernos y, para eso, tiene unos huecos ya preparados.

## 9.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

Las cargas que pueden aplicarse a los motores de jaula de ardilla pueden ser de lo más diversas.

Interesa en primer lugar conocer la potencia requerida por la carga que se ha de accionar, la cual deberá ser menor que la potencia nominal del motor en trabajo continuo. Si se elige un motor demasiado grande, éste estaría siendo subutilizado, el rendimiento sería más bajo que el nominal y su elección resultaría antieconómica.

En segundo lugar, interesa la velocidad o las velocidades a las cuales se desplazará o girará la carga con el fin de determinar la necesidad o no de un sistema de transmisión así como el número de velocidades requerido del motor. Para una misma potencia, los motores de gran torque y baja velocidad de giro soportan mayores esfuerzos mecánicos y son más robustos y de mayor peso que los motores rápidos de igual potencia. Por lo tanto, siempre que sea

posible, se emplearán motores de gran velocidad, la cual, en caso necesario, se reduce por transmisión de correa o de engranajes.

Interesa, en tercer lugar, conocer la característica dinámica (curva de torque-velocidad) de la carga para poder confrontarla con la del motor eléctrico escogido. De esta curva, es de especial importancia, para la elección del motor, el torque de arranque el cual varía de una carga a otra.

Entre los diferentes tipos de cargas se puede establecer ciertas analogías en lo que respecta a la forma de sus características de torque-velocidad, tal como pue de apreciarse en la Figura 9.1, donde:

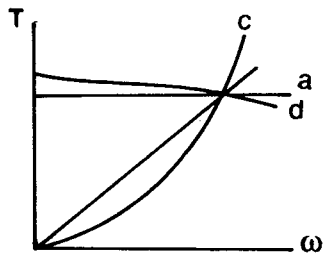


Fig. 9.3 Curvas características de torque-velocidad para diversas cargas típicas.

La curva (a) es una de par constante con la velocidad. Estos accionamientos arrancan a plena carga y son arrastrados a torque constante y se caracterizan porque, en reposo, los rozamientos son grandes así como las masas a acelerar.

Como se ve, el motor debe desarrollar en el arranque un torque mayor que el nominal. Como ejemplos típicos de estas cargas se tiene los siguientes: montacargas, grúas, ascensores y otras máquinas de elevación, las fajas transportadoras y otros transportadores, compresores y bombas de pistón, laminadoras, las cizallas y otras máquinas-herramientas de corte, las máquinas de papel, las máquinas de imprimir, las mezcladoras, etc.

El arranque a plena carga es posible con muchos tipos de motores; cuando se utiliza el arrancador estrella-triángulo con motores asíncronos de jaula de ardilla requiere que éstos tengan un par de arranque especialmente alto como lo tienen los de doble jaula de ardilla o de barras profundas.

La curva (b) es una de torque proporcional a la velocidad. Esta característica la presentan las cargas a base de rozamientos viscosos o lubricados, así como también los generadores eléctricos de excitación independiente.

La curva (c) es una de torque proporcional al cuadrado de la velocidad. Este es el caso de la mayoría de las máquinas-herramientas (taladradoras, tornos, etc.), siempre que al ponerlas en marcha no estén ya cargadas; asimismo, los ventiladores y las bombas centrífugas con la válvula de descarga abierta.

Para realizar el arranque de las cargas tipo (b) y (c), basta con aplicar un torque igual a la mitad del nominal. Este arranque a media carga puede ser su-

perado por casi todos los motores de jaula de ardilla, incluso con arrancador estrella-triángulo. Cuando, para un accionamiento dado, fuera necesario un arranque lo más suave posible, habrá que reducir el torque del motor en la puesta en marcha mediante un reóstato de arranque en serie con el estator.

La curva (d) representa la característica de las cargas a base de rozamientos no lubricados (el rozamiento entre sólidos disminuye algo a medida que la velocidad aumenta). Estas cargas requieren un torque motor en el arranque considerablemente mayor que el torque nominal, como, por ejemplo, al acelerar grandes masas (laminadoras, molinos para cereales, centrifugas, etc.) y en los casos de resistencias por rozamiento especialmente grandes durante el arranque (vehículos de tracción eléctricos, molinos trituradores de piedra, etc.). El arranque con carga pesada sólo es posible con motores de rotor bobinado o con motores de doble jaula con arranque directo.

**En cuarto lugar**, interesa saber si la carga que se ha de accionar es de velocidad constante o casi constante, como es el caso de la mayoría de éstas, o si requiere una amplia gama de velocidades en forma discreta, como es el caso de la mayoría de las máquinas-herramientas, o si requiere una variación continua de la velocidad.

