

# BALDOR®



## ARTÍCULOS TÉCNICOS DE COWERN





---

Baldor Electric Company  
5711 R.S. Boreham Jr. Street  
Fort Smith, AR 72901  
Phone (479) 646-4711  
Fax (479) 648-5792  
[www.baldor.com](http://www.baldor.com)

Adjunto a la presente una colección de artículos que escribí sobre diversos temas relacionados con motores. En su mayoría, fueron redactados respondiendo a preguntas respecto a motores formuladas por clientes.

Espero que le resulten útiles y agradeceré sus comentarios o sugerencias sobre otros tópicos, correcciones o mejoras para el futuro.

Si tuviera preguntas sobre motores que no se encuentren ya cubiertas en estos artículos, tenga a bien comunicarse con nosotros y haremos lo posible por responderlas.

Gracias por comprar motores Baldor.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ed Cowern". The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

Edward Cowern, P.E.



"To be the best as determined by our customers"

# ACERCA DEL AUTOR

## Edward H. Cowern, P.E.

Ed Cowern fue el Gerente de Distrito de Baldor para la zona de Nueva Inglaterra, EE.UU. desde 1977 hasta 1999. Antes de incorporarse a Baldor, estuvo empleado por otra compañía especializada en motores donde adquirió experiencia en diversos tipos de motores y productos afines.

Se graduó en la Universidad de Massachusetts como Bachiller de Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Está asimismo registrado como Ingeniero Profesional en el estado de Connecticut, y es miembro del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) y de la Sociedad de Ingeniería del Oeste de Massachusetts.

Ed es un excelente y conocido escritor técnico, con numerosas publicaciones en revistas técnicas como "Machine Design", "Design News", "Power Transmission Design", "Plant Engineering", "Plant Services" y "Control Engineering". Ha sido también citado en la revista "Fortune". Por otra parte, ha escrito muchos y valiosos artículos técnicos para Baldor, cuyo personal de ventas y mercadotecnia los utiliza con frecuencia.

Ed reside con su esposa Irene en la ciudad de North Haven, Connecticut. Se lo puede contactar escribiéndole a la dirección electrónica [ehcowern@snet.net](mailto:ehcowern@snet.net).

# ÍNDICE DE MATERIAS

## Aspectos Básicos del Motor

Glosario de Terminología de Motores Usada Frecuentemente . . . . .	1
Tipos de Motores . . . . .	5
El Misterio del Tamaño de Carcasa del Motor . . . . .	11
Principios Básicos de los Motores de Dos Velocidades . . . . .	15
Clasificaciones de Temperatura del Motor . . . . .	17
Motores Métricos . . . . .	23
Letras de Código de Rotor Bloqueado y Métodos de Arranque a Voltaje Reducido . . . . .	27

## Aplicaciones

Para Entender el Concepto de Par . . . . .	29
Ventiladores, Sopladores y Otras Cargas Extrañas . . . . .	39
Carga de Potencia Eficaz (RMS) . . . . .	41

## Potencia y Energía

Factores que Determinan las Cuentas de Electricidad Industriales . . . . .	44
Motores Eléctricos y Sistemas de Energía . . . . .	49
Motores Eléctricos y Voltaje . . . . .	53
Corrientes Desequilibradas . . . . .	57
Conservando Energía con Motores de Eficiencia Premium . . . . .	59
Motores de Eficiencia Premium (Preguntas y Respuestas) . . . . .	67
Amperios, Watts, Factor de Potencia y Eficiencia . . . . .	69
Datos Aproximados de Carga Basados en Lecturas del Amperaje . . . . .	71
Corrección del Factor de Potencia en Motores de Inducción Individuales . . . . .	73
Fórmulas Prácticas de Motores y Energía . . . . .	77
Cálculos de la Potencia para Cambios de Velocidad en Cargas de Par Variable . . . . .	79

## Sitios Peligrosos

Cómo Seleccionar Motores para Sitios Peligrosos . . . . .	81
Motores a Prueba de Explosión en Áreas de la División 2 . . . . .	87

## Misceláneos

Fundamentos de las Unidades de Accionamiento de CC . . . . .	88
Atendiendo los Requisitos de 50 Hertz . . . . .	94
Utilizando Motores en Ambientes Húmedos o Mojados . . . . .	96



# GLOSARIO DE TERMINOLOGÍA DE MOTORES USADA FRECUENTEMENTE

## **AMPERIOS**

### **Amperios de Plena Carga**

La cantidad de corriente que puede esperarse que tome el motor en condiciones de plena carga (par). Se conoce también como amperaje nominal.

### **Amperios con Rotor Bloqueado**

La cantidad de corriente que puede esperarse que tome el motor durante el arranque al aplicar pleno voltaje; se conoce también como corriente de irrupción de arranque.

### **Amperios de Factor de Servicio**

La cantidad de corriente que toma el motor al someterlo a un porcentaje de sobrecarga igual a su factor de servicio nominal indicado en la placa de fábrica. Por ejemplo, muchos motores tienen un factor de servicio de 1.15, Es decir que pueden soportar una sobrecarga de 15%. El amperaje de factor de servicio es la cantidad de corriente que el motor consume bajo las condiciones de carga definidas por su factor de servicio.

**CARGAS DE ALTA INERCIA** Son cargas que tienen un efecto de volante relativamente alto. Pueden clasificarse como cargas de alta inercia los grandes ventiladores, sopladores, presas punzonadoras, unidades centrífugas, máquinas lavadoras comerciales y otras cargas de tipo similar.

## **CLASE DE AISLAMIENTO**

La mayoría de los motores están clasificados para servicio continuo, lo que significa que pueden funcionar continuamente con un par de plena carga sin experimentar recalentamiento. Los motores que se utilizan en ciertas aplicaciones como eliminación de residuos, actuadores de válvulas, grúas y otros tipos de cargas intermitentes, son frecuentemente clasificados para servicio de corta duración, como 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, o 1 hora. Tal como en el caso de un ser humano, un motor puede realizar trabajo muy duro siempre que no sea en forma continua.

**CLASIFICACIÓN DE TIEMPO** La mayoría de los motores están clasificados para servicio continuo, lo que significa que pueden funcionar continuamente con un par de plena carga sin experimentar recalentamiento. Los motores que se utilizan en ciertas aplicaciones como eliminación de residuos, actuadores de válvulas, grúas y otros tipos de cargas intermitentes, son frecuentemente clasificados para servicio de corta duración, como 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, o 1 hora. Tal como en el caso de un ser humano, un motor puede realizar trabajo muy duro siempre que no sea en forma continua.

## **DESLIZAMIENTO**

Este término se usa de dos modos diferentes. Uno de ellos es el RPM de deslizamiento, que es la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad de plena carga. Cuando este RPM de deslizamiento se expresa como un porcentaje de la velocidad sincrónica, se lo denomina porcentaje de deslizamiento o simplemente "deslizamiento". La mayor parte de los motores estándar funcionan con un deslizamiento de plena carga de 2% a 5%.

## **DISEÑO**

La letra de diseño es una indicación de la forma de la curva de par-velocidad. La Figura 1 muestra las formas típicas para las letras de los diseños trifásicos más comunes. Ellas son A, B, C y D. El Diseño B es el motor para servicio industrial normal que ofrece un razonable par de arranque con corriente de arranque moderada y un buen desempeño general en la mayoría de las aplicaciones industriales. El Diseño C se usa para cargas de difícil arranque y está diseñado específicamente con alto par de arranque. El Diseño D es el llamado motor de alto deslizamiento, que ofrece un muy alto par de arranque pero tiene alto deslizamiento en RPM con par de plena carga. Podría decirse que este motor exhibe características de "esponjosidad" cuando cambian las cargas. Los motores de Diseño D son particularmente adecuados para aplicaciones en prensas punzonadoras de baja velocidad y en grúas y ascensores. En general, la eficiencia a plena carga de los motores de Diseño D es muy baja, por lo que normalmente se los usa en aplicaciones donde las características de par son de importancia fundamental. Los motores de Diseño A se especifican con poca frecuencia, pero los motores especiales para aplicaciones en moldeo por inyección tienen características similares a este Diseño. La característica más importante del Diseño A es su alto par de desenganche.

## **EFICIENCIA**

La eficiencia o rendimiento es el porcentaje de la potencia de entrada que es efectivamente convertida en salida de trabajo en el eje del motor. El valor de la eficiencia está indicado en la placa de fábrica de la mayoría de los motores eléctricos de producción nacional.

**FACTOR DE POTENCIA** El porcentaje de factor de potencia es una medida del amperaje magnetizante requerido por un motor específico.

**FACTOR DE SERVICIO** Es un multiplicador que indica la cantidad esperada de sobrecarga que puede manejar un motor. Por ejemplo, no se puede esperar que un motor con factor de servicio de 1.0 trabaje en forma continua excediendo su potencia (hp) nominal. De modo similar, se puede esperar que un motor con factor de servicio de 1.15 maneje con seguridad cargas intermitentes hasta 15% mayores que su potencia nominal.

**FASE** Indica el tipo de fuente de alimentación para el que ha sido diseñado el motor. Existen dos grandes categorías: monofásica y trifásica. Hay casos poco comunes en que la alimentación disponible es bifásica, pero esto es muy insignificante.

**FRECUENCIA** Es la frecuencia para la cual el motor fue diseñado. La frecuencia más común en EE.UU. es de 60 Hz (ciclos por segundo), pero a nivel internacional pueden encontrarse otras frecuencias, como ser las de 40 y 50 Hz.

**LETRA DE CÓDIGO** La letra de código indica la cantidad de corriente con rotor bloqueado o corriente de irrupción que demanda un motor al arrancar. (Para mayores detalles, ver el artículo "Letras de Código de Rotor Bloqueado").

**PAR** El par o torque es la fuerza de torsión ejercida por el eje de un motor. El par se mide en libra-pulgadas, libra-pies, y en el caso de motores pequeños, en onza-pulgadas. (Para mayor información, ver "Para Entender el Concepto de Par").

**PAR DE ARRANQUE** La cantidad de par que el motor produce cuando está energizado a pleno voltaje y con su eje inmovilizado se denomina par de arranque. Este valor se expresa también frecuentemente como "par con rotor bloqueado". Es la cantidad de par disponible cuando se aplica potencia para arrancar la carga y se comienza a acelerar hasta alcanzar la velocidad necesaria.

**PAR DE DESENGANCHE** También conocido como par máximo, es la máxima cantidad de par disponible desde el eje del motor cuando el motor está operando a pleno voltaje y marcha a plena velocidad. La carga se incrementa entonces hasta alcanzar el punto máximo. Ver la Figura 2.

**PAR DE PLENA CARGA** Es el par continuo nominal que el motor puede, dentro de su clasificación de tiempo, soportar sin recalentarse.

**PAR DE PUNTA** Muchos tipos de cargas, como ser los compresores alternativos, tienen pares oscilantes o cíclicos en que la cantidad requerida de par varía dependiendo de la posición de la máquina. El máximo requisito efectivo de par en un punto determinado se denomina par de punta requerido. Los pares de punta (o de cresta, o pico) están involucrados en prensas punzonadoras y otros tipos de cargas que requieren pares oscilantes.

**PAR MÍNIMO DE ACELERACIÓN** El punto más bajo en la curva de par-velocidad para un motor que está acelerando una carga hasta alcanzar plena velocidad se denomina par mínimo de aceleración. Algunos diseños de motores no tienen un valor de par mínimo de aceleración pues el punto más bajo puede estar al nivel del punto de rotor bloqueado. En este caso, el par mínimo de aceleración es el mismo que el par con rotor bloqueado.

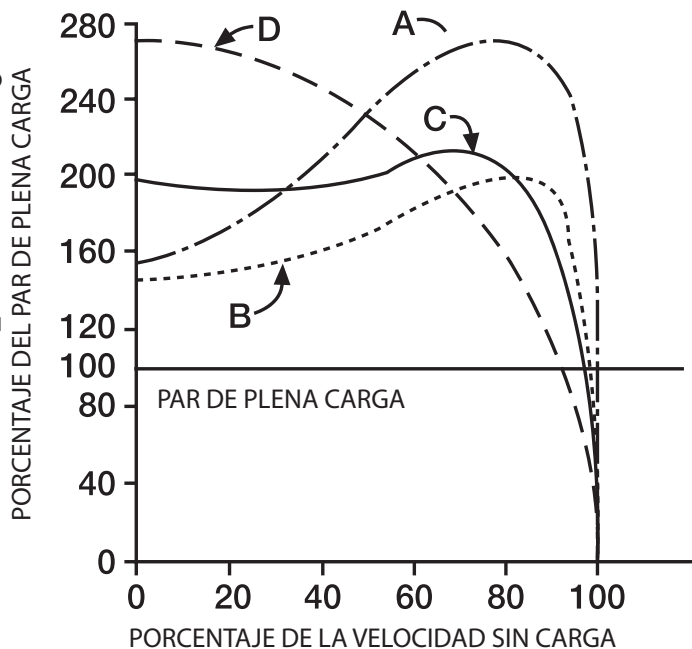
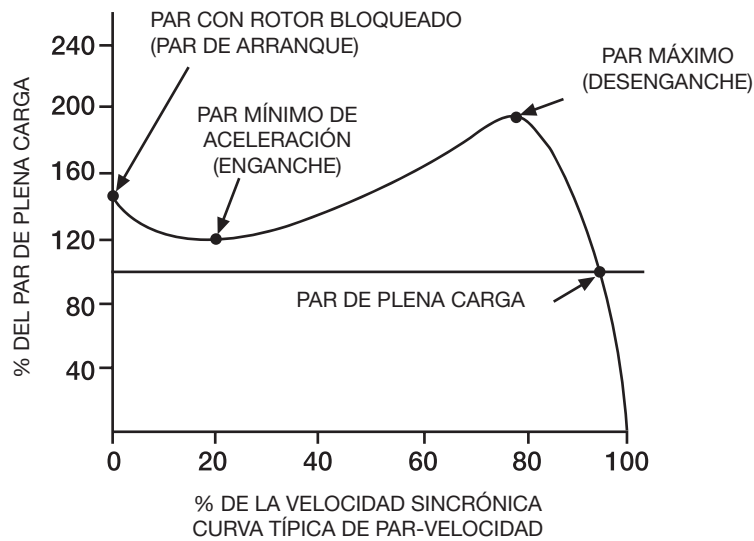


Figura 1



## POLOS

Se refiere al número de polos magnéticos que aparecen en el motor cuando se le aplica energía. Los polos vienen siempre en grupos de dos (un polo norte y un polo sur). Por lo tanto, el número de polos en un motor es siempre par: 2, 4, 6, 8, 10, etc. En los motores de CA, la velocidad sincrónica está determinada conjuntamente por el número de polos y la frecuencia. Para sistemas de 50 y 60 Hz, las disposiciones comunes son las siguientes:

<u>Polos</u>	<u>Velocidad Sincrónica</u>	
	<u>60 ciclos (Hz)</u>	<u>50 ciclos (Hz)</u>
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600

**TAMAÑO DE CARCASA** Los motores, tal como la ropa, los zapatos y los sombreros, vienen en diversos tamaños de acuerdo a lo que requieren las aplicaciones específicas. En general, el tamaño de carcasa es más grande cuanto mayor es la potencia (hp) o menor es la velocidad del motor. Para promover la estandarización en la industria del motor, NEMA (National Electrical Manufacturers Association) prescribe tamaños estándar de carcasa para determinadas dimensiones de los motores normales. Por ejemplo, en los motores con tamaño 56 de carcasa, la altura del eje sobre la base es siempre de 3-1/2 pulgadas. (Para mayores detalles, ver el artículo “El Misterio del Tamaño de Carcasa del Motor”).

## TEMPERATURA

**Temperatura Ambiente** Es la máxima temperatura segura en torno al motor si se lo hará funcionar continuamente a plena carga. En la mayoría de los casos, la temperatura ambiente nominal estandarizada es de 40° C (104° F) - que es por cierto un ambiente muy cálido. Ciertas aplicaciones, por ejemplo a bordo de un barco o en una sala de calderas, pueden requerir motores con mayor capacidad de temperatura ambiente, como ser 50° C ó 60° C.

**Incremento de Temperatura** Es la magnitud esperada del cambio de temperatura en el devanado del motor desde su condición no operativa (fría) hasta su condición operativa continua de plena carga. El incremento de temperatura es expresado normalmente en grados centígrados. (Para mayores detalles, ver el artículo “Clasificaciones de Temperatura del Motor”).

## TIPOS DE CARGA

**Potencia Constante** El término potencia (hp) o caballaje constante se usa para ciertos tipos de cargas donde el par requerido decrece al aumentar la velocidad, y viceversa. La carga de potencia constante se relaciona generalmente con aplicaciones de remoción de metal, como las prensas taladradoras, los tornos, las máquinas fresadoras y otras aplicaciones de tipo similar.

**Par Constante** Este término se usa para definir las características de una carga en que el par requerido para accionar una máquina permanece constante sin importar la velocidad a la que es accionada. Por ejemplo, el par requerido por la mayoría de las máquinas transportadoras es constante.

**Par Variable** Corresponde a las cargas cuyas características requieren pares bajos a bajas velocidades, y mayores valores de par a medida que la velocidad aumenta. Los ventiladores centrífugos y las bombas centrífugas son ejemplos típicos de cargas de par variable.

**VELOCIDAD DE PLENA CARGA** Es una indicación de la velocidad aproximada a la que funciona el motor cuando está produciendo el par o la potencia (hp) nominal plena de salida.

**VELOCIDAD SINCRÓNICA** Es la velocidad a la que gira el campo magnético del motor. Es también la velocidad aproximada a la que funciona el motor estando sin carga. Por ejemplo, en un motor de 4 polos trabajando a 60 Hz, la velocidad del campo magnético es de 1800 RPM. La velocidad sin carga del eje de este motor será muy próxima a 1800, probablemente 1798 ó 1799 RPM. La velocidad de plena carga del mismo motor puede ser de 1745 RPM. La diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad de plena carga se denomina RPM de deslizamiento del motor.