Para el primer caso se aplican mayormente los motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla normales o de uso general.

Para el segundo caso, se aplican los motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla de dos o cuatro velocidades denominados también motores de amplitud modulada o de polos conmutables.

Para el tercer caso, se debe proveer a los motores normales de dispositivos y equipos de regulación especiales.

En principio, cualquier motor puede regularse para adaptar su velocidad a las necesidades de su carga mecánica.

**En quinto lugar**, interesan la aceleración recomendada en el arranque y la deceleración, en el frenado para cada carga en particular. Esto se hace con el fin de limitar los esfuerzos considerables que se presentan durante estos períodos transitorios de funcionamiento y que afectan tanto al mecanismo como a la carga misma.

**En sexto lugar**, interesa la forma de aplicación de la carga, es decir, si ésta se produce de alguna de las siguientes formas:

- (I) Casi sin golpes, como es el caso de los generadores eléctricos, las fajas transportadoras, los gusanos transportadores, los ascensores livianos, los winches, el avance de las máquinas-herramientas, los ventiladores, los compresores centrifugos, las mezcladoras de artículos de igual granulación.
- (II) Con golpes medianos, como es el caso del movimiento principal de las máquinas-herramientas, los ascensores pesados, los movimientos para desplazar y girar la grúa, los ventiladores para minas, las mezcla-

doras para artículos de granulación diferente, las bombas de expulsión, las bombas auxiliares.

- (III) Con golpes fuertes, como es el caso de las máquinas cortadoras de metales, las punzonadoras, las máquinas para mezclar jebe, las laminadoras, las dragas de cuchara, las bombas centrífugas pesadas, las bombas auxiliares pesadas, las máquinas perforadoras, las prensas compactadoras, las chancadoras, los molinos de bolas.

Es evidente que el servicio que presta el motor en el primer caso es un servicio suave y descansado a diferencia del tercer caso en el cual el motor deberá prestar un servicio severo por lo que para la misma potencia de la carga sería recomendable un motor de mayor tamaño para el caso III.

El tiempo de aplicación de la carga es también un factor preponderante en la selección de un motor e influye en la determinación del factor de servicio el cual se verá aumentado con la mayor duración de la conexión de la carga. La aplicación de la carga puede realizarse de diferentes formas: continua, intermitente, intermitente continua, temporal, temporal continua, maniobra intermitente y maniobra continua, tal como lo prevén las normas.

**Finalmente**, interesa saber el momento de inercia del conjunto de todas las masas giratorias, así como el de las que se trasladan, con respecto al eje del motor, para lo cual se debe tener ya ideado el mecanismo total comprendido entre el motor por escoger y la carga conocida. Un momento de inercia muy elevado puede ocasionar tiempos de puesta en marcha mayores que los permitidos por los motores, mientras que un momento demasiado pequeño puede ocasionar aceleraciones muy grandes en el arranque, por encima de los valores recomendados para una carga en particular.

## 9.4 CARACTERISTICAS DEL MOTOR

En su punto de operación, véase la Figura 9.2, el motor acciona a la máquina movida o carga con un cierto torque  $T$  y una velocidad de giro  $\omega$ .

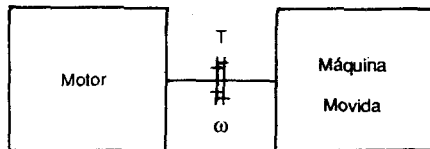


Fig. 9.2 Acoplamiento directo de un motor a su carga.

$T$  y  $\omega$  en el eje son comunes al motor y a la carga y constituyen los factores básicos de la potencia transmitida.

Los motores eléctricos tienen sus propias curvas torque-velocidad, llamadas también características dinámicas.

La curva torque-velocidad constituye una propiedad de cada motor eléctrico llegando a ser decisiva para la elección del motor adecuado.

En la mayor parte de las aplicaciones, los motores se alimentan a tensión y frecuencia constantes directamente de una red, y trabajan según su propia característica de torque-velocidad de acuerdo con las condiciones determinadas por la carga mecánica que accionan, cuyo par resistente depende de la velocidad a la que es arrastrada.

Sin embargo, existen aplicaciones en las cuales se debe proveer a los motores de dispositivos y equipos de regulación que pueden modificar las características del motor adaptándolas a las condiciones operativas exigidas en cada caso particular. En principio, cualquier motor puede regularse para adaptar su velocidad y torque a las necesidades de su carga mecánica.

Existen diversos tipos de motores de jaula de ardilla, siendo los más comunes los de barras profundas o de doble jaula de ardilla debido a su buen comportamiento durante el arranque y durante el funcionamiento con carga.

Las características nominales más usuales para los motores eléctricos son las de **servicio continuo** que definen la potencia de salida en kW, hp ó CV y las cuales pueden mantenerse indefinidamente sin exceder los límites establecidos. En caso de sobrecarga del motor por la máquina accionada, o sea, al rebasar el torque nominal, debe tenerse en cuenta que los motores sólo están obligados a soportar como máximo, durante dos minutos, 1.5 veces la corriente nominal, en caso contrario se calentarán indebidamente.

Para un **servicio intermitente, periódico o diverso**, puede darse una característica nominal de corta duración, que define la carga que puede soportar la máquina durante un tiempo determinado. Los períodos normales para características nominales de corta duración son 5, 15, 30 y 60 minutos.

Las velocidades, tensiones y frecuencias se especifican, asimismo, en las características nominales del motor debiéndose tomar las debidas precauciones para las posibles variaciones de tensión y frecuencia. Los motores deben funcionar satisfactoriamente con tensiones del 10% por encima y por debajo de la tensión nominal (a la frecuencia nominal) y a frecuencias del 5% por encima o por debajo de la frecuencia nominal (a la tensión nominal); la variación combinada de la frecuencia y la tensión no debe exceder del 10%.

Los motores de dos o cuatro velocidades pueden ser de varios tipos: de torque constante, de potencia constante o de torque variable, para cada uno de los cuales los bornes se deben conectar según se indica en la parte posterior de la placa.

Los motores de dos tensiones son de potencia constante y se debe tener especial cuidado en aquellos motores en los que el embobinado del estator está formado por dos grupos de bobinas. La forma de conectarlas para cada tensión viene indicada también en la parte posterior de la placa.

Los torques de arranque, mínimo y máximo, vienen dados en el catálogo del fabricante con respecto al torque nominal por medio de unos coeficientes.

Con estos valores del torque se puede construir aproximadamente la curva de torque-velocidad o, en su defecto, calcular el valor del torque motor medio. Véase en la Tabla 9.0 tomada del catálogo de la firma nacional DELCROSA para sus motores trifásicos asíncronos de 4 polos, las columnas centrales.

Si el arranque del motor se realiza en forma directa, el motor desarrollará siempre estos valores de torque, pero si se utiliza algún método para efectuar el arranque del motor con la idea de reducir la elevada corriente de arranque, aquellos valores de torque se verán reducidos en todos los casos a valores que dependen del tipo de arrancador utilizado.

La corriente de arranque también viene especificada en el catálogo del fabricante como una relación con respecto a la corriente nominal. El valor de esta corriente corresponde a un arranque directo a tensión plena e influye en la elección del método de arranque del motor.

Los motores se diseñan para trabajar con el eje en una posición determinada, así se cuenta con motores que trabajan con el eje horizontal, o con el eje vertical y hasta con el eje inclinado. Por otro lado, se diseñan también para trabajar sobre el suelo o bajo techo y hasta apoyados en la pared.

Los motores se diseñan también para soportar las condiciones del tiempo y del ambiente dependiendo de cada aplicación en particular, siendo más caros cuando mayores son las exigencias.

Se establecen otras condiciones de funcionamiento de modo que el motor pueda soportar sobrecargas razonables de corta duración. Así, el usuario de un motor puede confiar en poder aplicar durante un espacio de tiempo de corta duración, una sobrecarga del 25 al 90%, por ejemplo, a la tensión normal, dentro de un amplio margen de seguridad. Esto va a depender fundamentalmente del tipo de aislamiento utilizado en el motor. Cuanto más sobrecarga pueda soportar un motor, mejor es el aislamiento utilizado y más cara es también la máquina.

Las dimensiones del motor y el peso del mismo vienen especificadas en el catálogo del fabricante y sirven para ayudar a dimensionar el equipo o la instalación completa.

Los motores se clasifican en motores para fines generales (normalmente ventilados) y motores para fines especiales.

Un motor para fines generales es cualquier motor de 200 hp ó menos y 450 RPM ó más, de servicio continuo, diseñado, clasificado y presentado con características normales para ser utilizado sin restricción en una aplicación particular.

Se emplea aislamiento clase A y, de acuerdo con las especificaciones de la NEMA, la elevación de temperatura se limita a 40°C por encima de una temperatura ambiente no superior a 40°C. También se emplea aislamiento clase B.