**VOLTAJE** Se refiere al voltaje (tensión) nominal para el que está diseñado el motor.

# TIPOS DE MOTORES

La pieza de equipo eléctrico más confiable en servicio hoy en día, es el transformador. La segunda pieza más confiable es el motor de inducción trifásico. Si se los aplica y mantiene adecuadamente, los motores trifásicos duran muchos años. Un elemento clave en la longevidad del motor es su enfriamiento apropiado. Los motores se clasifican por lo general de acuerdo al método usado para disipar su calor interno.

Hay varios tipos estándar disponibles de cajas de motores para utilizar en el rango de aplicaciones que incluye desde las “limpias y secas” como los distribuidores de aire interior, hasta las “húmedas o peores” como las localizadas en techos y torres de refrigeración húmeda.

Los motores tipo Abierto a Prueba de Goteo (ODP) son adecuados para ambientes limpios y secos. Como su nombre lo sugiere, los motores a prueba de goteo pueden soportar cierto goteo de agua en tanto caiga desde arriba o con máxima desviación vertical de 15 grados. Estos motores normalmente tienen aberturas de ventilación dirigidas hacia abajo. Las cubiertas pueden por lo general rotarse para mantener la integridad “a prueba de goteo” si se monta el motor en una posición diferente. Estos motores son enfriados por un flujo continuo del aire circundante a través de sus partes internas.

Los motores tipo Totalmente Cerrado, Enfriado por Ventilador (TEFC) son enfriados por un ventilador externo montado en el extremo opuesto al eje. El ventilador sopla aire ambiente hacia la superficie exterior del motor para extraer el calor. Como no hay movimiento de aire en su interior, los motores TEFC son apropiados para aplicaciones al aire libre y donde haya suciedad y polvo. Existen diversos tipos especiales de motores TEFC, incluyendo los Protegidos contra la Corrosión y los Lavables. Estos motores tienen características especiales para trabajar en ambientes difíciles. Los motores TEFC generalmente tienen “agujeros de desagüe” en sus puntos más bajos para evitar los charcos de condensación dentro del motor. Tal como en los motores ODP (abiertos a prueba de goteo), si los motores TEFC se montan en posición no horizontal las cubiertas pueden por lo general reubicarse para mantener los agujeros de desagüe en el punto más bajo.

Los motores tipo Totalmente Cerrado, para Movimiento de Aire (TEAO) se instalan en la corriente de aire en máquinas como los ventiladores de paletas axiales, donde el aire impulsado por un ventilador en conexión directa pasa sobre el motor y lo enfría. Los motores TEAO frecuentemente ofrecen doble caballaje dependiendo de la velocidad y temperatura del aire refrigerante. Los valores típicos de un motor pueden ser: 10 HP con 750 pies por minuto (FPM) de aire a 104°F, 10 HP con 400 FPM de aire a 70°F, o 12.5 HP con 3000 FPM de aire a 70°F. Los motores TEAO están normalmente limitados a aplicaciones tipo OEM (componente de equipo

original) porque los flujos y temperaturas del aire deben predeterminarse.

Los motores tipo Totalmente Cerrado, sin Ventilación Externa (TENV) se limitan por lo general a tamaños pequeños (normalmente a menos de 5 HP), con el área superficial suficientemente grande para la irradiación y convección del calor hacia afuera sin necesidad de un flujo de aire o ventilador externo. Son populares en aplicaciones textiles porque las pelusas no pueden obstruir el proceso de enfriamiento.

Los Motores para Sitios Peligrosos son un tipo especial de motor totalmente cerrado. Se clasifican en distintas categorías según la aplicación y el ambiente, como lo define el Artículo 500 del Código Eléctrico Nacional.

Los dos motores más comunes para sitios peligrosos [áreas peligrosas] son los de Clase I, a Prueba de Explosión, y los de Clase II, Resistentes a la Ignición del Polvo. El término “a prueba de explosión” se usa en forma común pero errónea para todas las categorías de motores para sitios peligrosos. “A prueba de explosión” debe aplicarse tan sólo a los ambientes Clase I, que involucran líquidos, vapores y gases potencialmente explosivos. Los de Clase II se denominan Resistentes a la Ignición [o Inflamación] del Polvo. Estos motores se utilizan en ambientes que contienen polvos combustibles como carbón, granos, harina, etc.

## Motores Monofásicos

Los motores trifásicos arrancan y giran en una dirección que se basa en la “rotación de fase” de la potencia de entrada. Los motores monofásicos son diferentes y requieren un medio auxiliar de arranque. Una vez que arrancan en una dirección determinada, continúan girando en esa dirección. Los motores monofásicos se categorizan según el método que se usa para su arranque y para establecer su dirección de rotación.



Categoría	Rango de HP Aproximado	Eficiencia Relativa
Polo Sombreado	1/100 - 1/6 HP	Baja

Fase Dividida	1/25 - 1/2 HP	Media
Condensador	1/25 - 15 HP	Media a Alta

Las tres categorías, que se encuentran generalmente en aplicaciones de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), son:

Polo sombreado es el método más simple de arranque de motores monofásicos. Estos motores se usan sólo en aplicaciones pequeñas y sencillas, como los ventiladores de extracción de aire en los baños. En el motor de polo sombreado, los polos del campo del motor tienen muescas y anillos cortocircuitadores de cobre que rodean una pequeña sección de los mismos, como muestra la Figura A-1.

La configuración alterada de los polos demora la formación del campo magnético en la parte de los polos rodeada por los anillos cortocircuitadores de cobre. Esto hace que el campo magnético en torno al rotor parezca girar desde el polo principal hacia el polo sombreado. Esta rotación aparente del campo inicia el movimiento del rotor. Una vez que ha arrancado, el motor acelera hasta alcanzar su plena velocidad.

El motor de fase dividida tiene dos diferentes devanados en el estator (parte fija del motor). Ver la Figura A-2. El devanado que se muestra en negro es para arranque únicamente: usa alambre de menor calibre y su resistencia eléctrica es mayor que la del

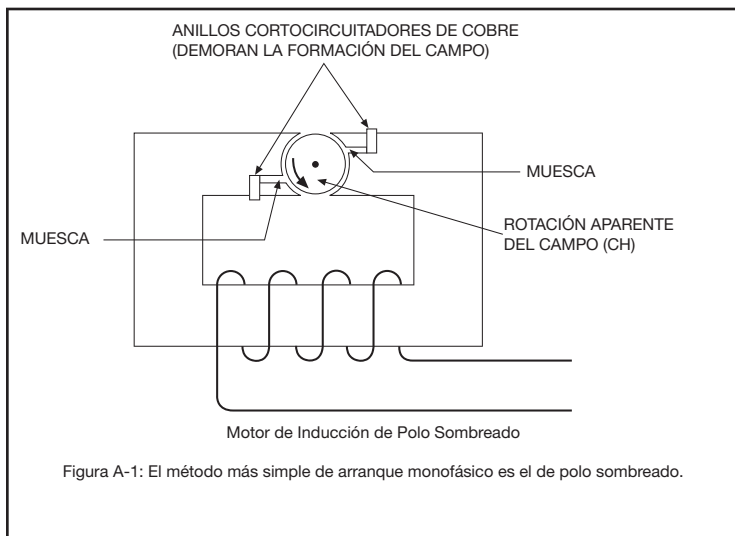


Figura A-1: El método más simple de arranque monofásico es el de polo sombreado.

Figura A-1: El método más simple de arranque monofásico es el de polo sombreado.

devanado principal. La diferencia en la ubicación del devanado de arranque y sus características eléctricas alteradas demoran el flujo de corriente entre los dos devanados. Este retardo de tiempo y la ubicación física del devanado de arranque hacen que el campo que rodea al rotor se desplace y haga arrancar el motor. Un conmutador centrífugo (u otro dispositivo) desconecta el devanado de arranque

cuando el motor alcanza un 75% de su velocidad nominal, aproximadamente. El motor continúa funcionando como un motor de inducción normal.

Los motores de fase dividida vienen generalmente en capacidades de 1/25 a 1/2 HP. Su ventaja principal es el bajo costo. Sus desventajas son: bajo par de arranque y alta corriente de arranque. Estas

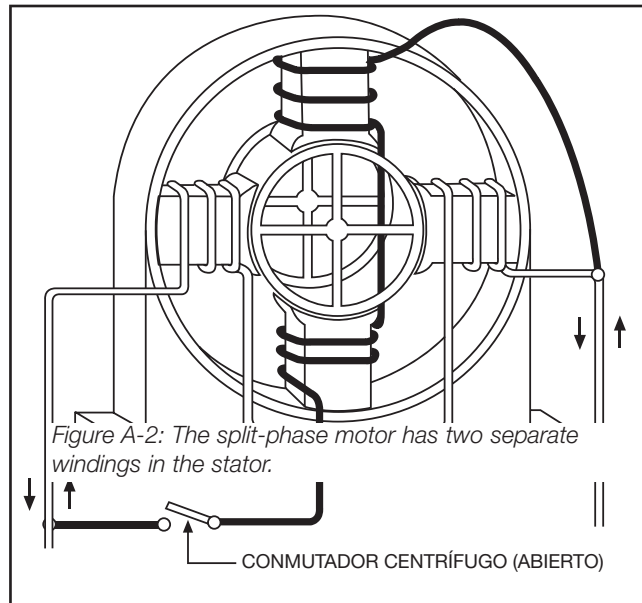


Figure A-2: The split-phase motor has two separate windings in the stator.

desventajas por lo general limitan los motores de fase dividida a aquellas aplicaciones donde la carga requiere sólo un bajo par de arranque y los arranques son infrecuentes.

Los motores de condensador [capacitor] son los motores monofásicos más populares. Se los utiliza en muchas aplicaciones agrícolas, comerciales e industriales que no disponen de energía trifásica. Los motores de condensador están disponibles desde potencias subfraccionarias hasta 15 HP.

Categoría	Rango Usual en HP
Arranque por condensador- marcha por inducción	1/8 - 3 HP

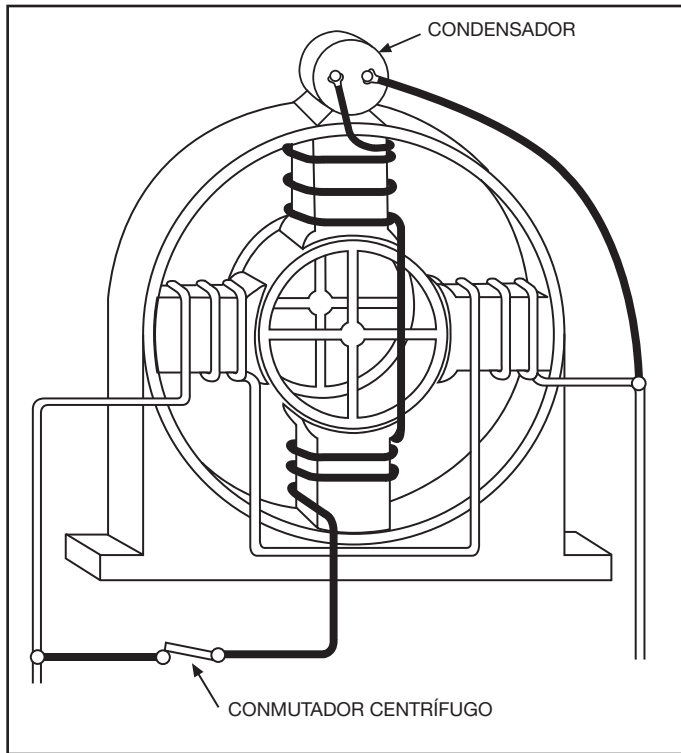


Figura A-3: Un motor de arranque por condensador tiene un condensador en serie con el devanado de arranque.

Condensador de valor único condensador dividido permanente o PSC)	1/50 - 1 HP
Condensador de dos valores (también llamado arranque por condensador - marcha por condensador)	2 - 15 HP

Los motores de condensador se dividen en tres categorías:

Los Motores de Arranque por Condensador - Marcha por Inducción constituyen el mayor grupo de motores monofásicos de uso general. La disposición del devanado y el conmutador centrífugo es similar a la de un motor de fase dividida, pero un motor de arranque por condensador tiene un condensador en serie con el devanado de arranque.

El condensador de arranque crea un retardo de tiempo entre la magnetización de los polos de arranque y los polos de marcha, dando la apariencia de un campo rotativo. El rotor comienza a girar en la misma dirección. Cuando el rotor está alcanzando la velocidad de marcha, el conmutador de arranque se abre y el motor pasa a funcionar en el modo de inducción normal.

Este motor de precio módico produce un par de arranque relativamente alto (225 a 400% del par de plena carga) con moderada corriente de irrupción. Los motores de arranque por condensador son ideales para cargas difíciles de arrancar, como los compresores de refrigeración. Por sus otras características ventajosas, se utilizan asimismo en aplicaciones que pueden no requerir un alto par de arranque. El motor de arranque por condensador puede usualmente reconocerse por la saliente bulbosa en la carcasa, que aloja el condensador de arranque.

En algunas aplicaciones, no conviene instalar un conmutador centrífugo dentro del motor. Estos

motores tienen un relé operado por la corriente de irrupción del motor. El relé conmuta el condensador de arranque en el circuito durante el período de arranque. Cuando el motor está alcanzando plena velocidad, la corriente de irrupción disminuye y el relé se abre para desconectar el condensador de arranque.

Los Motores de Condensador de Valor Único, también llamados motores de Condensador Dividido Permanente (PSC), utilizan un condensador conectado en serie con uno de los dos devanados. Este tipo de motor se usa generalmente para capacidades bajas (menos de 1 HP). Es ideal para pequeños ventiladores, sopladores y bombas. El par de arranque en este tipo de motor es por lo general de un 100% del par de plena carga, o menos. Los Motores de Condensador de Dos Valores se utilizan en motores monofásicos de alta potencia (5 - 15 HP). La Figura A-4 muestra este tipo de motor. El devanado de marcha, que se muestra en blanco, está energizado directamente desde la línea. Un segundo devanado, que se muestra en negro, sirve como devanado combinado de arranque y marcha, y está energizado mediante dos condensadores en paralelo. Una vez que el motor arranca, un conmutador desconecta uno de los condensadores dejando que el motor funcione con el condensador restante en serie con este devanado del motor. El motor de condensador de dos valores arranca como un motor de arranque por condensador pero funciona como una especie de motor bifásico o tipo PSC. En base a esta combinación, es posible fabricar a precio razonable motores monofásicos

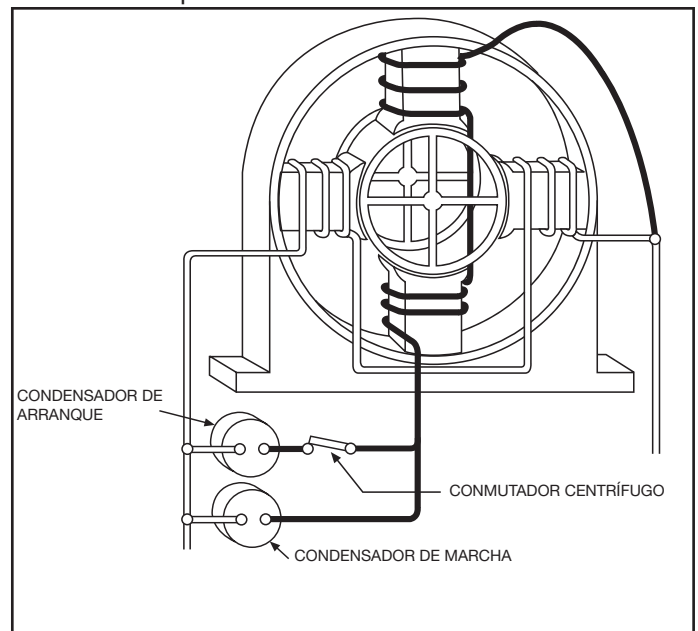


Figura A-4: El condensador de dos valores se utiliza en motores monofásicos de alta potencia.

grandes que tienen un alto par de arranque y moderada corriente de arranque.

En los motores de condensador de dos valores se utiliza frecuentemente una caja de conexiones extragrande para alojar los condensadores de arranque y de marcha.

Motores que operan con Controles de Frecuencia Ajustable (AFDs). En la infancia de los controles de

frecuencia ajustable o AFDs se decía que una de sus ventajas era que podían regular la velocidad de los motores de inducción trifásicos “estándar”. Esta afirmación era muy cierta cuando los controles de frecuencia ajustable eran diseños “de 6 pasos”. Ello tiene todavía cierta validez, si bien los AFDs tipo PWM (modulación de impulsos en anchura o duración) han cambiado un poco las reglas. Los controles tipo PWM - especialmente los de 460 y 575 voltios - son eléctricamente más rigurosos sobre los devanados del motor.

Los motores “estándar” pueden aún usarse con AFDs en muchas aplicaciones - especialmente bombas, sopladores y ventiladores para calefacción, ventilación y aire acondicionado - si se trata de motores de diseño conservador y alta calidad que utilicen alambre para devanados resistente a puntas de voltaje (Inverter Spike Resistant o ISR). En estas cargas de par variable, una reducción relativamente pequeña en la velocidad resulta en una gran reducción en el par que se requiere del motor. Por ejemplo, una disminución del 15% en la velocidad reduce el par requerido en más de un 25%, así que no se lo esfuerza térmicamente al motor. Asimismo, las cargas de par variable raras veces exigen un amplio rango de velocidad. Como al reducirse la velocidad hay una caída substancial en el desempeño de las bombas, los sopladores y los ventiladores, raramente se requiere hacer una reducción a menos de un 40% de la velocidad base.

Es lógico preguntarse: “¿Qué significa diseño conservador y de alta calidad?”. Básicamente, quiere decir que el motor debe contar con aislamiento de fases, debe operar con un incremento de temperatura relativamente bajo (como es el caso en la mayoría de los motores de eficiencia premium), y debe utilizar una alta clase de aislamiento (ya sea F o H).

Por otra parte, generalmente conviene tener un termostato en el devanado del motor para detectar posibles condiciones de recalentamiento. El recalentamiento puede resultar de sobrecargas, de alta temperatura ambiente o de pérdida de ventilación.

Los “Motores - Inversores” (“Inverter Duty Motors”) disponibles actualmente en el mercado tienen diseños “de eficiencia premium” así como carcasas extragrandes o sopladores externos para enfriar el motor sin importar cual sea su velocidad. Estos motores están diseñados primordialmente para cargas de par constante, no sujetas a las leyes de afinidad. Los “Motores - Inversores” por lo común tienen termostatos en el devanado que apagan el motor mediante el circuito de control del AFD si la temperatura dentro del motor es elevada. Dichos motores tienen asimismo materiales aislantes para alta temperatura que operan a bajas temperaturas, lo que reduce el esfuerzo en el sistema de aislamiento. Si bien algunas de las características de diseño de los motores - inversores son útiles en aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado, éstas aplicaciones por lo general no requieren “motores - inversores”.

Deberán tomarse ciertas precauciones. En general,

la energía proveniente de un AFD es algo más dura para el motor que la que proviene de una fuente pura de 60 ciclos. Por eso no conviene hacer trabajar los motores con AFDs al nivel de su factor de servicio. Asimismo, si un motor viejo (que ha estado en servicio por largo tiempo) va a ser realimentado desde un control de frecuencia ajustable, quizás convenga instalar un reactor de carga entre el AFD y el motor. El reactor reduce el esfuerzo en los devanados suavizando las variaciones de corriente, lo que prolonga la vida útil del motor.

Los reactores son similares a los transformadores con bobinados de cobre arrollados en torno a un núcleo magnético. Los reactores de carga son de especial importancia cuando los AFDs van a operar en modo “silencioso”. En este modo, la frecuencia portadora muy alta puede crear ondas estacionarias que potencialmente duplican los picos del voltaje aplicado al motor. Este mayor voltaje puede someter a esfuerzo el aislamiento del motor y ocasionar su falla prematura.

#### Factor de Servicio

Algunos motores tienen un factor de servicio mayor de 1.0, o sea que pueden manejar cargas superiores a su HP nominal. Un motor con factor de servicio de 1.15 puede soportar una sobrecarga del 15%, así que un motor de 10 HP con factor de servicio de 1.15 puede manejar cargas de 11.5 HP. Los motores abiertos a prueba de goteo tienen normalmente un factor de servicio de 1.15. Los motores TEFC estándar tienen un factor de servicio de 1.0, pero la mayoría de los grandes fabricantes ofrecen ahora motores TEFC con factor de servicio de 1.15.

A menudo, surge la pregunta de si debe usarse el factor de servicio al calcular la carga del motor. La mejor respuesta en general es que para lograr una buena longevidad del motor, el factor de servicio no deberá utilizarse en los cálculos de carga básica. Al no cargarlo hasta su factor de servicio, el motor puede soportar mejor condiciones adversas como las temperaturas ambiente superiores a la normal, el alto o el bajo voltaje, los desequilibrios de voltaje y la sobrecarga ocasional. Es menos probable que estas condiciones dañen el motor o reduzcan su vida útil si no se lo carga hasta su factor de servicio bajo operación normal.

#### Código de Rotor Bloqueado NEMA

La “Letra de Código NEMA” se incluye como información en la placa del motor. Estas letras indican un rango de corrientes de irrupción (de arranque o “con rotor bloqueado”) que se producen al hacer arrancar el motor directamente (en línea) con un arrancador manual o magnético de tipo estándar.

La mayoría de los motores consume 5 a 7 veces el amperaje de plena carga (nominal) en el tiempo que va desde que están parados hasta alcanzar alrededor de un 80% de su velocidad de plena carga. La duración de la corriente de irrupción depende de la cantidad de inercia (efecto de volante) en la carga. En bombas centrífugas con muy baja inercia, la corriente de irrupción dura sólo unos pocos segundos. En sopladores grandes tipo jaula de ardilla, la corriente de irrupción puede durar bastante más.

La letra del código de rotor bloqueado representa el valor de la corriente de irrupción para un motor específico. Cuanto más “baja” es la letra del código, menor es la corriente de irrupción. Las letras más “altas” indican mayores corrientes de irrupción.

Esta tabla presenta una lista de las letras de código de rotor bloqueado NEMA y sus parámetros:

Letra de Código NEMA	KVA/HP con Rotor Bloqueado	Letra de Código NEMA	KVA/HP con Rotor Bloqueado
A	0 - 3.15	L	9.0 - 10.0
B	3.15 - 3.55	M	10.0 - 11.2
C	3.55 - 4.0	N	11.2 - 12.5
D	4.0 - 4.5	O	no se usa
E	4.5 - 5.0	P	12.5 - 14.0
F	5.0 - 5.6	Q	no se usa
G	5.6 - 6.3	R	14.0 - 16.0
H	6.3 - 7.1	S	16.0 - 18.0
I	no se usa	T	18.0 - 20.0
J	7.1 - 8.0	U	20.0 - 22.4
K	8.0 - 9.0	V	22.4 y más

\* Para las fórmulas y más detalles, favor de consultar la página 27.  
Las letras de código que se aplican usualmente a los motores comunes son:

	F	G	H	J	K	L
HP trifásico	15 y más	10 - 7.1/2	5	3	2 - 1.1/2	1
HP Monofásico		5	3	2 - 1.1/2	1, 3/4	1/2

En los motores de Diseño E propuestos, que tendrán eficiencias muy altas, las corrientes de irrupción serán más elevadas que las de los motores ahora existentes. Cuando estos motores salgan al mercado, van a requerir consideraciones especiales para dimensionar sus respectivos interruptores y arrancadores. El Código Eléctrico Nacional de 1998 ha incorporado algunas disposiciones especiales para estos motores de Diseño E propuestos.

#### Clases de Aislamiento

Las partes eléctricas de los motores deben estar aisladas contra el contacto con otros conductores y con la sección magnética del motor. El sistema de aislamiento incluye el barniz que recubre el alambre en los devanados, así como los forros de ranura que aíslan al alambre de los laminados de acero. El sistema de aislamiento incluye también cintas,

revestimientos, amarres, el baño final de barniz y los cables que van de los circuitos eléctricos a la caja de conexiones.

Los sistemas de aislamiento están clasificados por su resistencia a la degradación térmica. Los cuatro sistemas básicos de aislamiento que se encuentran normalmente son los de las Clases A, B, F, y H. La Clase A tiene una clasificación de temperatura de 105°C (221°F) y cada paso de A a B, B a F, y F a H involucra un salto de 25°C (77°F). La clase de aislamiento en un motor deberá poder resistir por lo menos la máxima temperatura ambiente más el incremento de temperatura resultante de la operación continua a plena carga. Seleccionando una clase de aislamiento más alta que la necesaria para cumplir con este mínimo contribuye a prolongar la vida del motor o hacerlo más tolerante a las sobrecargas, las altas temperaturas ambiente y otros problemas que tienden a reducir la vida útil del motor.

Una regla práctica muy usada indica que cada 10°C (50°F) de aumento en la temperatura de operación reduce la vida del aislamiento a la mitad. Inversamente, una disminución de 10°C duplica la vida del aislamiento. Seleccionando un paso más alto en la clase de aislamiento que lo requerido para cumplir con las especificaciones básicas de desempeño de un motor, le da 25°C de capacidad adicional de temperatura. La regla práctica predice que este mejor sistema de aislamiento aumenta la vida térmica esperada del motor aproximadamente en un 500%. En la página 17 hay mayor información sobre la temperatura del motor.

#### Letras de Diseño del Motor

La Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos (NEMA) ha definido cuatro diseños estándar de motores utilizando las letras A, B, C y D. Estas letras se refieren a la forma de las curvas de par y corriente de irrupción en relación a la velocidad del motor. El motor más popular es el de Diseño B. Tiene un par de arranque relativamente alto con corrientes de arranque moderadas. Los restantes diseños se utilizan sólo en aplicaciones algo más especializadas. El motor de Diseño A se usa frecuentemente en máquinas de moldeo por inyección que requieren altos pares de desenganche. El Diseño C corresponde a un motor con alto par de arranque que está usualmente limitado a cargas difíciles de arrancar, como las transportadoras que trabajan en condiciones adversas.

El de Diseño D se conoce como motor de alto deslizamiento y está limitado normalmente a aplicaciones como grúas, montacargas y prensas punzonadoras de baja velocidad, donde conviene tener un alto par de arranque con baja corriente de arranque. Los motores de Diseño B funcionan muy bien en la mayoría de las aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado.



# EL MISTERIO DEL TAMAÑO DE CARCASA DEL MOTOR

## **INTRODUCCIÓN**

Los motores eléctricos industriales existen desde hace casi un siglo. Durante ese tiempo, se produjeron muchos cambios. Uno de los más obvios ha sido la posibilidad de incorporar mayor potencia en un tamaño físico más pequeño. Otro logro importante ha sido la estandarización de los motores realizada por NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos).

Un aspecto clave en la intercambiabilidad de los motores ha sido la estandarización de los tamaños de carcasa. Esto significa que motores de igual potencia (hp), velocidad y caja tienen normalmente el mismo tamaño de carcasa, pese a ser producidos por diferentes fabricantes. Entonces, un motor de determinado fabricante puede ser reemplazado por un motor similar de otro fabricante en tanto ambos tengan el mismo tamaño estándar de carcasa.

## **TRES GENERACIONES**

La estandarización realizada en los últimos cuarenta años ha resultado en un grupo inicial de tamaños de carcasa llamado "original". En 1952 se asignaron nuevas carcasas, denominadas "carcasas U". Las "carcasas T" actuales fueron introducidas en 1964. Las carcasas "T" son la norma corriente y muy posiblemente seguirán siéndolo por un buen tiempo.

Si bien las carcasas "T" se adoptaron en 1964, todavía se encuentran en servicio numerosos motores de carcasa "U", que deberán reemplazarse en el futuro. Asimismo, existen muchos motores de tamaño "original" de carcasa (anteriores a 1952) que están alcanzando el final de su vida útil y deberán ser reemplazados. Por lo tanto, es importante contar con material de referencia sobre tamaños de carcasa y saber algo de los cambios realizados como parte de los llamados programas de reclasificación.

## **TABLAS DE REFERENCIA DEL TAMAÑO DE CARCASA**

Las Tablas 1 y 2 muestran los tamaños estándar de carcasa asignados en las tres diferentes eras de los motores. Como puede verse, las tablas están divididas por tipo de motor: abierto a prueba de goteo (tabla 1) y totalmente cerrado (tabla 2). Asimismo, para cada clase de potencia (hp) y velocidad, hay tres diferentes tamaños de carcasa. El primer tamaño es el original, el segundo es el de "carcasa U" y el tercero es el de "carcasa T". Estas tablas de consulta son muy útiles y dan información general por tamaño de carcasa y capacidad de potencia integral para las tres generaciones de los motores trifásicos.

Es importante recordar que el espaciamiento de los agujeros de montaje en la base (dimensiones "E" y "F") y la altura del eje (dimensión "D") en todas las carcasas con los mismos tres dígitos serán iguales, sin importar la generación del motor.

## **RECLASIFICACIÓN Y TEMPERATURAS**

La capacidad de reclasificar las carcasas de los motores para poder incorporar mayor potencia en cada carcasa surgió principalmente de las mejoras realizadas en los materiales aislantes. Como resultado de este mejor aislamiento, es posible hacer funcionar los motores a mucha mayor temperatura. Esto permite incorporar más caballaje en una carcasa compacta. Por ejemplo, los tamaños originales de carcasa NEMA funcionaban a temperaturas muy bajas. Los motores de carcasa "U" fueron diseñados para usarse con aislamiento Clase A, cuya capacidad térmica es de 105° C. Los diseños de los motores establecían la capacidad en el punto más caliente dentro del motor. Los diseños de motores de carcasa "T" se basan en utilizar aislamiento Clase B con capacidad térmica de 130° C. Este incremento en la capacidad térmica hizo posible incorporar mayor caballaje en el mismo tamaño de carcasa. Para acomodar la mayor capacidad de potencia mecánica, fue necesario aumentar el tamaño de los ejes y los cojinetes. Así, puede verse que la carcasa original 254 (5 HP a 1800 RPM) tiene un eje de 1-1/8". En la carcasa 254U (7-1/2 HP a 1800 RPM) el eje es de 1-3/8", y en la carcasa actual 254T (15 HP a 1800 RPM) el eje es de 1-5/8". Se aumentó también el diámetro de los cojinetes para acomodar el mayor tamaño de los ejes y las cargas más pesadas asociadas con los mayores caballajes.

## **BASES DEL TAMAÑO DE CARCASA**

En la página 14 hay una tabla de tamaños de carcasa de Baldor que es una excelente referencia para los motores de carcasa "T", carcasa "U" y carcasa original. La mayoría de las dimensiones son dimensiones estándar comunes a los motores de todos los fabricantes. Una excepción a ello es la dimensión "C" (longitud total del motor), que varía entre los diversos fabricantes.

## **MOTORES DE POTENCIA FRACCIONARIA**

El término "potencia fraccionaria" (o caballaje fraccionario) se usa para aquellos tamaños de carcasa con designaciones de dos dígitos en lugar de las designaciones de tres dígitos que se encuentran en las Tablas 1 y 2. Los tamaños de carcasa normalmente asociados con los motores industriales de potencia fraccionaria son 42, 48 y 56. En estos casos, cada tamaño de carcasa indica específicamente una altura del eje, diámetro del eje y disposición de los agujeros de montaje de base o brida. En estos motores no se han asignado carcasas específicas según la potencia y la velocidad, así que es posible encontrar una determinada combinación de

potencia y velocidad en tres diferentes tamaños de carcasa. Por lo tanto, para reemplazar estos motores es necesario conocer el tamaño de carcasa así como la potencia, la velocidad y la caja del motor. El número de dos dígitos de la carcasa se basa en la altura del eje, en dieciseisavos de pulgada. Por ejemplo, un motor de carcasa 48 tiene una altura del eje de 48 dividido por 16, o sea 3 pulgadas. De modo similar, un motor de carcasa 56 tiene una altura del eje de 3-1/2 pulgadas. La mayor de las carcasas de potencia fraccionaria actuales es la carcasa 56, disponible en potencias mayores a las normalmente asociadas con las de valores fraccionarios. Por ejemplo, los motores de carcasa 56 vienen en potencias de hasta 3 HP, y a veces hasta 5 HP. Es por ello un poco engañoso llamar “fraccionarios” a los motores con tamaños de carcasa de 2 dígitos.

## **MOTORES DE POTENCIA INTEGRAL**

El término Motores de Potencia Integral se refiere generalmente a los motores con tamaños de carcasa de tres dígitos, como 143T o mayores. Hay una regla práctica para estos tamaños de carcasa: la altura en la línea central del eje (dimensión “D”) sobre el fondo de la base es igual a los primeros dos dígitos del tamaño de carcasa dividido por cuatro. Por ejemplo, una carcasa 254T tiene una altura del eje de  $25/4 = 6.25$  pulgadas. Si bien el último dígito no está relacionado directamente con una dimensión “en pulgadas”, números más grandes indican que los agujeros de los pernos posteriores están más alejados de los agujeros de los pernos del extremo del eje (la dimensión “F” es mayor).

## **VARIACIONES**

En adición al sistema estándar de numeración de las carcasas, aparecen también algunas variaciones. Estas se detallan abajo, con una explicación de lo que representan las diferentes letras.

- C — Indica un motor montado con brida (cara) “C”. Es el tipo más popular de motor montado con brida y tiene una configuración específica de los pernos en el extremo del eje para permitir el montaje. Los elementos principales en los motores con brida “C” son el “círculo de pernos” (dimensión AJ), el diámetro del registro (también llamado rebajo) (dimensión AK) y el tamaño del eje (dimensión U). Los motores con brida “C” siempre tienen agujeros de montaje roscados en la cara del motor.
- D — El motor con brida “D” tiene instalado un tipo especial de brida de montaje en el extremo del eje. En el caso de la brida “D”, el diámetro de la brida es mayor que el cuerpo del motor y tiene agujeros de paso para que los pernos de montaje pasen desde la parte posterior del motor hasta los agujeros roscados en la contraparte. Los motores con brida “D” son menos comunes que los motores con brida “C”.
- H — Se usa en algunos motores con carcasa 56. La “H” indica que la base es apropiada para las dimensiones de montaje de las carcasas 56, 143T o 145T.
- J — Esta designación se usa con los motores con carcasa 56 indicando que el motor está construido para servicio en “bombas de chorro” con eje roscado de acero inoxidable y carcasa estándar con brida 56C.
- JM — Las letras “JM” designan un eje especial para bomba diseñado originalmente para un “sello mecánico”. Este motor también tiene brida C.
- JP — Similar al estilo JM de motor con eje especial, el motor JP fue originalmente diseñado para un sello tipo “empaque”. Este motor también tiene brida C.
- S — El uso de la letra “S” en la carcasa de un motor indica que éste tiene un “eje corto” [short shaft]. En los motores de eje corto, las dimensiones del eje son más pequeñas que las de los ejes correspondientes al tamaño normal de carcasa. Los motores de eje corto están diseñados para conectarse directamente a la carga mediante un acoplamiento flexible. No deben utilizarse en aplicaciones donde la carga es accionada mediante correa.
- T — Una “T” al final del tamaño de carcasa indica que el motor tiene carcasa “T” de la era de 1964 en adelante.
- U — Una “U” al final del tamaño de carcasa indica que el motor tiene carcasa “U” de la era 1952-1964.
- Y — Una “Y” en el tamaño de carcasa indica que el motor tiene una configuración especial de montaje. Es imposible saber exactamente cuál es dicha configuración, pero la “Y” indica un montaje no estándar especial.
- Z — Indica la existencia de un eje especial que puede ser más largo, más grande, o que tiene características especiales como roscado, agujeros, etc. La “Z” sólo indica que el eje es especial de algún modo no identificado.