La potencia necesaria de un motor para una aplicación determinada se halla fácilmente cuando el motor funciona continuamente con carga sustancialmente

DEL CROSA S.A.			MOTOR ASINCRONO TRIFASICO CON ROTOR A JAULA SERIE NV TENSION DE CONSTRUCCION MAXIMA - GOOV										50 HZ 4 POLOS 60 HZ			
POTENCIA		RPM a 1/1	TIPO				$\eta\%$	$\cos \phi$	$\frac{Ca}{Cn}$	$\frac{Cm}{Cn}$	$\frac{CM}{Cn}$	$\frac{Ia}{In}$	CORRIENTE A 1/1 CARGA		PM	PESO MOTOR FORMA B3 Kg
HP	KW	CARGA										220 V	380 V	ROTOR Kg <sup>m</sup>		
1/3 0.4	0.25 0.30	1385 1660	NV	71	a	4	66.5	0.70	2.6	2.6	2.8	3.8	1.4 1.7	0.8 1.0	3.5 x10 <sup>4</sup>	9.4
0.5 0.6	0.37 0.45	1390 1670	NV	71	b	4	71.0	0.72	2.4	2.4	2.6	3.8	1.9 2.3	1.1 1.3	4.1 x10 <sup>4</sup>	10.3
3/4 0.9	0.56 0.67	1410 1690	NV	80	a	4	73.0	0.73	2.5	2.5	2.7	4.4	2.8 3.3	1.6 1.9	7.8 x10 <sup>4</sup>	13.6
1.0 1.2	0.75 0.90	1415 1700	NV	80	b	4	75.0	0.75	2.5	2.5	2.7	4.8	3.5 4.2	2.0 2.4	9.4 x10 <sup>4</sup>	15.4
1.5 1.8	1.1 1.3	1425 1710	NV	90	La	4	77.0	0.76	2.2	1.9	2.7	5.0	4.9 6.0	2.8 3.4	1.8 x10 <sup>4</sup>	21.7
2.0 2.4	1.5 1.8	1430 1720	NV	90	L	4	79.0	0.78	2.2	2.0	2.5	5.3	6.4 7.6	3.7 4.4	2.2 x10 <sup>4</sup>	24.0
3.0 3.6	2.2 2.7	1435 1730	NV	100	La	4	80.0	0.80	2.3	2.0	2.7	5.8	9.2 11.0	5.4 6.4	2.4 x10 <sup>4</sup>	30.0
4.0 4.8	3.0 3.6	1440 1740	NV	100	L	4	81.0	0.81	2.5	2.0	2.7	6.0	12.0 14.4	7.0 8.4	3.0 x10 <sup>4</sup>	33.3
5.5 6.6	4.1 4.9	1440 1740	NV	112	M	4	83.0	0.82	2.5	2.2	2.8	6.6	15.8 19.0	9.2 11.0	6.0 x10 <sup>4</sup>	43.0
7.5 9.0	5.6 6.7	1440 1740	NV	132	S	4	84.0	0.83	2.3	2.1	2.9	6.6	21.0 25.0	12.2 14.6	0.131	61.5
10 12	7.5 9.0	1445 1745	NV	132	M	4	85.0	0.84	2.4	2.3	3.0	6.5	27.5 33.0	15.8 19.0	0.158	72.0
15 18	11.2 13.4	1445 1745	NV	160	M	4	87.0	0.84	2.2	1.9	3.0	6.5	40.0 48.0	23.5 28.0	0.31	111
20 24	14.9 17.9	1450 1745	NV	160	L	4	88.5	0.85	2.3	2.0	3.0	6.5	52 62	30.0 36.0	0.39	129
25 30	18.7 22.4	1460 1750	NV	180	M	4	89.0	0.86	2.0	1.5	2.8	8.0	64 77	37.0 44.5	0.56	172
30 36	22.4 26.9	1460 1750	NV	180	L	4	89.0	0.86	2.0	1.5	2.8	8.0	77 92	44.5 53	0.66	194
40 48	29.8 35.8	1465 1760	NV	200	L	4	90.0	0.86	2.7	2.0	2.8	8.0	102 122	59 70	1.3	270
50 60	37.3 44.8	1465 1760	NV	225	cS	4	90.5	0.86	2.7	2.0	2.5	8.0	126 151	73 87	2.0	330
60 70	44.8 52.2	1465 1760	NV	225	cM	4	91.0	0.86	2.7	2.0	2.5	8.0	150 176	87 102	2.2	360
75 90	56.0 67.1	1470 1765	NV	250	M	4	91.5	0.86	2.5	2.0	2.4	7.0	186 225	106 130	3.4	487
100 125	74.6 90.3	1470 1765	NV	280	S	4	92.0	0.86	2.6	2.1	2.5	8.0	245 310	144 180	6.7	696
125 150	93.3 112	1470 1765	NV	280	M	4	92.0	0.86	2.6	2.1	2.5	8.0	310 370	180 215	7.7	775
150 180	112 134	1470 1766	NV	315	Mra	4	92.5	0.86	2.6	2.0	2.5	8.0	370 445	215 256	12.0	1047
180 220	134 164	1470 1765	NV	315	Mr	4	93.0	0.86	2.6	2.0	2.5	8.0	440 540	255 310	14.0	1074
220 260	164 194	1480 1775	NV	315	Lr	4	93.5	0.88	2.6	2.0	2.5	8.0	520 620	305 360	14.1	1160
270 310	201 231	1480 1775	NV	315	L	4	94.0	0.88	2.6	2.0	2.5	8.0	640 790	370 425	15.7	1090