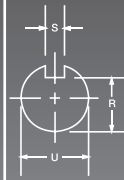
**TABLA 1 – MOTORES ABIERTOS A PRUEBA DE GOTEO**

TAMAÑOS DE CARCASA TRIFÁSICOS – USO GENERA												
RPM Programa NEMA HP	Orig.	3600 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	1800 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	1200 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	900 Reclas. 1952	Reclas. 1964
1	-	-	-	203	182	143T	204	184	145T	225	213	182T
1.5	203	182	143T	204	184	145T	224	184	182T	254	213	184T
2	204	184	145T	224	184	145T	225	213	184T	254	215	213T
3	224	184	145T	225	213	182T	254	215	213T	284	254U	215T
5	225	213	182T	254	215	184T	284	254U	215T	324	256U	254T
7.5	254	215	184T	284	254U	213T	324	256U	254T	326	284U	256T
10	284	254U	213T	324	256U	215T	326	284U	256T	364	286U	284T
15	324	256U	215T	326	284U	254T	364	324U	284T	365	326U	286T
20	326	284U	254T	364	286U	256T	365	326U	286T	404	364U	324T
25	364S	286U	256T	364	324U	284T	404	364U	324T	405	365U	326T
30	364S	324US	284TS	365	326U	286T	405	365U	326T	444	404U	364T
40	365S	326US	286TS	404	364U	324T	444	404U	364T	445	405U	365T
50	404S	364US	324TS	405S	365US	326T	445	405U	365T	504	444U	404T
60	405S	365US	326TS	444S	404US	364T	504	444U	404T	505	445U	405T
75	444S	404US	364TS	445S	405US	365T	505	445U	405T	-	-	444T
100	445S	405US	365TS	504S	444US	404T	-	-	444T	-	-	445T
125	504S	444US	404TS	505S	445US	405T	-	-	445T	-	-	-
150	505S	445US	405TS	-	-	444T	-	-	-	-	-	-
200	-	-	444TS	-	-	445T	-	-	-	-	-	-
250	-	-	445TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-

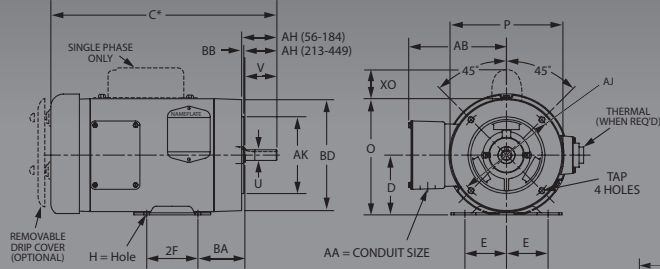
**TABLA 2 – MOTORES TOTALMENTE CERRADOS ENFRIADOS POR VENTILADOR**

TAMAÑOS DE CARCASA TRIFÁSICOS – USO GENERA												
RPM Programa NEMA HP	Orig.	3600 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	1800 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	1200 Reclas. 1952	Reclas. 1964	Orig.	900 Reclas. 1952	Reclas. 1964
1	-	-	-	203	182	143T	204	184	145T	225	213	182T
1.5	203	182	143T	204	184	145T	224	184	182T	254	213	184T
2	204	184	145T	224	184	145T	225	213	184T	254	215	213T
3	224	184	182T	225	213	182T	254	215	213T	284	254U	215T
5	225	213	184T	254	215	184T	284	254U	215T	324	256U	254T
7.5	254	215	213T	284	254U	213T	324	256U	254T	326	284U	256T
10	284	254U	215T	324	256U	215T	326	284U	256T	364	286U	284T
15	324	256U	254T	326	284U	254T	364	324U	284T	365	326U	286T
20	326	286U	256T	364	286U	256T	365	326U	286T	404	364U	324T
25	365S	324U	284TS	365	324U	284T	404	364U	324T	405	365U	326T
30	404S	326US	286TS	404	326U	286T	405	365U	326T	444	404U	364T
40	405S	364US	324TS	405	364U	324T	444	404U	364T	445	405U	365T
50	444S	365US	326TS	444S	365US	326T	445	405U	365T	504	444U	404T
60	445S	405US	364TS	445S	405US	364T	504	444U	404T	505	445U	405T
75	504S	444US	365TS	504S	444US	365T	505	445U	405T	-	-	444T
100	505S	445US	405TS	505S	445US	405T	-	-	444T	-	-	445T
125	-	-	444TS	-	-	444T	-	-	445T	-	-	-
150	-	-	445TS	-	-	445T	-	-	-	-	-	-

Líder en controles y motores eléctricos industriales de alta eficiencia energética

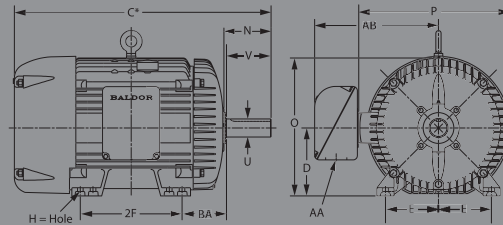


Eje NEMA (U)	Dimens. chavetero (R)	(S)	Eje NEMA (U)	Dimens. chavetero (R)	(S)
3/8	21/64	FLAT	1-7/8	1-19/32	1/2
1/2	29/64	FLAT	2-1/8	1-27/32	1/2
5/8	33/64	3/16	2-3/8	2-1/64	5/8
7/8	49/64	3/16	2-1/2	2-3/16	5/8
1-1/8	63/64	1/4	2-7/8	2-29/64	3/4
1-3/8	1-13/64	5/16	3-3/8	2-7/8	7/8
1-5/8	1-13/32	3/8	3-7/8	3-5/16	1



Los dibujos representan motores TEFC estándar de uso general

\*Las dimensiones son para referencia únicamente.



\*Para las dimensiones "C", contacte a su oficina local Baldor.

Dimensiones - N, O, P, AB y XO son específicas de Baldor.

## NEMA QUICK REFERENCE CHART

NEMA FRAME	D	E	2F	H	N	O	P	U	V	AA	AB	AH	AJ	AK	BA	BB	BD	XO	TAP
42	2-5/8	1-3/4	1-11/16	9/32 SLOT	1-1/2	5	4-11/16	3/8	1-1/8	3/8	4-1/32	1-5/16	3-3/4	3	2-1/16	1/8	4-5/8	1-9/16	1/4-20
48	3	2-1/8	2-3/4	11/32 SLOT	1-7/8	5-7/8	5-11/16	1/2	1-1/2	1/2	4-3/8	1-11/16	3-3/4	3	2-1/2	1/8	5-5/8	2-1/4	1/4-20
56 56H	3-1/2	2-7/16	3 5	11/32 SLOT	2-7/16 2-1/8	6-7/8	6-5/8	5/8	1-7/8	1/2	5	2-1/16	5-7/8	4-1/2	2-3/4	1/8	6-1/2	2-1/4	3/8-16
143T 145T	3-1/2	2-3/4	4 5	11/32	2-1/2	6-7/8	6-5/8	7/8	2-1/4	3/4	5-1/4	2-1/8	5-7/8	4-1/2	2-1/4	1/8	6-1/2	2-1/4	3/8-16
182 184 182T 184T	4-1/2	3-3/4	4-1/2 5-1/2	13/32	2-11/16 2-11/16 3-9/16 3-9/16	8-11/16	7-7/8	7/8 7/8 1-1/8 1-1/8	2-1/4 2-3/4 2-3/4	3/4	5-7/8	2-1/8 2-1/8 2-5/8 2-5/8	5-7/8 4-1/2 7-1/4 8-1/2	4-1/2 2-3/4 1/4 1/4	1/8 1/8 1/4 1/4	6-1/2 6-1/2 9 9	2-3/8	3/8-16 1/2-13 1/2-13	
213 215 213T 215T	5-1/4	4-1/4	5-1/2 7	13/32	3-1/2 3-1/2 3-7/8 3-7/8	10-1/4	9-9/16	1-1/8 1-1/8 1-3/8 1-3/8	3 3	3/4	7-3/8	2-3/4 2-3/4 3-1/8 3-1/8	7-1/4	8-1/2	3-1/2	1/4	9	2-3/4	1/2-13
254U 256U 254T 256T	6-1/4	5	8-1/4 8-1/4 10	17/32	4-11/16 4-1/16 4-5/16 4-5/16	12-7/8	12-15/16	1-3/8 1-3/8 1-5/8 1-5/8	3-3/4 3-3/4 4 4	1	9-5/8	3-1/2 3-1/2 3-3/4 3-3/4	7-1/4	8-1/2	4-1/4	1/4	10	-	1/2-13
284U 286U 284T 286T 284TS 286TS	7	5-1/2	9-1/2 11 11	17/32	5-1/8 5-1/8 4-7/8 4-7/8 3-3/8 3-3/8	14-5/8	14-5/8	1-5/8 1-5/8 1-7/8 1-7/8 1-5/8 1-5/8	4-7/8 4-7/8 4-5/8 4-5/8 3-1/4 3-1/4	1-1/2	13-1/8	4-3/8 4-3/8 3 3	9	10-1/2	4-3/4	1/4	11-1/4	-	1/2-13
324U 326U 324T 326T 324TS 326TS	8	6-1/4	10-1/2 12 10-1/2 12	21/32	5-7/8 5-7/8 5-1/2 5-1/2	16-1/2	16-1/2	1-7/8 1-7/8 2-1/8 2-1/8	5-5/8 5-5/8 5-1/4 5-1/4	2	14-1/8	5-5/8 5-5/8 5 5	11	12-1/2	5-1/4	1/4	13-3/8	-	5/8-11
364U 365U 364T 365T 364TS 365TS	9	7	11-1/4 12-1/4 11-1/4 12-1/4	21/32	6-3/4 6-3/4 6-1/4 6-1/4 4 4	18-1/2	18-1/4	2-1/8 2-1/8 2-3/8 2-3/8 1-7/8 1-7/8	6-3/8 6-3/8 5-7/8 5-7/8 3-3/4 3-3/4	2-1/2	15-1/16	6-1/8 6-1/8 5-5/8 5-5/8 3-1/2 3-1/2	11	12-1/2	5-7/8	1/4	13-3/8	-	5/8-11
404U 405U 404T 405T 404TS 405TS	10	8	12-1/4 13-3/4 12-1/4 13-3/4	13/16	7-3/16 7-3/16 7-5/16 7-5/16 4-1/2 4-1/2	20-5/16	20-1/8	2-3/8 2-3/8 2-7/8 2-7/8 2-1/8 2-1/8	7-1/8 7-1/8 7-1/4 7-1/4 4-1/4 4-1/4	3	18	6-7/8 6-7/8 7 7 4 4	11	12-1/2	6-5/8	1/4	13-7/8	-	5/8-11
444U 445U 444T 445T 447T 449T 444TS 445TS 447TS 449TS	11	9	14-1/2 16-1/2 14-1/2 16-1/2 20 25 14-1/2 16-1/2 20 25	13/16	8-5/8 8-5/8 8-1/2 8-1/2 8-15/16 8-15/16 5-3/16 5-3/16 4-15/16 4-15/16	22-7/8 22-7/8 22-7/8 22-7/8 22-15/16 22-15/16 22-7/8 22-7/8 22-15/16 22-15/16	22-3/8 22-3/8 23-3/4 23-3/4 23-3/4 23-3/4	2-7/8 2-7/8 3-3/8 3-3/8 3-3/8 3-3/8 4-3/4 4-3/4 4-3/4 4-3/4	8-5/8 8-5/8 8-1/2 8-1/2 8-1/4 8-1/4 19-9/16 19-9/16 19-9/16 19-9/16 21-11/16 21-11/16	3	18	8-3/8 8-3/8 8-1/2 8-1/2 8-1/4 8-1/4 8-3/8 8-3/8 8-1/2 8-1/2 4-1/2 4-1/2 4-1/2 4-1/2	14	16	7-1/2	1/4	16-3/4	-	5/8-11

Este catálogo muestra productos Baldor y Reliance. Hay pequeñas diferencias entre los diseños de los dos productos, particularmente en las dimensiones O y P. La tabla de arriba muestra las dimensiones de Baldor. Para datos dimensionales más exactos, ver el plano específico del número de catálogo que corresponde.

5000 FRAME	D	E	2F	H	O	P	U	V	AA	AB	BA
5007S	12-1/2	10	22	15/16	26-27/32	30	2-1/2	6-1/2	4-NPT	26-7/8	8-1/2
5007L	12-1/2	10	22	15/16	26-27/32	30	3-7/8	11-1/8	4-NPT	26-7/8	8-1/2
5009S	12-1/2	10	28	15/16	26-27/32	30	2-1/2	6-1/2	4-NPT	26-7/8	8-1/2
5009L	12-1/2	10	28	15/16	26-27/32	30	3-7/8	11-1/8	4-NPT	26-7/8	8-1/2
5011S	12-1/2	10	36	15/16	26-27/32	30	2-1/2	6-1/2	4-NPT	26-7/8	8-1/2
5011L	12-1/2	10	36	15/16	26-27/32	30	3-7/8	11-1/8	4-NPT	26-7/8	8-1/2

NEMA C-Face	BA Dimensions
143-5TC	2-3/4
182-4TC	3-1/2
213-5TC	4-1/4
254-6TC	4-3/4

BALDOR ELECTRIC COMPANY  
P.O. BOX 2400  
FORT SMITH, ARKANSAS  
72902-2400 U.S.A.

Frame	D	E	2F	H	O	V	BA
66	4-1/8	2-15/16	2-1/2	2-1/4	3/4	2-1/4	3-1/8
203	5	4	2-3/4	2-7/16	3/4	2	3-1/8
224	5-1/2	4-1/2	3-3/8	3-1/4	1	3	3-1/2
225	5-1/2	4-1/2	3-3/4	3-1/4	1	3	3-1/2
254	6-1/4	5	4-1/8	3-7/16	1-1/8	3-3/8	4-1/4
284	7	5-1/2	4-3/4	4-1/4	1-1/4	3-3/4	4-3/4
324	8	6-1/4	5-1/4	5-3/8	1-5/8	4-7/8	5-1/4
326	8	6-1/4	6	5-3/8	1-5/8	4-7/8	5-1/4
364	9	7	5-5/8	5-5/8	1-7/8	5-3/8	5-7/8
365	9	7	6-1/8	6-1/8	2-1/8	6-1/8	6-5/8
404	10	8	6-7/8	6-3/8	2-1/8	6-1/8	6-5/8
444	11	9	7-1/4	7-1/8	2-3/8	6-7/8	7-1/2
445	11	9	8-1/4	7-1/8	2-3/8	6-7/8	7-1/2
504	12-1/2	10	8	8-5/8	2-7/8	8-3/8	8-1/2
505	12-1/2	10	9	8-5/8	2-7/8	8-3/8	8-1/2

# **PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS MOTORES DE DOS VELOCIDADES**

Pareciera haber un gran misterio sobre los motores de dos velocidades, pero en realidad son equipos muy simples. Según el número de devanados, se los puede dividir primero en dos tipos:

## **DOS VELOCIDADES, DOS DEVANADOS**

El motor de dos devanados está construido de tal manera que en realidad se trata de dos motores bobinados en un mismo estator. Uno de los devanados, al estar energizado, produce una de las velocidades. Cuando se energiza el otro devanado, el motor funciona a la velocidad determinada por este segundo devanado. El motor de dos velocidades y dos devanados puede usarse para obtener virtualmente cualquier combinación de velocidades normales de motor, y no es preciso que las dos diferentes velocidades estén relacionadas entre sí por un factor proporcional de 2:1. Así, un motor de dos velocidades que requiera 1750 RPM y 1140 RPM deberá necesariamente ser un motor de dos devanados.

## **DOS VELOCIDADES, UN DEVANADO**

El segundo tipo de motor es el de dos velocidades y devanado sencillo [devanado único]. En este tipo de motor deberá existir una relación de 2:1 entre las velocidades baja y alta. Los motores de dos velocidades y devanado sencillo tienen el diseño llamado "de polos consecuentes". Estos motores están bobinados para una sola velocidad pero al reconectarse el devanado, se duplica el número de polos magnéticos en el estator y la velocidad del motor se reduce a la mitad de la velocidad original. El motor de dos velocidades y devanado sencillo es, por su naturaleza, más económico para fabricar que el motor de dos velocidades y dos devanados. Esto es así porque se utiliza el mismo devanado para ambas velocidades, y las ranuras donde los conductores están colocados en el motor no tienen que ser tan grandes como lo serían para poder acomodar dos diferentes devanados que trabajan independientemente. Por lo tanto, el tamaño de la carcasa de un motor de dos velocidades y devanado sencillo puede usualmente ser menor que el necesario para un motor equivalente de dos devanados.

## **CLASIFICACIÓN DE LA CARGA**

Un segundo elemento que genera bastante confusión al seleccionar motores de dos velocidades, es la clasificación de la carga con la que se utilizarán dichos motores. Es necesario en este caso definir el tipo de carga a impulsar, y el motor que se seleccione deberá ser compatible con lo requerido por dicha carga. Los tres tipos de carga disponibles son: Par Constante, Par Variable, y Potencia (hp) Constante. Para mayores detalles sobre los tipos de carga, ver el artículo "Para Entender el Concepto de Par" en esta publicación.

## **PAR CONSTANTE**

Las cargas de par constante son aquellas donde el par requerido es independiente de la velocidad. Este tipo de carga se encuentra normalmente en transportadoras, bombas de desplazamiento positivo, extrusores, bombas hidráulicas, máquinas empaquetadoras, y otras de naturaleza similar.

## **PAR VARIABLE**

Un segundo tipo de carga para el motor que es muy diferente a las de Par Constante consiste en los sopladores y las bombas centrífugas. En este caso, el par requerido por la carga cambia desde un valor bajo a baja velocidad hasta un valor muy alto a alta velocidad. En una carga de par variable típica, aumentando la velocidad al doble se incrementará en 4 veces el par requerido y en 8 veces la potencia (hp) requerida. Así que en este tipo de carga debe suministrarse "fuerza bruta" a altas velocidades, requiriéndose niveles muy reducidos de potencia y de par a bajas velocidades. Un motor típico de dos velocidades y par variable puede tener una capacidad nominal de 1 HP a 1725 RPM y de 0.25 HP a 850 RPM.

Las características de muchas bombas, ventiladores y sopladores son tales que una reducción de la velocidad a la mitad produce un rendimiento o salida a esa baja velocidad que podría ser inaceptable. Por ello, hay motores de dos velocidades y par variable que ofrecen una combinación de velocidades de 1725/1140 RPM. Esta combinación resulta en una salida de aproximadamente la mitad en la bomba o el ventilador cuando se utiliza la baja velocidad.

## **POTENCIA CONSTANTE**

El tercer y último tipo de motor de dos velocidades que se utiliza es el de potencia (hp) constante. En este caso, el motor está diseñado para que la potencia permanezca constante cuando la velocidad se reduce a su valor bajo. Para lograrlo, es necesario que el par del motor aumente al doble cuando está operando en el modo de baja velocidad. Este tipo de motores se aplica normalmente en procesos de trabajo en metal, por ejemplo: prensas taladradoras, tornos mecánicos, fresadoras, y otras máquinas similares de remoción de metales.

El requisito de potencia constante puede quizás visualizarse mejor al considerar la operación de una máquina simple como una prensa taladradora. En este caso, para perforar un agujero grande con un taladro grande, la velocidad debe ser baja pero el par requerido es muy alto. Por el contrario, al perforar un agujero pequeño la velocidad del taladro debe ser alta pero el par requerido es bajo. Es decir que se requiere que el par sea alto cuando la velocidad es baja y que el par sea bajo cuando la velocidad es alta. Esta es la situación de Potencia Constante.

El motor de potencia constante es el tipo de motor más caro entre los de dos velocidades. Los motores trifásicos de dos velocidades tanto de par constante como de par variable están ampliamente disponibles en el mercado. Los motores de dos velocidades de potencia constante usualmente pueden conseguirse sólo bajo pedido especial.

## **MOTORES MONOFÁSICOS DE DOS VELOCIDADES**

Los motores monofásicos de dos velocidades y par constante son más difíciles de producir porque existe el problema de suministrar un conmutador de arranque que funcione en el momento preciso en ambas velocidades. Por lo tanto, el motor monofásico normal de dos velocidades se ofrece como motor de par variable en una configuración de condensador dividido permanente. El motor de condensador dividido permanente tiene un par de arranque muy bajo pero es adecuado para utilizarse en ventiladores y bombas centrífugas pequeñas.

## **RESUMEN**

El uso futuro de motores de dos velocidades va a desarrollarse muy rápido a medida que los usuarios de motores industriales reconozcan la conveniencia de utilizar este tipo de motores en ventiladores de extracción de aire y bombas de circulación para optimizar el flujo de aire y de agua en base a las condiciones existentes en una planta o un proceso. Utilizando este sistema de motores de dos velocidades se pueden lograr considerables ahorros en energía.

# CLASIFICACIONES DE TEMPERATURA DEL MOTOR

Un aspecto frecuentemente poco comprendido de los motores eléctricos es el de la clase de aislamiento y las clasificaciones de temperatura o márgenes nominales de temperatura. Este artículo trata de describir, en términos básicos, las importantes relaciones de la temperatura en los motores CA de inducción normales. Parte de la misma información puede aplicarse también a los motores CC, si bien éstos son más especializados y algunas clasificaciones son un poco diferentes.

Quizás la mejor manera de empezar será definiendo los términos de uso más común.

## **DEFINICIONES**

### **TEMPERATURA AMBIENTE**

La temperatura ambiente es la temperatura del aire que rodea al motor, o la temperatura de la sala en las proximidades del motor. Este es el “punto de umbral” o la temperatura que toma el motor completo cuando está apagado y totalmente enfriado.

### **INCREMENTO DE TEMPERATURA**

El incremento de temperatura es el cambio en la temperatura de los componentes eléctricos críticos en el motor, cuando éste se encuentra operando a plena carga. Por ejemplo, si un motor está instalado en una sala con una temperatura de 78° F y se lo hace arrancar y funcionar en forma continua a plena carga, la temperatura del devanado aumentará desde 78° F hasta un valor más alto. La diferencia entre su temperatura inicial y la temperatura elevada final, es el incremento de temperatura del motor.

### **MARGEN PARA PUNTO CALIENTE**

Como en el método más común de medir el “incremento de temperatura” de un motor se toma la diferencia entre la resistencia óhmica en frío y en caliente del devanado del motor\*, este procedimiento da el cambio medio de temperatura en el devanado completo, incluyendo los conductores del motor y las espiras terminales así como los alambres ubicados bien adentro de las ranuras del estator. Dado que algunos de estos puntos van a estar más calientes que otros, se considera un margen sobre la temperatura media para estimar aproximadamente la temperatura en el punto más caliente. Este margen de ajuste se denomina “margen para punto caliente”.

\* La fórmula para determinar el incremento de temperatura mediante la resistencia se encuentra en la página 21.

### **CLASE DE AISLAMIENTO**

Los aislamientos han sido estandarizados y clasificados según su resistencia a la falla y al envejecimiento térmico. Hay cuatro clases de aislamiento que se usan habitualmente. Para simplificar, se las ha designado con las letras A, B, F y H. Las capacidades de temperatura de estas clases están separadas entre sí por incrementos de 25° C. La capacidad de temperatura de cada clase de aislamiento se define como la máxima temperatura de operación del aislamiento que resultará en una vida media de 20.000 horas. Abajo se muestra la clasificación para una vida media de 20.000 horas correspondiente a cada una de las clases de aislamiento.

<u>Clase de Aislamiento</u>	<u>Clasificación de Temperatura</u>
A	105° C
B	130° C
F	155° C
H	180° C

### **SISTEMA DE AISLAMIENTO**

En el proceso de fabricación de los motores se utilizan diversos componentes aislantes. Los más obvios son la capa de esmalte en el alambre del devanado y el aislamiento en los conductores que van a la caja de conexiones. Algunos componentes menos conocidos del “sistema” son el revestimiento que se aplica sobre las juntas donde los conductores están conectados al alambre del devanado, y los cordones con que se atan los extremos de las espiras del motor. Otros componentes son los forros de las ranuras que se utilizan en los laminados del estator para proteger los alambres contra el rozamiento. Asimismo, se usan varillas que retienen el alambre dentro de las ranuras del estator.

Otro importante componente del sistema, es el barniz en que se baña el ensamble completo antes de hornearlo. El baño de barniz sirve para sellar las melladuras o rayaduras que podrían producirse durante el proceso de bobinado. El barniz asimismo aglutina el devanado completo en una masa sólida para evitar la vibración y el rozamiento cuando es sometido a las altas fuerzas magnéticas que existen en el motor.

Tal como una cadena que es sólo tan fuerte como su eslabón más débil, la clasificación de un sistema de aislamiento se basa en la capacidad térmica del componente de clase más baja usado en el sistema. Por ejemplo, si se usa un componente Clase B junto con componentes Clase F y H, el sistema completo deberá considerarse como de Clase B.

## **COMPLETANDO EL PANORAMA**

Ahora que hemos identificado los términos básicos, podemos avanzar para comprender el panorama general y ver cómo los diversos factores de temperatura se integran en la clasificación térmica del motor.

La clasificación básica de temperatura ambiente de casi todos los motores eléctricos es de 40° C. Esto significa que un motor clasificado para un ambiente de 40° C puede instalarse en aplicaciones donde la temperatura normal del aire que rodea al motor no excede de 40° C, que es aproximadamente 104° F. Esta es la temperatura de una sala muy caliente, y representa el punto inicial.

Cuando el motor funciona a plena carga, tiene un cierto margen de incremento de temperatura. El valor del incremento de temperatura es siempre sumado a la temperatura ambiente. Por ejemplo, los motores de carcasa U han sido diseñados para aislamiento Clase A y un máximo incremento de temperatura por resistencia de 55° C. Al hacerlos funcionar en una temperatura ambiente de 40° C, se obtiene una temperatura media total del devanado de 40° (ambiente) + 55° (incremento), o sea 95° C. La diferencia de diez grados entre 95° C y la clasificación de 105° C del aislamiento Clase A se asigna para el “margen para punto caliente”. Ahora bien, si se usa el mismo diseño de motor pero se cambia el sistema de aislamiento a Clase B, se dispone de una capacidad térmica extra de 25° C. Esta capacidad térmica adicional puede usarse para:

- a - temperaturas ambiente superiores a la normal;
- b - incrementos de temperatura mayores al normal debidos a sobrecarga; o,
- c - la capacidad extra puede usarse para prolongar la vida útil del motor y hacerlo más tolerante al recalentamiento causado por altos o bajos voltajes, desequilibrios de voltaje, ventilación bloqueada, cargas de alta inercia, arranque frecuente, y otros factores que podrían producir temperaturas de operación superiores a la normal.

Por ejemplo: si un motor con “diseño” Clase A (55° C) de incremento de temperatura se fabrica usando aislamiento Clase B, puede esperarse que el aislamiento alcance una duración normal aún si está expuesto a temperaturas ambiente de 65° C.

La mayoría de los motores con carcasa T están diseñados para usarse con aislamiento Clase B. En un motor de carcasa T con aislamiento Clase B, los 25° extra de capacidad térmica (comparando la Clase B con la Clase A) se utilizan para soportar el mayor incremento de temperatura asociado con los motores de carcasa T, físicamente más pequeños.

Por ejemplo, un motor estándar abierto a prueba de goteo con carcasa T puede tener la siguiente clasificación: 40° C de temperatura ambiente, 80° C de incremento de temperatura, y un margen para punto caliente de 10° C. Sumando estos tres componentes, comprobamos que se ha utilizado la capacidad térmica total del aislamiento Clase B (130° C).

## **CAMBIO DE CLASES DE AISLAMIENTO**

Si a un motor con carcasa T, totalmente cerrado enfriado por ventilador, de Clase B, se lo fabrica usando aislamiento Clase F, es posible generalmente incrementar su factor de servicio de 1.0 a 1.15. Como se indicó anteriormente, este mismo cambio de clase de aislamiento puede usarse para soportar una temperatura ambiente más alta o para aumentar la expectativa de vida del motor. El mismo cambio puede también hacer al motor más apto para operar en elevaciones altas donde la menor densidad del aire reduce su capacidad de enfriamiento.

## **MÉTODOS EFECTIVOS DE AISLAMIENTO**

A través de los años se hicieron grandes mejoras en los materiales aislantes. Estas mejoras resultaron a su vez en reducciones en los costos. Como consecuencia de estos cambios, la mayoría de los fabricantes de motores usan una mezcla de materiales, muchos de los cuales tienen clasificaciones de temperatura mayores que las requeridas. Por ejemplo, Baldor no usa materiales Clase A. Esto implica que si bien muchos motores de potencia fraccionaria están diseñados para un incremento de temperatura Clase A, el aislamiento es realmente de Clase B o mejor. De modo similar, muchos motores diseñados para un incremento de temperatura Clase B tienen en efecto sistemas de aislamiento que utilizan materiales Clase F y H.

Este margen adicional representa un “dividendo de vida” para el motor. Baldor ha estandarizado ahora el uso de alambre ISR (Inverter Spike Resistant, o resistente a puntas de voltaje) para devanados en todos sus motores trifásicos de 1 HP y mayores. Este tipo de alambre tiene una clasificación de temperatura Clase H y ofrece excelente resistencia a las puntas de alto voltaje.

Una regla práctica establece que la duración del aislamiento se duplica por cada 10 grados de capacidad

térmica no usada del aislamiento. Por ejemplo: si un motor está diseñado para una temperatura total de 110° C (incluyendo temperatura ambiente, incremento de temperatura y margen para punto caliente) y ha sido fabricado con un sistema Clase B (130° C), cuenta con una capacidad no usada de 20° C. Este margen adicional aumenta la vida esperada del aislamiento del motor desde 20.000 horas hasta 80.000 horas. De modo similar, si un motor no es cargado hasta su plena capacidad, el incremento de temperatura es menor. Esto reduce automáticamente la temperatura total y prolonga la vida útil del motor. Por otra parte, la operación del motor en una temperatura ambiente inferior a 40° C prolonga su vida útil.

Esta misma regla de los diez grados puede también aplicarse a motores que operan a temperaturas superiores a la nominal. En este caso, la duración del aislamiento se reducirá a la mitad por cada 10° C de sobretemperatura.

## **TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MOTOR**

La temperatura superficial del motor constituye un frecuente motivo de preocupación. Dicha temperatura superficial nunca es mayor que la temperatura interna del motor. Sin embargo, dependiendo del diseño y de la refrigeración del motor, la temperatura superficial en los motores modernos puede ser lo suficientemente alta para hacer muy incómodo el tocarlos. En los motores de carcasa T, las temperaturas superficiales pueden alcanzar 75° a 95° C. Estas temperaturas no indican necesariamente una sobrecarga ni la falla inminente del motor.

## **OTROS FACTORES**

La duración del aislamiento se ve afectada por diversos factores además de la temperatura. La humedad, las sustancias químicas, el aceite, la vibración, el crecimiento de hongos, las partículas abrasivas y la abrasión mecánica producida por el arranque frecuente son factores que reducen la duración del aislamiento. En algunas aplicaciones, si se definen correctamente el ambiente operativo y las condiciones de carga del motor, pueden tomarse medidas adecuadas para proteger el devanado que permitirán alcanzar una duración razonable del motor pese a las perturbaciones causadas por factores externos.

## **NORMAS ANTIGUAS Y CORRIENTES**

Los motores de carcasa U (184 a 445U) fueron diseñados en base al uso de aislamiento Clase A. No se definía con precisión el incremento de temperatura usando el método de resistencia. El incremento de temperatura medido por termómetro de los motores abiertos a prueba de goteo Clase A era de 40° C. Esto se consideraba en general como equivalente a unos 50° C por resistencia. Los motores de carcasa U fueron la norma de la industria desde 1954 a 1965, y todavía son preferidos en algunas fábricas e industrias. Los motores de carcasa T (143T a 449T) por lo general están diseñados en base al uso de aislamiento Clase B con incrementos de temperatura por resistencia de aproximadamente 80° C. Los motores de carcasa T comenzaron a producirse a mediados de los sesenta y siguen siendo hasta ahora la norma de la industria.

## **RESUMEN**

Un ingrediente clave para la duración del motor es su sistema de aislamiento. Además de la vibración, la humedad, las sustancias químicas y otros elementos no relacionados con la temperatura que reducen la vida útil del motor, el factor fundamental en la duración del aislamiento y del motor es la temperatura máxima que experimenta el sistema de aislamiento, así como la capacidad térmica de los componentes del sistema.

La Tabla 1 muestra las clasificaciones de temperatura, el incremento de temperatura y el margen para punto caliente correspondiente a diversos tipos de caja y factores de servicio de los motores estándar.

La Tabla 2 presenta una lista de factores relacionados con la temperatura que reducen la vida útil del motor, así como sus respectivos síntomas y soluciones. Esta tabla puede resultar muy práctica.

**TABLA 1**

Clase del Sistema de Aislamiento	A	B	F	H
Clasificación de Temperatura en Grados Centígrados	105°	130°	155°	180°
Margen para Incremento de Temperatura por Resistencia (Basado en Temperatura Ambiente de 40° C)				
Todos los Motores con Factor de Servicio de 1.15 (Margen para Punto Caliente)	70 *	90 *	115 *	—
Motores Totalmente Cerrados Enfriados por Ventilador (Margen para Punto Caliente)	60 (5)	80 (10)	105 (10)	125 (15)
Motores Totalmente Cerrados Sin Ventilación Externa (Margen para Punto Caliente)	65 (0)	85 (5)	110 (5)	135 (5)
Motores diferentes a los listados arriba (Margen para Punto Caliente)	60 (5)	80 (10)	105 (10)	125 (15)

\* Cuando se opera con la carga al nivel del factor de servicio, las temperaturas en el punto caliente pueden realmente exceder la capacidad térmica del aislamiento, reduciendo la vida útil del motor.

**TABLA 2****Factores Relacionados con la Temperatura que Reducen la Vida Útil del Motor**

PROBLEMAS	SÍNTOMAS	SOLUCIONES
Bajo Voltaje	Disparo por sobrecarga Alta corriente Corta vida útil del motor	Modificar la fuente de alimentación o adaptar el motor al verdadero voltaje nominal de la fuente de alimentación.
Alto Voltaje	Disparo por sobrecarga Alta corriente Corta vida útil del motor	Modificar la fuente de alimentación o adaptar el motor al verdadero voltaje nominal de la fuente de alimentación.
Voltaje Desequilibrado	Corrientes de fase desequilibradas Disparo por sobrecarga	Determinar la causa del desequilibrio de voltaje y corregirlo.
Sobrecarga	Disparo por sobrecarga Alta corriente Corta vida útil del motor	Determinar la causa de la sobrecarga. Aumentar el tamaño del motor o disminuir la velocidad de la carga.
Alta Temperatura Ambiente	Corta vida útil del motor	* Rebobinar el motor para una clase de aislamiento más alta. Sobredimensionar el motor para reducir el incremento de temperatura. Ventilar el área para reducir la temperatura ambiente.
Ventilación Bloqueada	Corta vida útil del motor El motor se recalienta pero el amperaje es correcto	Quitar las pelusas y la suciedad de los pasajes de aire o usar una caja de motor más apropiada para la aplicación específica.
Arranques Frecuentes	Corta vida útil del motor	** Utilizar un método de arranque a voltaje reducido. Mejorar la clase de aislamiento.
Cargas de Alta Inercia	Corta vida útil del motor Disparo por sobrecarga durante el arranque	Sobredimensionar la carcasa del motor. Usar una clase de aislamiento más alta. ** Utilizar un método de arranque a voltaje reducido.

\* La lubricación de los cojinetes deberá también adecuarse para altas temperaturas de operación.

\*\* El método de arranque a voltaje reducido y las características del motor deberán adaptarse a lo que requiera la carga.

## APÉNDICE

Incremento de Temperatura por el Método de Resistencia

$$\text{Incremento en Grados C} = (R_h - R_c)/R_c (234.5 + T)$$

Donde:  $R_c$  = Resistencia en Frío del Devanado, en Ohms

$R_h$  = Resistencia en Caliente del Devanado, en Ohms

$T$  = Temperatura en Frío (ambiente), en Grados Centígrados

Nota: Esta fórmula presupone que la temperatura ambiente no cambia durante la prueba.

Ejemplo: Un motor pequeño tiene una resistencia en frío de 3.2 ohms a 25° C (77° F) de temperatura ambiente. Luego de operar a plena carga durante varias horas, la resistencia mide 4.1 ohms y la temperatura ambiente ha subido a 28° C.