NOMENCLATURA:

$\eta\%$  - eficiencia en porcentaje  
 $\cos \phi$  - factor de potencia  
Cn - par nominal  
Ca - par de arranque  
Cm - par mínimo  
CM - par máximo  
Ia - corriente de arranque  
In - corriente nominal

constante, ya que únicamente hay que contar con las necesidades de potencia del equipo impulsado.

Un **motor para fines especiales** se diseña específicamente y está destinado a una aplicación determinada, donde las necesidades de la carga y el ciclo de servicio son perfectamente conocidos.

La elevación de temperatura permisible con aislamiento clase A es, generalmente, de 50°C, sin que exista concesión alguna por factor de servicio.

Los motores de características nominales de corta duración se encuentran, por regla general, en la categoría de motores para fines especiales.

Cuando el motor funciona dentro de un ciclo de servicio más o menos repetido, el calentamiento medio debe hallarse por las pérdidas del motor durante las diversas fases del ciclo, incluyendo la variación de la ventilación con la velocidad del motor.

Se debe conceder especial atención a los motores que se arrancan y se frenan o invierten su sentido de giro frecuentemente, ya que tal clase de servicio es equivalente a fuertes sobrecargas, especialmente si se encuentra implicada una carga de inercia muy elevada.

También se debe prestar atención a aquellos ciclos de servicio con puntas de torque tan elevadas, que motores de servicio continuo elegidos sobre bases puramente térmicas, no serían capaces de suministrar. Es a dichos ciclos de servicio a los que se aplican generalmente **motores para fines especiales**, con características nominales de corta duración, los cuales, en general, poseen mejor capacidad para producir el torque que otros motores destinados a producir continuamente la misma potencia de salida, aunque tengan una capacidad térmica inferior.

## 9.5 ELECCION DEL MOTOR ELECTRICO

La elección del motor eléctrico de un mecanismo o de un equipo se efectúa en el orden siguiente:

1 - Se determina la potencia estática  $P_{est}$  durante el accionamiento de una carga nominal a velocidad constante, es decir, en condiciones permanentes:

$$P_{est} = \frac{P_{carga}}{\eta} \quad (W)$$

$P_{carga}$  : potencia de la carga nominal (W).

$\eta$  : es el rendimiento de todo el mecanismo, el cual en muchos casos puede considerarse igual a uno.

La expresión de la potencia de la carga va a depender del tipo de carga. Así, por ejemplo, cuando la carga es un generador eléctrico trifásico, cuya tensión en bornes es  $V(V)$  y entrega una corriente  $I(A)$  a una carga cuyo factor de

potencia es  $\cos \phi$ , la potencia de la carga se calcula con la expresión:

$$P_{\text{carga}} = \sqrt{3} \ V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (W)$$

Si la carga está constituida por un ascensor que eleva una carga de peso  $F(Nt)$  a una velocidad  $v(m/s)$ , entonces:

$$P_{\text{carga}} = F \cdot v \quad (W)$$

Si la carga está constituida por una bomba centrífuga que eleva un caudal  $Q(m^3/s)$  de un fluido cuyo peso específico es  $\gamma (kg/m^3)$  a una altura manométrica  $h(m)$ , entonces:

$$P_{\text{carga}} = Q \cdot \gamma \cdot h \quad (W)$$

Y si la carga es, por ejemplo, un compresor alternativo cuyo cigüeñal exige un torque medio  $T(N.m)$  a una velocidad angular  $\omega(rad/s)$ , entonces:

$$P_{\text{carga}} = T \cdot \omega \quad (W)$$

2 – Se determina la potencia mecánica real  $P_{\text{real}}$  afectando el valor de la potencia estática de un factor de carga o de servicio  $C_s$ , el cual depende del tipo de carga y del tiempo de funcionamiento:

$$P_{\text{real}} = C_s \cdot P_{\text{est}} \quad (W)$$

Los valores del factor de servicio  $C_s$  son tomados de la experiencia. Esta recomendación puede usarse en aquellas aplicaciones en las que las necesidades de carga y el ciclo de servicio no son bien conocidos o varían grandemente, teniendo en cuenta que en caso de sobrecarga, es decir, con factores de servicio menores que uno, los motores están obligados a soportar como máximo, durante dos minutos, 1.5 veces la corriente nominal si no, se calentarán indebidamente.