Calcular el incremento de temperatura:

$$\text{Incremento aparente} = (4.1 - 3.2)/3.2 (234.5 + 25) = 73^\circ \text{ C}$$

Corrigiendo por el aumento de 3° C en la temperatura ambiente:

$$\text{Incremento efectivo} = 73^\circ - 3^\circ = 70^\circ \text{ C}$$

### Conversión entre Grados Centígrados y Fahrenheit

#### Temperatura Real

Para cambiar de Fahrenheit a Centígrados:

$$C^\circ = (F^\circ - 32) \times 5/9$$

Para cambiar de Centígrados a Fahrenheit:

$$F^\circ = (C^\circ \times 9/5) + 32$$

#### Valores de Incremento Únicamente

Incremento en Grados "C" = °F (Incremento) x .56

Incremento en Grados "F" = °C (Incremento) x 1.8



# MOTORES MÉTRICOS

Dada la entrada de equipos fabricados en el extranjero, en las plantas estadounidenses hay un gran número de motores métricos. Como consecuencia de ello y de la antigüedad de dichos motores, se están recibiendo solicitudes de motores de reemplazo que sean compatibles con las normas de IEC (Comisión Eléctrica Internacional).

La siguiente información puede resultar útil para ayudar a identificar estos motores y realizar sustituciones adecuadas.

## **SISTEMA DE CLASIFICACIÓN**

La capacidad de estos motores por lo general se indica en kilowatts (kW) en lugar de caballos de fuerza (hp). En primer lugar, es necesario convertir de kilowatts a caballos de fuerza. Es importante destacar que si bien kW es un término eléctrico, en este caso está asociado con la potencia mecánica (tal como los caballos de fuerza, en los EE.UU.). A los efectos de realizar dicha conversión, se utiliza un factor muy sencillo: para determinar el caballaje del motor, debe multiplicarse su capacidad en kW por 1.34. Por ejemplo, un motor de 2 kW tiene una capacidad aproximada de 2.7 HP y el equivalente NEMA más cercano sería de 3 HP.

El siguiente elemento a considerar es la velocidad del motor. Generalmente, la placa de fábrica del motor extranjero indica la velocidad en términos de RPM. En Europa pareciera que lo convencional es mostrar la velocidad sin carga del motor, indicando ocasionalmente la velocidad a 50 Hz en lugar de la velocidad a 60 Hz. La siguiente tabla contiene la equivalencia entre las velocidades a 50 Hz y a 60 Hz. A veces se indican ambas velocidades, a 50 y a 60 Hz, separadas por una barra; por ejemplo, 1500/1800 RPM. Este es un motor de 4 polos para el que la respectiva placa de fábrica estadounidense indicará la velocidad a plena carga, que en este caso sería de 1725 a 1760 RPM, dependiendo del tamaño del motor.

## **EFFICIENCY**

POLOS	FRECUENCIA			
	VELOCIDADES A 50 HZ (RPM)		VELOCIDADES A 60 HZ (RPM)	
	SINCRÓNICO	A PLENA CARGA (Típico)	SINCRÓNICO	A PLENA CARGA (Típico)
2	3000	2850	3600	3450
4	1500	1425	1800	1725
6	1000	950	1200	1150
8	750	700	900	850

La norma IEC 60034-30 especifica los niveles de eficiencia para los motores métricos de 50 Hz. El equivalente al nivel EPAct (estadounidense) de motores energéticamente eficientes (NEMA MG 1, tabla 12-11) es IE2; y para los motores de eficiencia premium (NEMA MG 1, tabla 12-12) es IE3. Baldor fabrica motores métricos para ambos niveles. Un nuevo método de prueba IEC 60034-2-1 mide ahora todas las pérdidas y es equivalente a IEEE 112b y CSA 390.

## **REEMPLAZO POR FALLA**

Cuando un motor IEC (métrico) falla en servicio, lo más práctico es tratar de conseguir el motor exacto de reemplazo con carcasa métrica. Baldor y algunos otros fabricantes ofrecen una selección limitada de motores para reemplazo directo en las capacidades más populares.

Para aquellos casos en que no se dispone de reemplazos directos, la siguiente información puede resultar útil para adaptar motores con carcasa NEMA a la aplicación métrica.

## **TAMAÑO DE CARCASA**

Los tamaños de carcasa europeos se manejan de manera diferente a los tamaños de carcasa estadounidenses. Están basados en la altura del eje (equivalente a nuestra dimensión "D") en milímetros. Por ejemplo, una carcasa 112 tiene una altura del eje de 112 milímetros. Para obtener la equivalente altura del eje en el sistema estadounidense, debe dividirse 112 por 25.4. La altura del eje en un motor con carcasa 112 es un poco mayor de 4.4 pulgadas, y el motor NEMA más cercano tendrá una carcasa serie 180 (182, 184, 182T o 184T) cuya altura del eje es de 4.5 pulgadas. Esto es así para los motores IEC con montaje de base. En el caso específico de este motor, será necesario hacer algunos ajustes en el equipo que permitan ya sea usar un motor estadounidense con carcasa serie 180 alineando la diferencia en la altura del eje, o seleccionar un motor con carcasa 145T ó 56 (altura del eje de 3.5") y elevarlo con calzas hasta lograr el alineamiento correcto. La disposición de los pernos en la base de los motores IEC corresponde a dimensiones métricas y es imposible lograr una intercambiabilidad completa con los tamaños de carcasa NEMA. Sin embargo, los motores de montaje en pie pueden por lo general ser adaptados a los tamaños estadounidenses de carcasa taladrando nuevos agujeros o haciendo otros ajustes que permitan admitir la configuración diferente del motor de carcasa NEMA. En la página 25 se muestran los tamaños de carcasa de IEC para motores de base rígida y sus respectivas dimensiones

métricas. (Las dimensiones están en milímetros: dividir por 25.4 para obtener la equivalencia en pulgadas).

## **MOTORES DE MONTAJE CON BRIDA**

La conversión de los motores de montaje con brida es bastante complicada. Hay dos configuraciones populares de montaje con brida que se usan en los motores IEC. La más común es la configuración "B5", que es la más aproximada a los motores NEMA con brida "D". Es importante notar que, en el caso de la brida B5, los agujeros de paso están en la brida y los agujeros roscados están en la pieza complementaria ubicada en la bomba, el reductor de engranajes u otro equipo. La otra brida popular en motores IEC es la brida B14. En este caso, los agujeros roscados están en la brida del motor, tal como en los motores tipo brida "C" de NEMA.

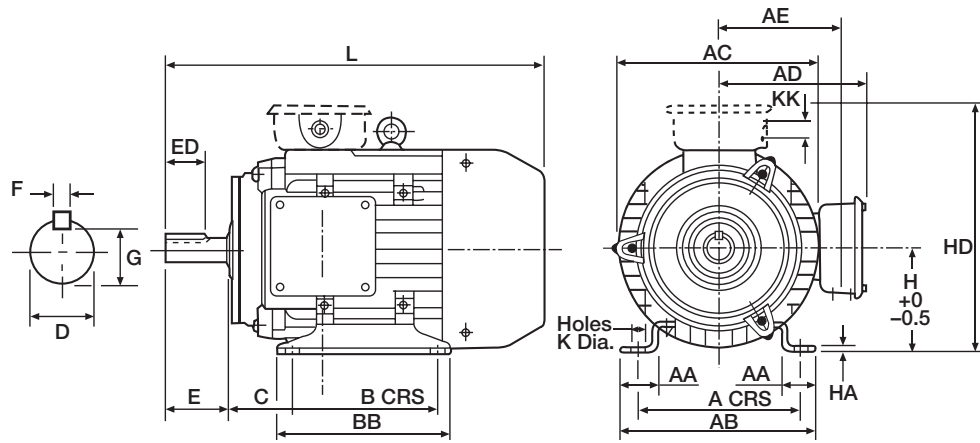
Los motores IEC de montaje con brida tienen diámetros de eje métricos (no en pulgadas), y si hay agujeros roscados, los mismos tienen roscas métricas, no en pulgadas. Para reemplazar motores de montaje con brida métrica será necesaria una brida de montaje exactamente equivalente, a menos que se puedan hacer bridas adaptadoras para convertir los motores NEMA con brida "C" a las dimensiones métricas requeridas. Como esto es muy poco común, los motores de montaje con brida métrica deberán generalmente reemplazarse con motores métricos. En la página 26 se muestran las dimensiones métricas típicas de los motores métricos B5 y B14. Nótese que las dimensiones se dan en milímetros.

Baldor ofrece ahora una selección de motores métricos trifásicos hasta 200 kW. Asimismo, mantiene en inventario algunos magnetomotores de CC que pueden utilizarse como unidades de reemplazo. Puede también fabricar bajo pedido especial, dependiendo de la cantidad ordenada, una gran variedad de motores métricos equivalentes.

## **RESUMEN**

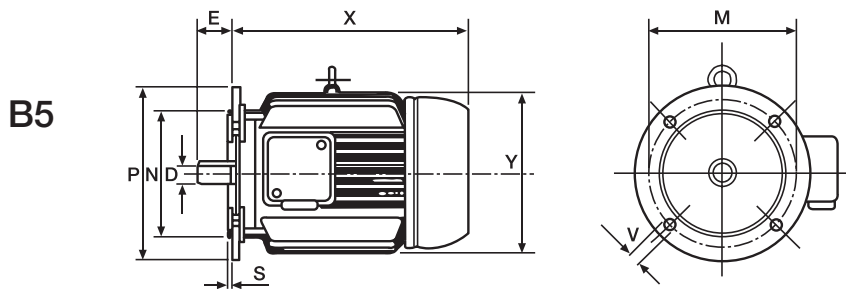
La información presentada en este artículo puede ser de gran utilidad al trabajar en el reemplazo de motores métricos.

## DIMENSIONES MÉTRICAS TÍPICAS DE MOTORES DE MONTAJE EN PIE



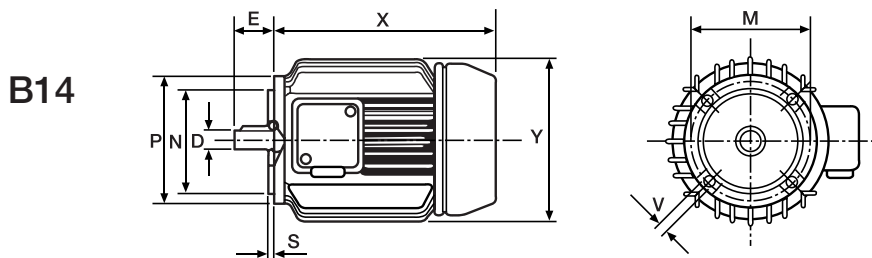
Tamaño de Carcasa	Sujeción					Eje					General							
	A	B	C	H	K	D	E	F	G	ED	AA	AB	BB	Típico L	HA	AC	AD	HD
<b>D63</b>	100	80	40	63	7	11	23	3	8.5	10	19	119	100	207	2	126	—	169
<b>D71</b>	112	90	45	71	7	14	30	5	11	14	19	131	110	251	2	126	—	177
<b>D80</b>	125	100	50	80	10	19	40	6	15.5	25	27	157	127	295	4	158	132	212
<b>D90S</b>	140	100	56	90	10	24	50	8	20	32	28	174	127	314	4	178	140	230
<b>D90L</b>	140	125	56	90	10	24	50	8	20	32	28	174	152	339	4	178	140	230
<b>D100L</b>	160	140	63	100	12	28	60	8	24	40	28	184	170	371	4	208	138	251
<b>D112M</b>	190	140	70	112	12	28	60	8	24	40	37	214	170	384	4	243	192	233
<b>D132S</b>	216	140	89	132	12	38	80	10	33	56	38	243	208	463	5	243	234	371
<b>D132M</b>	216	178	89	132	12	38	80	10	33	56	38	243	208	463	5	243	234	271
<b>D160M</b>	254	210	108	160	15	42	110	12	37	80	49	304	304	598	5	329	278	328
<b>D160L</b>	254	254	108	160	15	42	110	12	37	80	49	304	304	598	5	329	278	328
<b>D180M</b>	279	241	121	180	15	48	110	14	42.5	80	51	329	329	698	8	388	317	375
<b>D180L</b>	279	279	121	180	15	48	110	14	42.5	80	51	329	329	698	8	388	317	375
<b>D200L</b>	318	305	133	200	19	55	110	16	49	80	60	380	379	745	10	453	357	410

## DIMENSIONES MÉTRICAS TÍPICAS DE MOTORES DE MONTAJE CON BRIDA



TAMAÑO DEL MOTOR	2 POLOS		4 POLOS		6 POLOS		D	E	N	M	P	S	V	TÍPICO X	Y
	HP	KW	HP	KW	HP	KW									
56 A 56 B	0.12 0.16	0.09 0.12	0.08 0.12	0.06 0.09	—	—	9	20	80	100	120	2.5	7	167	102
63 A 63 B	0.25 0.33	0.18 0.25	0.16 0.25	0.12 0.18	—	—	11	23	95	115	140	3	9	185	122
71 A 71 B	0.5 0.75	0.37 0.55	0.33 0.5	0.25 0.37	0.25 0.33	0.18 0.25	14	30	110	130	160	3.5	9	211	140
80 A 80 B	1 1.5	0.75 1.1	0.75 1	0.55 0.75	0.5 0.75	0.37 0.55	19	40	130	165	200	3.5	11	231	164
90 S 90 L 90 LL	2 3 —	1.5 2.2 —	1.5 2 2.5	1.1 1.5 1.8	1 1.5 —	0.75 1.1 —	24	50	130	165	200	3.5	11	245 270 292	181
100 LA 100 LB 112 M	4 — 5.5	3 — 4	3 4 5.5	2.2 3 4	2 — 3	1.5 — 2.2	28	60	180	215	250	4	14	304 304 343	207
132 S 132 M 132 L	7.5-10 12.5 —	5.5-7.5 9 —	7.5 10 12.5	5.5 7.5 9	4 5.5-7.5 —	3 4-5.5 —	38	80	230	265	300	4	14	364 402 402	259
160 M 160 L	15-20 25	11-15 18.5	15 20	11 15	10 15	7.5 11	42	110	250	300	350	5	18	540	335
180 M 180 L	30 35	22 26	25 30	18.5 22	— 20	— 15	48	110	250	300	350	5	18	600	374
200 L	40-50	30-37	40	30	25-30	18.5-22	55	110	300	350	400	5	18	656	416
225 S 225 M	— 60	— 45	50 60	37 45	— 40	— 30	* 60	140	350	400	450	5	18	680	416
250 M	75	55	75	55	50	37	* 65	140	450	500	550	5	18	742	490
280 S	100 125	75 90	100 125	75 90	60 75	45 55	* 75	140	450	500	550	5	18	892	490

\* En motores de 2 polos: Gr. 225 D = 55; E = 110 Gr. 250 D = 60; E = 140 Gr. 280 D = 65; E = 140



TAMAÑO DEL MOTOR	2 POLOS		4 POLOS		6 POLOS		D	E	N	M	P	S	V	TÍPICO X	Y
	HP	KW	HP	KW	HP	KW									
63 A 63 B	0.25 0.33	0.18 0.25	0.16 0.25	0.12 0.18	—	—	11	23	60	75	90	2.5	M5	185	122
71 A 71 B	0.5 0.75	0.37 0.55	0.33 0.5	0.25 0.37	0.25 0.33	0.18 0.25	14	30	70	85	105	2.5	M6	211	140
80 A 80 B	1 1.5	0.75 1.1	0.75 1	0.55 0.75	0.5 0.75	0.37 0.55	19	40	80	100	120	3	M6	231	164
90 S 90 L 90 LL	2 3 —	1.5 2.2 —	1.5 2 2.5	1.1 1.5 1.8	1 1.5 —	0.75 1.1 —	24	50	95	115	140	3	M8	245 270 292	181
100 LA 100 LB	4 —	3 —	3 4	2.2 3	2 —	1.5 —	28	60	110	130	160	3.5	M8	304	207
112 M	5.5	4	5.5	4	3	2.2	28	60	110	130	160	3.5	M8	343	207

# LETRAS DE CÓDIGO DE ROTOR BLOQUEADO

## Y

### MÉTODOS DE ARRANQUE A VOLTAJE REDUCIDO

Cuando se hace arrancar un motor de CA con pleno voltaje (arranque directo o a través de la línea), el motor consume un amperaje de línea 300% a 600% mayor que su corriente de funcionamiento a plena carga. La magnitud de la “corriente de irrupción” (que se conoce también como amperios con el rotor bloqueado o enclavado, o LRA) está determinada por la potencia (hp) y las características de diseño del motor. Para definir las características de irrupción y presentarlas de manera simplificada, se usan letras de código. Estas letras de código agrupan a los motores dependiendo del rango de valores de irrupción y expresan la irrupción en términos de KVA (kilovoltamperios). Utilizando la base de kilovoltamperios, se puede usar una sola letra para definir los valores de irrupción de bajo y de alto voltaje en los motores de doble voltaje.

La Tabla 1 muestra las designaciones de las letras de código y sus respectivos valores.