3 – Usando el catálogo del fabricante de los motores se escoge el motor cuya potencia nominal sea igual o mayor que la potencia real  $P_{\text{real}}$ .

La elección del motor depende ahora de la velocidad requerida, por cuanto las velocidades de los motores son casi fijas, normalmente cuatro: alrededor de 900, 1200, 1800 y 3600 RPM, para motores de 60 Hz. Se tiene, entonces, cuatro alternativas de solución para la combinación motor-transmisión.

Se escoge la alternativa que ofrezca menor costo, menor peso, menor tamaño, menor corriente de arranque o una buena combinación de todas estas características y algunas otras como eficiencia y factor de potencia, por ejemplo.

Se recuerda que en el catálogo del fabricante se encuentra toda la información concerniente a las características del motor.

4 – Verificar si el motor elegido puede arrancar, para lo cual es preciso que el torque motor durante el arranque y la puesta en marcha sea siempre mayor que el torque resistente de la carga.

Se debe tener especial cuidado con aquellas cargas cuyo torque de arranque es alto y que probablemente requieran un **arranque directo** o con aquellos motores que tienen que ponerse en marcha utilizando algún arrancador para reducir la elevada corriente de arranque.

Debe recordarse que los motores de doble jaula de ardilla o de barras profundas se caracterizan por tener un torque mínimo menor que el torque de arranque.

Los valores de torque de arranque  $T_a$  o de torque mínimo  $T_{min}$  pueden encontrarse a partir de los datos que aparecen en el catálogo para cada motor en función del torque nominal  $T_n$ , a manera de coeficientes (Véase la tabla 9.0):

$$\frac{T_a}{T_n} \quad ; \quad \frac{T_{min}}{T_n}$$

donde  $T_n$  se determina dividiendo la potencia nominal  $P_n$  del motor entre la velocidad nominal  $\omega(n)$  del mismo, las cuales aparecen como datos en el catálogo.

5 – Verificar que el tiempo de puesta en marcha  $t_{pm}$ , sea como máximo el indicado en la **Tabla 9.1**, de acuerdo a la IEEE.

Tabla 9.1	
máximo tiempo de ta en marcha tpm (s)	motores de potencia hasta (kW)
6	5
10	10
16	16
21	70
24	100

Los valores indicados en la Tabla 9.1 se aplican sobre todo cuando las masas a acelerar en el arranque, en condiciones normales de instalación, no son considerables. En el caso que deban acelerarse masas rotativas considerables (compresores de aire, compresores para hielo, máquinas provistas de volantes importantes) la duración de la puesta en marcha es mayor.

Estos pequeños tiempos permitidos tienen la finalidad de proteger al motor contra el sobrecalentamiento de la máquina debido a las elevadas corrientes que se presentan durante el arranque y la puesta en marcha del motor. Por esta razón no debe permitirse una duración prolongada de este período de puesta en marcha.

Como se sabe el sobrecalentamiento origina una reducción de la vida útil del aislamiento tanto de las bobinas del estator como de las placas de los núcleos del estator y del rotor.

El deterioro del aislamiento de las bobinas del estator puede terminar produciendo un cortocircuito que malogre el motor "quemándolo" o electrizando la carcasa de la máquina (al reducir severamente la resistencia del aislamiento) con el consiguiente peligro para el (los) operador (es).

El cálculo exacto del tiempo de puesta en marcha cuando se quiere seleccionar un motor carece de sentido considerando que el método de selección utiliza una serie de aproximaciones, aunque tolerables, tanto para el motor como para la carga. De modo que este tiempo se determinará considerando valores promediados de los torques y de la aceleración.

Suponiendo que el motor se arranca con carga nominal, y que el torque del motor  $T_{mot}$  sea mayor que el torque resistente de la carga  $T_{carg}$  en el momento del arranque, esto significa que sobre las masas giratorias del sistema estará aplicado un torque acelerador  $T_{ac}$  que las sacará del reposo aumentando su velocidad angular  $\omega$  con una aceleración angular  $\alpha$ , hasta que el conjunto motor-carga alcance una velocidad constante de equilibrio  $\omega(n)$ , la velocidad nominal.