LETRA DE CÓDIGO	RANGO EN KVA/HP	VALOR APROXIMADO DE MITAD DE RANGO	LETRA DE CÓDIGO	RANGO EN KVA/HP	VALOR APROXIMADO DE MITAD DE RANGO
A	0.00 - 3.15	1.6	L	9.0 - 10.0	9.5
B	3.15 - 3.55	3.3	M	10.0 - 11.2	10.6
C	3.55 - 4.0	3.8	N	11.2 - 12.5	11.8
D	4.0 - 4.5	4.3	P	12.5 - 14.0	13.2
E	4.5 - 5.0	4.7	R	14.0 - 16.0	15.0
F	5.0 - 5.6	5.3	S	16.0 - 18.0	17.0
G	5.6 - 6.3	5.9	T	18.0 - 20.0	19.0
H	6.3 - 7.1	6.7	U	20.0 - 22.4	21.2
J	7.1 - 8.0	7.5	V	22.4 - and up	
K	8.0 - 9.0	8.5			

**Tabla 1**

Para determinar los amperios de irrupción en el arranque a partir de la letra de código, deben introducirse en la ecuación correspondiente: el valor de la letra de código (el valor de mitad de rango es por lo general adecuado), los caballos de fuerza y el voltaje nominal de operación. La ecuación a usar se determina teniendo en cuenta si el motor es monofásico o trifásico.

$$\text{AMPERIOS DE IRRUPCIÓN (MOTORES MONOFÁSICOS)} = \frac{(\text{VALOR DE LA LETRA DE CÓDIGO}) \times \text{HP} \times 1000}{\text{VOLTAJE NOMINAL}}$$

$$\text{AMPERIOS DE IRRUPCIÓN (MOTORES TRIFÁSICOS)} = \frac{(\text{VALOR DE LA LETRA DE CÓDIGO}) \times \text{HP} \times 577}{\text{VOLTAJE NOMINAL}}$$

Las siguientes ecuaciones para motores trifásicos simplificadas dan resultados aproximados para motores de 3 fases clasificados para 200, 230, 460 ó 575 voltios:

200 voltios LRA = Valor de la Letra de Código x HP x 2.9

230 voltios LRA = Valor de la Letra de Código x HP x 2.5

460 voltios LRA = Valor de la Letra de Código x HP x 1.25

575 voltios LRA = Valor de la Letra de Código x HP x 1.0

## MÉTODOS DE ARRANQUE

El arranque directo [a través de la línea] se utiliza en un alto porcentaje, probablemente más del 95%, de las aplicaciones normales de motores. Otros métodos de arranque (a voltaje reducido) se utilizan especialmente para controlar la corriente de irrupción y limitarla a magnitudes que puedan manejarse con seguridad sin excesivas caídas de voltaje y su resultante parpadeo de luces. A veces se usan arrancadores de voltaje reducido para disminuir el par de arranque y suavizar la aceleración de las cargas. Se han desarrollado diversos métodos de arranque a voltaje reducido. La Tabla 2 indica los tipos comunes de arrancadores de voltaje reducido y los resultados que pueden esperarse en términos de voltaje del motor, corriente de línea y par de salida del motor. Debe tenerse sumo cuidado al aplicar arrancadores de voltaje reducido en ciertos tipos de carga. Por ejemplo, en una bomba centrífuga - que es muy fácil de arrancar - puede utilizarse arranque estrella-delta o arranque con devanado parcial. Estos métodos de arranque producen 33% y 50% respectivamente del par nominal de arranque del motor y pueden usarse para arrancar bombas centrífugas con facilidad. Ambos métodos permiten también arrancar un compresor en tanto esté sin carga, pero podrían tener dificultad en arrancar una transportadora inclinada con carga o una bomba de desplazamiento positivo dado el alto par de arranque que requieren estos tipos de cargas. El mejor método de arranque es el que logra el resultado deseado en cuanto a reducción de la corriente de irrupción y produce un par adecuado para arrancar la carga con seguridad.

### MOTORES DE INDUCCIÓN EN JAULA DE ARDILLA

MÉTODO DE ARRANQUE		% DEL VALOR DE PLENO VOLTAJE*		
		VOLTAJE EN EL MOTOR	CORRIENTE DE LÍNEA	PAR DE SALIDA DEL MOTOR
PLENO VOLTAJE		100	100	100
AUTOTRANSFORMADOR	TOMA DE 80%	80	64**	64
	TOMA DE 65%	65	42**	42
	TOMA DE 50%	50	25**	25
REACTOR PRIMARIO	TOMA DE 80%	80	80	64
	TOMA DE 65%	65	65	42
	TOMA DE 50%	50	50	25
RESISTOR PRIMARIO, VALOR TÍPICO		80	80	64
MOTORES DE ALTA VELOCIDAD, DEVANADO PARCIAL (1/2 - 1/2)		100	70	50
ARRANQUE EN ESTRELLA - MARCHA EN DELTA		100	33	33

\* Porcentaje del "Valor con Arranque Directo o a Través de la Línea".

\*\* La corriente magnetizante del autotransformador no está incluida. La corriente magnetizante es usualmente inferior al 25 por ciento de la corriente de plena carga del motor.

**Tabla 2**

Los arrancadores de voltaje reducido cuestan siempre bastante más que los arrancadores de pleno voltaje (directos). Los motores estándar pueden usarse con arrancadores tipo autotransformador, reactor primario y resistor primario. Asimismo, los motores de doble voltaje pueden usualmente utilizarse con arrancadores de devanado parcial, pero sólo en el bajo voltaje. Generalmente, los motores estrella-delta y los de devanado parcial para altos voltajes (por ejemplo, 460 ó 575 voltios) deben fabricarse bajo pedido especial. Por ello, su costo es mayor que el de los motores de disponibilidad normal aptos para utilizarse con otros tipos de arranque a voltaje reducido.

## ARRANCADORES DE ESTADO SÓLIDO

Hasta aquí hemos discutido los tipos tradicionales de arrancadores de voltaje reducido. El equipo más reciente es el control de arranque suave de estado sólido. Con este tipo de dispositivo, el voltaje se eleva electrónicamente en forma gradual desde un valor bajo al que el motor comienza a impulsar la carga, hasta el valor final de voltaje operativo a través de la línea. Este tipo de arrancador tiene la ventaja de ofrecer una aceleración suave controlada y una reducción substancial en la corriente de irrupción.

## RESUMEN

En general, es importante destacar que uno de los objetivos principales del arranque a voltaje reducido es limitar la corriente de irrupción a un valor aceptable para el sistema energético o la empresa local de electricidad. Hay asimismo beneficios adicionales derivados de todos los tipos de arranque a voltaje reducido. La reducción en los valores de par que resulta del menor voltaje aplicado reduce también el desgaste de los acoplamientos, las correas, los engranajes y demás equipos accionados por el motor. Los arrancadores de estado sólido ofrecen una transición suave desde el estado de reposo del motor hasta su plena velocidad, con corriente de línea reducida y control del par y aceleración del motor.

# **PARA ENTENDER EL CONCEPTO DE PAR**

**EDWARD H. COWERN, P.E.**

# ÍNDICE

	Página
Introducción .....	31
Elementos Básicos del Par .....	31
Caballos de Fuerza.....	32
Unidades de Velocidad Ajustable.....	32
Cargas de Par Constante .....	32
Cargas de Potencia Constante.....	33
Tabla de Caballos de Fuerza/Par .....	33
Cargas de Par Variable.....	34
Cargas de Alta Inercia .....	34
Inercias Reflejadas .....	37
Movimiento Lineal .....	38
Resumen .....	38

# PARA ENTENDER EL CONCEPTO DE PAR

Edward H. Cowern, P.E.

En el proceso de aplicación de equipos de accionamiento industrial, a veces se cree incorrectamente que lo que se aplica es potencia, o sea caballos de fuerza. La verdadera fuerza de accionamiento no es la potencia, es el PAR. Este artículo fue escrito para dar un conocimiento más profundo del concepto de par, su relación con la potencia, y los tipos de carga que se encuentran con mayor frecuencia.

## INTRODUCCIÓN

El par es la fuerza de torsión que un accionamiento proporciona a la carga. En la mayoría de las aplicaciones, se debe aplicar una cantidad substancial de par al eje accionado antes que éste pueda siquiera comenzar a girar. En el Sistema Inglés, las unidades estándar de par que se utilizan en la industria de la transmisión de potencia son las libra-pulgadas (lb. in.) o las libra-pies (lb. ft.) y en algunos casos, para niveles muy bajos de par, se usan las onza-pulgadas (oz. in.).

## ELEMENTOS BÁSICOS DEL PAR

En alguna ocasión, a todos nos ha sido difícil sacar la tapa de un frasco. Tenemos este problema por la simple razón que a veces no podemos aplicar un par adecuado a la tapa para poder soltarla. La solución a nuestro dilema puede ser: 1) apretar los dientes y esforzarse más; 2) utilizar una agarradera de goma, o un trapo, para transmitir mejor el par evitando el resbalamiento; ó 3) emplear un dispositivo mecánico que multiplique nuestra capacidad de producir par. Si nada de ello funciona, podemos darle el frasco a alguien más fuerte que pueda producir más par.

Si atamos una cuerda alrededor de la tapa y aplicamos una fuerza en el extremo de la cuerda a través de una balanza, como muestra la Figura 1, podríamos medir exactamente el par necesario para aflojar la tapa.

El par requerido sería la fuerza que indica la escala, multiplicada por el radio de la tapa.

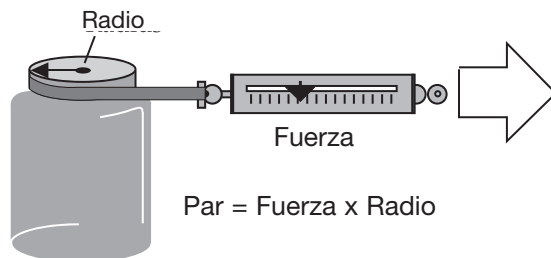


Figura 1

Por ejemplo, si la fuerza indicada en la balanza en el momento del “arranque” es de 25 lbs. y el radio de la tapa es de 1.5 pulgadas, el par requerido sería:

$$T = 25 \text{ lbs.} \times 1.5 \text{ pulg.} = 37.5 \text{ libra-pulgadas}$$

Si bien este ejemplo ilustra razonablemente bien el concepto de “par”, no constituye un ejemplo común de lo requerido por los equipos industriales.

Eso sí, hay un punto adicional importante que puede derivarse del ejemplo del frasco y su tapa: el de “adherencia”. El término “adherencia” indica la cantidad de par requerida para “soltar” una carga hacia su primera revolución.

En términos generales, el par inicial de arranque requerido por una máquina será substancialmente mayor que el necesario para mantenerla funcionando una vez que haya arrancado. La cantidad de “adherencia” en una máquina depende de las características de dicha máquina y del tipo de cojinetes que se utilizan en las partes móviles.

La Tabla 1 indica los valores típicos del par inicial de arranque para diversas clasificaciones generales de maquinaria.

## CARACTERÍSTICAS DEL PAR DE ARRANQUE Y DE FUNCIONAMIENTO DE DIVERSOS TIPOS DE CARGA

Par	% del Par de Funcionamiento	Tipos de Máquina
Par Inicial de Arranque	120% a 130%	Máquinas en general con ojinetes de bolas o de rodillos
Par Inicial de Arranque	130% a 160%	Máquinas en general con cojinetes de manguito
Par Inicial de Arranque	160% a 250%	Transportadoras y máquinas con excesiva fricción de deslizamiento
Par Inicial de Arranque	250% a 600%	Máquinas que tienen “altos” puntos de carga en su ciclo, como algunas prensas punzonadoras y de imprimir, y máquinas con mecanismos operados por “leva” o “manivela”.

Tabla 1

Suponiendo que se ha superado la “adherencia” o el par inicial de arranque, y que la carga ha arrancado, se deberá proporcionar una cantidad continua de par para cubrir el par de funcionamiento requerido por la máquina.

En un alto porcentaje de aplicaciones industriales, el par requerido por la carga es independiente de la velocidad a la que se acciona la máquina. Este tipo de carga es generalmente denominado “carga de par constante”.

Las cargas de par constante se usarán aquí para introducir el concepto básico de caballos de fuerza. Luego de discutir este concepto, presentaremos otros tipos de carga.

## CABALLOS DE FUERZA

Hace muchos años, la invención de la máquina de vapor hizo necesario establecer una unidad de medida para usar como base de comparación sobre cuánto trabajo podría efectuar una máquina. La unidad escogida estaba relacionada con el animal que la máquina habría de reemplazar como fuente de potencia - el caballo.

Luego de muchas pruebas, se determinó que el caballo de fuerza promedio podía realizar trabajo a una tasa igual a 33,000 libra-pies en un minuto. Esto equivale a levantar 1 tonelada (2,000 libras) a 16.5 pies ó 1,000 libras a 33 pies, en un minuto.

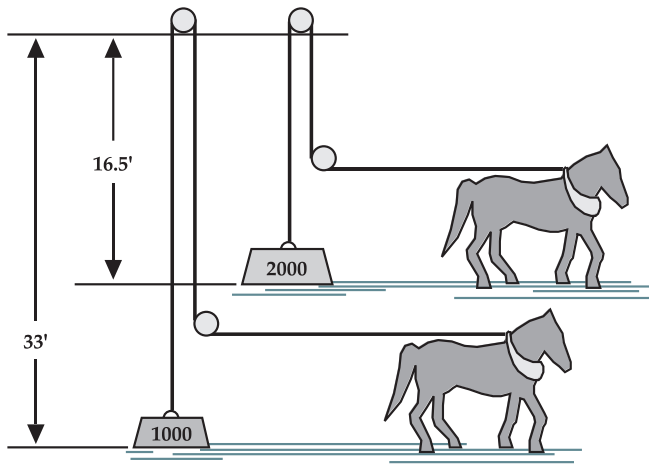


Figura 2

Esta unidad se ha establecido, en el Hemisferio Occidental, como la norma para medir la tasa a la cual los motores y otros equipos de accionamiento producen trabajo. Por ejemplo, un motor de 1 HP puede producir 33,000 libra-pies de trabajo en un minuto.

El par y la potencia (en caballos de fuerza) se relacionan entre sí por esta fórmula básica:

Caballos de Fuerza = (Par x Velocidad)/Constante

El valor de la constante cambia según las unidades que se usan para el par. Las combinaciones usadas más frecuentemente son:

$$HP = \frac{(T \times S)}{5252} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN LIBRA-PIES} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

O:

$$HP = \frac{(T \times S)}{63,025} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN LIBRA-PULGADAS} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

O:

$$HP = \frac{(T \times S)}{1,000,000} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN ONZA-PULGADAS} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

Reordenando estas fórmulas para obtener el par, tenemos las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{(HP \times 5252)}{S} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN LIBRA-PIES} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

O:

$$T = \frac{(HP \times 63,025)}{S} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN LIBRA-PULGADAS} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

O:

$$T = \frac{(HP \times 1,000,000)}{S} \quad \begin{array}{l} T = \text{PAR EN ONZA-PULGADAS} \\ S = \text{VELOCIDAD EN RPM} \end{array}$$

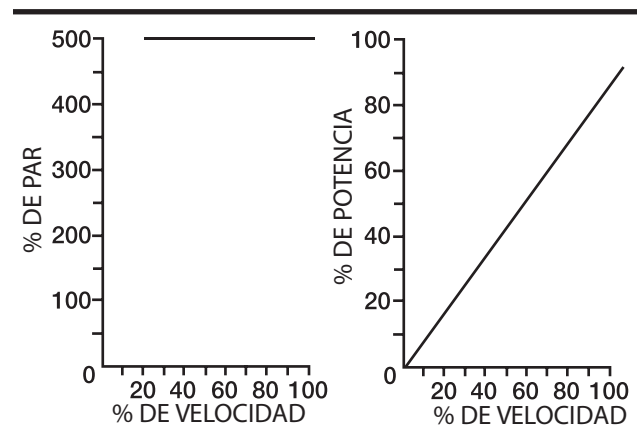
Para ganar tiempo, a menudo se utilizan gráficos y tablas que muestran los valores de par, velocidad y caballos de fuerza.

Lo indicado previamente se aplica al cálculo de todas las cargas de velocidad única donde se conocen el par y la velocidad requeridos para una determinada condición operativa.

## UNIDADES DE VELOCIDAD AJUSTABLE

Cuando se utilizan equipos de velocidad ajustable [regulable] como las unidades de CC tipo SCR, los acoplamientos magnéticos o las unidades de frecuencia variable, es preciso determinar el tipo de carga.

Como mencionamos arriba, el tipo más común es la carga de "par constante". La Figura 3 muestra las relaciones entre el par y la potencia (en caballos de fuerza) con la velocidad en las cargas de par "constante".



Relación Velocidad-Par con "Par Constante"

Figura 3

En el caso de las cargas de "par constante", el equipo deberá dimensionarse para manejar:

- 1) El par requerido para el arranque inicial de la carga.
- 2) El par requerido para accionar la carga.
- 3) La velocidad de salida necesaria para operar la máquina a la velocidad máxima requerida.

Debe notarse que la velocidad pasa a ser un factor relevante sólo después que 1) la carga haya arrancado, y 2) se disponga de par adecuado para accionar la carga.

Una vez que estos tres elementos han sido determinados, recién se puede calcular la potencia en caballos de fuerza requerida para la aplicación.

Las unidades de velocidad ajustable son, en su mayoría, inherentemente equipos de "par constante"; por lo tanto no hay consideraciones especiales sobre el manejo de cargas de "par constante".

## POTENCIA CONSTANTE

Un tipo de carga que se encuentra más frecuentemente en las aplicaciones de trabajo con metales, es el de Potencia (o Caballaje) Constante. En las aplicaciones que requieren potencia constante, el par requerido se maximiza a la velocidad más baja y disminuye al aumentar la velocidad. Podemos ver esto en la Figura 4, que ilustra el par requerido por una prensa taladradora.

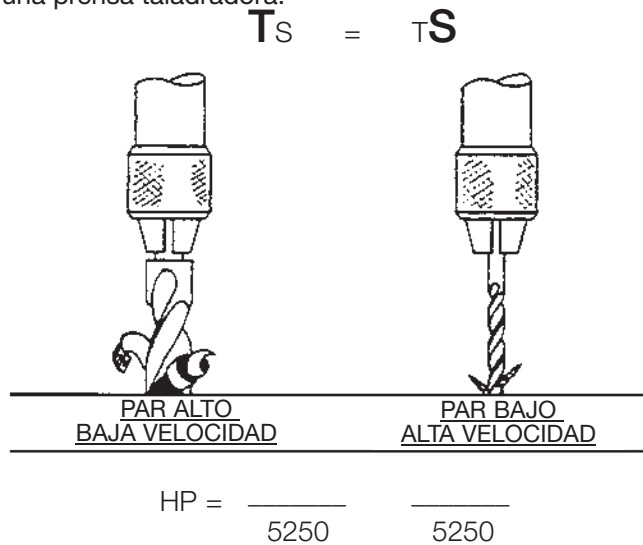
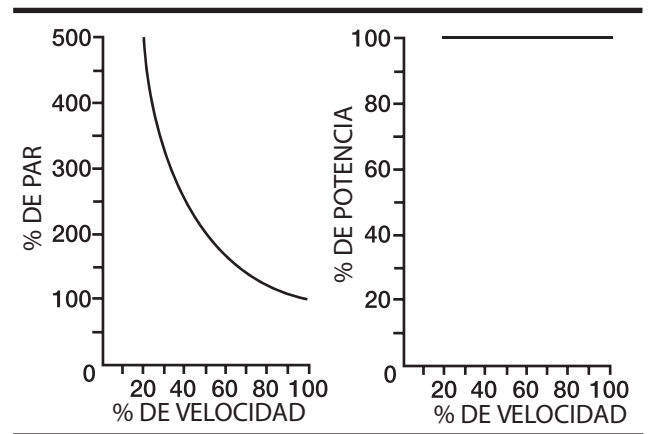


Figura 4

Para perforar un agujero grande, la máquina funciona a baja velocidad, pero se requiere un par muy alto para hacer girar el taladro grande sobre el material. Para perforar un agujero pequeño, la máquina funciona a alta velocidad, pero se requiere un par muy bajo para hacer girar el taladro pequeño sobre el material.