La aceleración angular promedio  $\alpha$  (rad/s<sup>2</sup>) es igual, por un lado, a la velocidad angular  $\omega(n)$  (rad/s) alcanzada entre el tiempo de puesta en marcha  $t_{pm}$  (s):

$$\alpha = \frac{\omega(n)}{t_{pm}} \quad (\text{rad/s}^2)$$

por otro lado, la aceleración angular promedio es también igual al torque acelerador promedio  $\bar{T}_{ac}$  (N.m) dividido entre el momento de inercia  $I$  (kg.m<sup>2</sup>) del conjunto de todas las masas giratorias, incluyendo el rotor del motor:

$$\alpha = \frac{\bar{T}_{ac}}{I} \quad (\text{rad/s}^2)$$

donde el torque acelerador promedio  $\bar{T}_{ac}$  (N.m) es igual al torque motor promedio  $\bar{T}_{mot}$  (N.m) menos el torque de carga promedio  $\bar{T}_{carg}$  (N.m):

$$\bar{T}_{ac} = \bar{T}_{mot} - \bar{T}_{carg} \quad (\text{N.m})$$

El torque motor promedio  $\bar{T}_{\text{mot}}$  es constante para cada motor; se determina a partir de las características del motor torque mínimo  $T_{\text{min}}$  (N.m) y torque máximo  $T_{\text{max}}$  (N.m):

$$\bar{T}_{\text{mot}} = (0.85)^2 (1/2) (T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) \quad (\text{N. m})$$

El factor **0.85** permite garantizar un funcionamiento fiable del equipo en caso que la tensión de la red caiga hasta un 85% de la tensión nominal. El mismo factor está elevado al cuadrado por cuanto se sabe que el torque depende del cuadrado de la tensión aplicada.

El **torque motor promedio** no depende de la carga. Al variar la carga y el carácter del trabajo, la constancia de la magnitud del **torque motor promedio** conduce al cambio del **torque acelerador**.

El **torque de carga promedio** se determinará como la media de los valores mínimo y de operación del torque resistente, lo cual, como es de suponer, depende exclusivamente de cada carga en particular.

Igualando las dos expresiones obtenidas para la aceleración angular promedio se logra una expresión muy útil del tiempo de puesta en marcha  $t_{\text{pm}}$ :

$$t_{\text{pm}} = \frac{I \cdot \omega(n)}{T_{\text{ac}}} \quad (\text{s})$$

Se observa que una forma de reducir el tiempo de puesta en marcha es disminuyendo, si fuera posible, el momento de inercia de las masas giratorias.

A continuación se menciona algunos datos que pueden ser de interés en el cálculo del tiempo de puesta en marcha:

El momento de inercia  $I$  ( $\text{kg.m}^2$ ) de una masa volante con respecto a su eje es:

$$I = 12.25 \cdot 10^{-17} \quad r^4 \cdot b \quad (\text{kg.m}^2)$$

donde:

$r$  : es el radio (m); y

$b$  : es el ancho (m).

El momento de inercia  $I$  ( $\text{kg.m}^2$ ) de una masa volante girando a una velocidad  $\omega$  (rad/s) puede quedar referido al eje del motor cuya velocidad es  $\omega'$  (rad/s) como el momento de inercia  $I'$  ( $\text{kg.m}^2$ ) aplicando la siguiente relación:

$$I' = I \cdot \left( \frac{\omega}{\omega'} \right)^2$$

Y el momento de inercia  $I'$  (kg.m<sup>2</sup>) con respecto al eje del motor de una masa  $M$  (kg) que se traslada a una velocidad  $v$  (m/s) se puede encontrar aplicando la siguiente expresión:

$$I' = M \cdot \left(\frac{v}{\omega'}\right)^2$$

El momento volante  $PD^2$  (kg-f.m<sup>2</sup>) se utiliza mucho en los catálogos de los motores para designar el momento de inercia del rotor. Cuando se requiera utilizar el momento de inercia del rotor del motor, en kg.m<sup>2</sup>, en los cálculos, bastará con dividir el  $PD^2$  entre 4 (cuatro).

6 - Verificar la magnitud recomendada de la aceleración en el arranque (y la deceleración en el frenado) para la carga considerada, lo cual significa, en realidad, un tiempo mínimo de puesta en marcha (y de parada) que se debe exigir al motor también.

Esta aceleración depende de la naturaleza y forma de la carga así como del tipo de máquina.

Como se sabe, el tiempo de puesta en marcha es inversamente proporcional al torque acelerador, de modo que un tiempo muy breve de puesta en marcha puede llegar a significar un brusco torque de arranque, lo cual puede producir esfuerzos peligrosos no sólo en los mecanismos, sino en las cargas mismas.

Así, por ejemplo, en el carro de un puente-grúa, un brusco torque de arranque puede hacer resbalar las ruedas por los rieles; en un ascensor para personas, un elevado torque de arranque produce efectos indeseables en la respiración y la circulación, etc.

A manera de ejemplo, se dan las Tablas 9.2 y 9.3 conteniendo información sobre aceleraciones máximas permitidas para los mecanismos de elevación y transporte.

En caso que no hubiera forma de reducir la aceleración durante la puesta en marcha del sistema se procederá a incrementar el momento de inercia de las masas giratorias agregando una masa volante.

La selección de un motor eléctrico en aquellas aplicaciones en las que las necesidades de la carga son perfectamente conocidas y el ciclo de servicio es más o menos repetido, se efectúa de un modo distinto que para el caso general:

1° Un primer acercamiento al cálculo del motor es la elección de la potencia requerida por las diferentes cargas a una velocidad constante (la recomendada) después de la puesta en marcha.

2° Se calcula la potencia de régimen permanente para cada carga teniendo en cuenta el rendimiento total del mecanismo, el cual, por ser menor que uno, tenderá a elevar el valor de la potencia necesaria.

**Tabla 9.2**

Valores aconsejados de aceleración  $a$  ( $m/s^2$ ) en la puesta en marcha de los mecanismos que efectúan la ascensión de una carga nominal.

Grúas de montaje, grúas que trabajan con metal fundido	0.1
Grúas para talleres mecánicos de montaje, varaderos o hangares y almacenes	0.2
Grúas para talleres metalúrgicos (excepto las grúas que trabajan con metal fundido)	0.5
Mecanismo de elevación de la grúa apiladora	0.5
Grúas de mandíbulas	0.8
Cabina de un ascensor con velocidad nominal hasta 1 m/s	1.5 max
Cabina de un ascensor con velocidad nominal mayor de 1 m/s	2.0 max

3° Se verifica el motor por el calentamiento. El motor, debido al tipo de aislamiento que posee, no debe sobrepasar un cierto límite de calentamiento.

El calentamiento, como se sabe, es provocado por los continuos arranques o por la operación con cargas muy grandes o sobrecargas.

Este cálculo se basa en la **potencia térmicamente equivalente** o potencia equivalente por el calentamiento según la cual un motor, que en marcha continua, puede suministrar dicha potencia térmica media, es suficiente, desde el punto de vista térmico, para el ciclo examinado. Esto se ha suponiendo que el motor alcanza la misma temperatura en marcha intermitente que en marcha continua.

Para estimar la potencia necesaria de un motor de velocidad constante, se puede suponer que el calentamiento del inducido queda determinado por las pérdidas del motor variables durante las diversas fases del ciclo, incluyendo la variación de la ventilación con la velocidad del motor.

Las pérdidas variables dependen de la potencia mecánica de salida. Al igual que las corrientes que variaban periódicamente, el calentamiento medio puede ahora determinarse hallando el valor eficaz de la curva potencia útil-tiempo, es decir, teniendo en cuenta las potencias desarrolladas por el motor en distintos

**Tabla 9.3**

Magnitud recomendada de aceleración (m/s<sup>2</sup>) durante la puesta en marcha (así como la magnitud de deceleración en el frenado), al trabajar sin carga, de los mecanismos de avance o de traslación en plano horizontal.

Grúas y carros que transportan metal líquido, cargas explosivas e inflamables y productos químicos	0.10
Grúas de puente de destino general	0.15
Carros de las grúas de puente	0.12
Puentes transbordadores	0.05
Carros de los puentes transbordadores	0.80
Grúas de pórtico y de torre	0.15
Grúas apiladoras, altura de elevación hasta 6 m	0.4 – 0.8
Grúas apiladoras, altura de elevación de 8 m y más	0.2 – 0.4

períodos de trabajo del mecanismo con cargas de distinta magnitud, y seleccionando un motor de uso general que tenga, por lo menos, tales características nominales:

$$P_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{\sum P_{\text{útil}}^2 \cdot t}{t_{\text{operación}} + t_{\text{reposo}} / k}}$$

donde **k** tiene en cuenta la menor ventilación en reposo y depende del tipo de ventilación del motor; es un factor que interviene sólo cuando existe período de reposo.

4° Por esta potencia se efectúa la elección del motor según el catálogo.

5° Verificar que el motor escogido pueda arrancar. En caso contrario tendrá que probarse el motor de potencia inmediata superior.

6° Verificar el tiempo máximo de puesta en marcha. Si este tiempo supera el máximo recomendado, se procede a escoger un motor más grande, en su defecto, podría reducirse el momento de inercia de las masas giratorias, si fuera posible.

7° Verificar el tiempo mínimo de puesto en marcha. En caso que el motor elegido fuese tan grande, que estuviera produciendo una aceleración excesiva para los mecanismos y la carga, entonces la mejor solución sería aumentar la inercia del conjunto giratorio agregando una volante.