Un enfoque matemático en este caso indicaría que la potencia requerida es aproximadamente constante no importa cual sea la velocidad de la máquina. La Figura 5 muestra la relación entre el par y la potencia (en caballos de fuerza) con la velocidad en cargas de potencia constante.

Como indicáramos, este tipo de carga es más frecuente en aplicaciones de trabajo en metal como: taladrado o perforación, roscado, torneado (tornos mecánicos), cepillado, fresado, amolado, estiramiento de alambre, etc. Las bobinadoras que arrollan material a tensión constante también requieren potencia constante. Algunos tipos de mezcladoras pueden asimismo requerir potencia constante.



Relación Velocidad-Par con "Potencia (HP) Constante"

Figura 5

Otro ejemplo de esto sería una mezcladora de alimentos que se utiliza para mezclar una variedad de pastas y masa. La masa va a requerir baja velocidad y par alto, mientras que las pastas finas van a requerir alta velocidad y par bajo. Esto es, entonces, "Potencia Constante".

Las enrolladoras de resortes, las máquinas formadoras tipo "fourslide", las prensas punzonadoras y las prensas remachadoras tienen frecuentemente requisitos de par con características intermedias entre potencia constante y par constante. Una prueba general para decidir si una máquina va a requerir "Potencia Constante" es analizar su producción. Cuando una máquina ha sido diseñada para producir una cantidad fija de libras (o kilos) por hora sin importar si fabrica piezas pequeñas a alta velocidad o piezas grandes a baja velocidad, lo más probable es que requiera un equipo de accionamiento de "Potencia Constante".

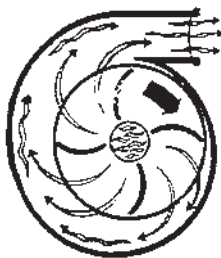
Si bien este artículo no cubre en detalle la selección de unidades para accionar cargas de potencia constante, algunas posibilidades son las siguientes.

Las cargas de "Potencia Constante" pueden manejarse sobredimensionando los equipos de accionamiento como las unidades tipo SCR estándar, o de acoplamiento deslizantes. Ello se hace igualando el par de salida del motor con el requerido por la máquina a baja velocidad. Dependiendo del rango de velocidad que se requiere, esto podría resultar en un sobredimensionamiento exagerado para las altas velocidades. Un enfoque más práctico consistiría en utilizar poleas escalonadas, transmisiones con cambios y accionamientos de polea de paso ajustable con correas metálicas o de caucho. Otro enfoque más sofisticado es el de utilizar unidades de CC (SCR) operando con una combinación de control del inducido a campo pleno hasta la velocidad base y debilitamiento de campo sobre la velocidad base. Algunas unidades de frecuencia variable pueden también usarse a frecuencias superiores a 60 Hz, manteniendo el voltaje constante para lograr un rango moderado de

velocidad a potencia constante.

### PAR VARIABLE

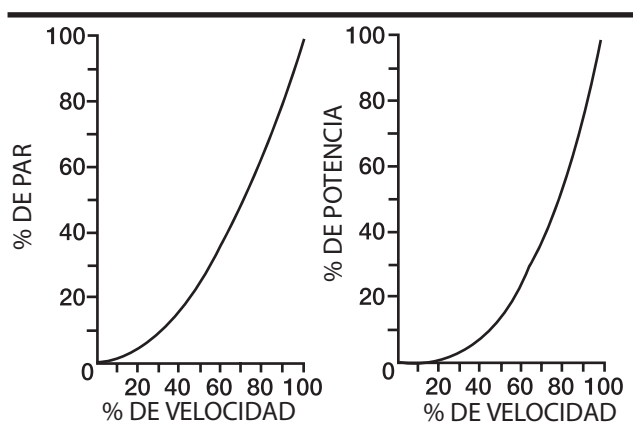
El último tipo de carga que se encuentra frecuentemente es el de "Par Variable". En general, las cargas de par variable corresponden sólo a las bombas centrífugas, los ventiladores y los sopladores. La Figura 6 muestra una sección transversal de bomba centrífuga. El par requerido por este tipo de carga puede considerarse casi opuesto al de la carga de "Potencia Constante". En una carga de par variable, el par requerido a baja velocidad es muy bajo, pero el par requerido a alta velocidad es muy alto. Matemáticamente, el par requerido es una función de la velocidad al cuadrado y la potencia es una función de la velocidad al cubo.



Bomba Centrífuga – Carga de Par Variable

Figura 6

Las relaciones del par y la potencia con la velocidad en las cargas de "Par Variable" se muestran en la Figura 7.



Variable Torque – Speed-Torque Relationships

Figure 7

La clave para dimensionar las unidades de accionamiento en cargas de "Par Variable" consiste estrictamente en proporcionar el par y la potencia adecuados a la velocidad MÁXIMA que se va a requerir. Debe enfatizarse lo de MÁXIMA ya que un incremento del 9% en la velocidad sobre la máxima normal producirá un incremento del 30% en la potencia requerida.

Es imposible estimar el número de motores que se han quemado cuando los usuarios, por error, cambiaron la relación de poleas para lograr un "mayor rendimiento" en sus bombas centrífugas o sopladores.

La Tabla 2 ilustra los grandes cambios en la potencia requerida frente a cambios relativamente pequeños en la velocidad que se producen en las cargas de "Par Variable".

% de Cambio en la Velocidad	% de Cambio en el Par	% del HP Original	% de Cambio en HP
-20	-36	51	-49
-15	-28	61	-39
-10	-19	73	-27
- 5	-10	86	-14
0	0	100	0
+5	+10	116	+16
+10	+21	133	+33
+15	+32	152	+52
+20	+44	173	+73

TABLA 2

La mayoría de las unidades de velocidad variable son esencialmente capaces de manejar cargas de "Par Variable" si se las dimensiona adecuadamente para proporcionar la potencia requerida a velocidad MÁXIMA.

### CARGAS DE ALTA INERCIA\*

Una discusión de los tipos de carga estaría incompleta si no incluye información sobre las "Cargas de Alta Inercia".

La inercia es la tendencia de un objeto que está en reposo a permanecer en reposo, o la de un objeto que está moviéndose a mantenerse en movimiento. En el área del accionamiento industrial, tendemos a pensar de inmediato en que los volantes tienen alta inercia; pero hay muchos otros tipos de equipos accionados por motores - por ejemplo, grandes ventiladores, centrífugas, extractores, trituradoras de martillo y ciertos tipos de máquinas herramienta - cuyas inercias deben identificarse y analizarse para poder ser aplicados satisfactoriamente.

\* En general, una carga es considerada como "de Alta Inercia" cuando la inercia reflejada en el eje del motor es más de cinco veces mayor que la inercia del rotor del motor.

## EL PROBLEMA DE LA ALTA INERCIA

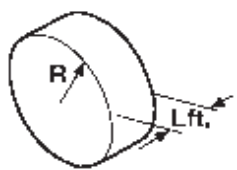

El factor de la alta inercia de una carga normalmente debe considerarse sólo durante la aceleración y la desaceleración. Por ejemplo, si se utiliza un motor estándar en un soplador con alta inercia, es posible que el motor se dañe o falle completamente en su primer intento de arranque. Esto puede ocurrir incluso si el motor tiene capacidad más que adecuada de par y de potencia para impulsar la carga luego de alcanzar la velocidad de funcionamiento necesaria. Un buen ejemplo de alta inercia, que nos resulta familiar, es el despegue de un avión de reacción. En este caso, se requiere la máxima salida de los motores para acelerar el peso del avión y su contenido. Recién cuando el avión alcanza velocidad de despegue y está casi listo para levantar vuelo, los motores comienzan a hacer el trabajo necesario para llevarlo a destino. De modo similar, durante el aterrizaje, el empuje negativo de los motores y los frenos son utilizados para desacelerar y detener la inercia del avión.

En la industria del motor y de los equipos de accionamiento, la inercia de un cuerpo giratorio se representa con WR2 o WK2. En el Sistema Inglés, "W" es el peso en libras y "R" o "K" es el Radio de Giro en pies. Por lo general es fácil obtener el peso de un cuerpo, pero determinar su radio de giro puede ser un poco más difícil. La Figura 8 presenta las fórmulas para determinar el radio de giro y el WR2 de dos cuerpos cilíndricos que se encuentran frecuentemente.

En la mayoría de los casos, el WR2 de los volantes puede determinarse usando uno de estos cuerpos normales, o ambos. En el caso de volantes con rayos, la contribución de los rayos puede generalmente ignorarse y basar el cálculo de la inercia sólo en la fórmula del Cilindro Circular Hueco, como muestra la Figura 8. Se deberá incluir el peso de los rayos. Si es necesario un cálculo exacto, existen fórmulas para calcular los valores de WR2 de casi todos los cuerpos geométricos.

Por lo general, los fabricantes de equipos pueden proporcionar los valores exactos de la inercia para determinadas aplicaciones. Para los límites máximos de WR2 en una aplicación específica, consultar al fabricante de los motores. (Nótese que WK2 y WR2 se usan de manera intercambiable y son equivalentes). Los valores que muestra la Tabla 3, en la página siguiente, están publicados en las normas MG 1 de NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos). Esta tabla da una lista de los valores máximos normales de WK2 que los motores estándar pueden manejar con seguridad. Dicha tabla puede usarse como una guía. Si el WK2 requerido excede estos valores, se deberá consultar al fabricante del motor. Es también importante notar los detalles de los párrafos 1, 2 y 3 relacionados con esta tabla. Si el número de arranques requerido es diferente o el método de arranque no es el directo ("a través de la línea"), se deberá consultar al fabricante del motor.

La Figura 9(a) es un gráfico típico del par disponible en un motor estándar respecto a su velocidad. La Figura 9(a) incluye asimismo la curva típica de velocidad-par para una carga de Par Variable. Los valores de A1, A2, A3 y A4 son los pares disponibles para superar el efecto de la inercia y acelerar la carga a diferentes velocidades del motor a medida que dicha velocidad va aumentando. En la Figura 9(b) puede observarse que durante el período de aceleración este motor consume corriente de línea comenzando a un 550% de la corriente nominal y decreciendo gradualmente a medida que el motor se acerca a su velocidad nominal. Durante este intervalo de alta corriente se genera mucho calor dentro del motor. Esta acumulación de calor es potencialmente perjudicial para el motor si el intervalo de aceleración es demasiado prolongado.

PARTE	RADIO DE GIRO (EN PIES)	TAMAÑO DE LA CARGA WR2 = LIBRAS X PIES <sup>2</sup>
CILINDRO CIRCULAR 	.71R	$1.58 W L R^4$ $(R^4 = R \times R \times R \times R)$ W = peso en libras de un pie cúbico del material
CILINDRO CIRCULAR HUECO 	$.71 \sqrt{R_2^2 + R_1^2}$	$1.58 W L (R_2^4 + R_1^4)$ W = peso en libras de un pie cúbico del material

W: Acero = 490 Hierro Fundido = 450 Aluminio = 165

Figura 8

## ¿POR QUÉ ES UN PROBLEMA LA ALTA INERCIA?

Antes del momento en que alcanza su velocidad de funcionamiento, un motor de inducción normal consume corriente de línea en una magnitud varias veces mayor que su respectivo valor nominal. Esta alta corriente no causa ningún problema si se trata de un período corto; pero cuando las altas corrientes persisten durante un período prolongado de tiempo, la temperatura en el motor puede subir a niveles que podrían dañarlo.

HP	Velocidad, RPM						
	3600	1800	1200	900	720	600	514
	WK <sup>2</sup> de la Carga (Excluyendo el WK <sup>2</sup> del Motor), Lb-Ft <sup>2</sup>						
1	—	5.8	15	31	53	82	118
1½	1.8	8.6	23	45	77	120	174
2	2.4	11	30	60	102	158	228
3	3.5	17	44	87	149	231	335
5	5.7	27	71	142	242	375	544
7½	8.3	39	104	208	355	551	799
10	11	51	137	273	467	723	1050
15	16	75	200	400	684	1060	1540
20	21	99	262	525	898	1390	2020
25	26	122	324	647	1110	1720	2490
30	31	144	384	769	1320	2040	2960
40	40	189	503	1010	1720	2680	3890
50	49	232	620	1240	2130	3300	4790
60	58	275	735	1470	2520	3820	5690
75	71	338	904	1810	3110	4830	7020
100	92	441	1180	2370	4070	6320	9190
125	113	542	1450	2920	5010	7790	11300
150	133	640	1720	3460	5940	9230	—
200	172	831	2240	4510	7750	—	—
250	210	1020	2740	5540	—	—	—
300	246	1200	3240	—	—	—	—
350	281	1370	3720	—	—	—	—
400	315	1550	—	—	—	—	—
450	349	1710	—	—	—	—	—
500	381	1880	—	—	—	—	—

Copyright NEMA MG 1

Valor de WK<sup>2</sup> de la Carga en Motores de Inducción Polifásicos tipo Jaula de Ardilla, de Potencia Integral.

La tabla de arriba presenta una lista de los valores de WK<sup>2</sup> de la carga a los cuales los motores de inducción polifásicos tipo jaula de ardilla de potencia integral que tengan características de desempeño en conformidad con la Parte 12\*, pueden acelerar sin experimentar un recalentamiento perjudicial, bajo las siguientes condiciones:

1. Voltaje y frecuencia aplicados en conformidad con 12.44.
2. Durante el período de aceleración, el par de la carga conectada es igual o menor que un par que varía según el cuadrado de la velocidad y es igual al 100 por ciento del par de la carga nominal a la velocidad nominal.
3. Dos arranques en sucesión (parando por inercia hasta reposar entre arranques) con el motor inicialmente a temperatura ambiente, o un sólo arranque con el motor inicialmente a una temperatura que no exceda su temperatura de operación bajo carga nominal.

\* Par con rotor bloqueado en conformidad con 12.38.1, par máximo en conformidad con 12.39.1, sistema de aislamiento Clase A o B con incremento de temperatura en conformidad con 12.43, y factor de servicio en conformidad con 12.51.2.

**Tabla 3**

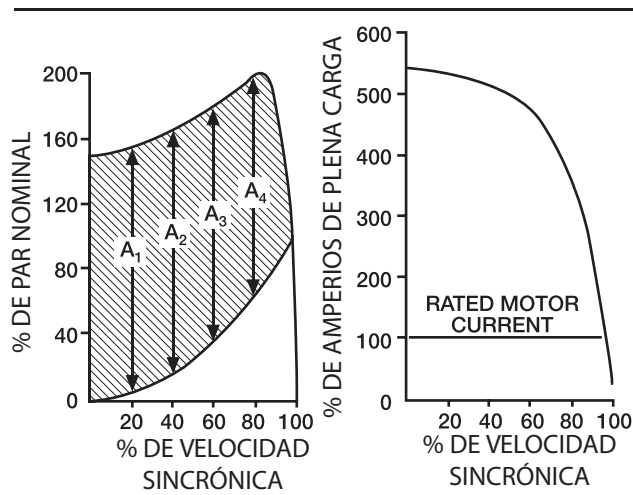


FIGURA 9(A)

FIGURA 9(B)

La Figura 9(a) es un gráfico típico del par disponible en un motor estándar respecto a su velocidad. La Figura 9(a) incluye asimismo la curva típica de velocidad-par para una carga de Par Variable. Los valores de A1, A2, A3 y A4 son los pares disponibles para superar el efecto de la inercia y acelerar la carga a diferentes velocidades del motor a medida que dicha velocidad va aumentando.

En la Figura 9(b) puede observarse que durante el período de aceleración este motor consume corriente de línea comenzando a un 550% de la corriente nominal y decreciendo gradualmente a medida que el motor se acerca a su velocidad nominal. Durante este intervalo de alta corriente se genera mucho calor dentro del motor. Esta acumulación de calor es potencialmente perjudicial para el motor si el intervalo de aceleración es demasiado prolongado.

### ¿CUÁL ES EL TIEMPO DE ACELERACIÓN?

El tiempo para acelerar una carga acoplada directamente puede calcularse con facilidad utilizando la siguiente fórmula:

$$t = \frac{(WR^2 \times N)}{308T}$$

T = PAR ACELERADOR PROMEDIO EN LB. FT. (LIBRA-PIES)

N = CAMBIO REQUERIDO EN LA VELOCIDAD

WR<sup>2</sup> = INERCIA EN LB. FT.<sup>2</sup>

t = TIEMPO EN SEGUNDOS

Esta misma fórmula puede reordenarse para determinar el par acelerador promedio requerido para producir plena velocidad en un determinado período de tiempo.

$$T = \frac{(WR^2 \times N)}{308t}$$

Volviendo a la Figura 9(a), el par acelerador sería el valor promedio del área sombreada. En la mayoría de los casos, para los motores estándar de hasta 100 HP, es razonable suponer que el par acelerador promedio disponible será de un 150% del par de

funcionamiento a plena carga del motor y que un tiempo de aceleración de 8-10 segundos o menos no será perjudicial en tanto que el arranque no se repita frecuentemente. Si las inercias de carga son mayores que las indicadas en la Tabla 3, se recomienda solicitar al fabricante del motor un análisis completo de la aplicación.

### INERCIAS REFLEJADAS

Hasta este punto, las únicas inercias de carga que se han considerado han sido las inercias de rotación de cargas conectadas directamente al eje del motor. En muchas aplicaciones, la carga está conectada al motor mediante correas o engranajes reductores. En estos casos, es importante considerar la "Inercia Equivalente" o "Inercia Reflejada" que se detecta en el eje del motor.

En el caso de cargas conectadas con correa o engranaje reductor, la "Inercia Equivalente" se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$WR^2 \text{ EQUIVALENTE} = WR^2_{\text{CARGA}} \left[ \frac{N}{NM} \right]^2 \times 1.1^*$$

WR<sup>2</sup><sub>CARGA</sub> = INERCIA DE LA PIEZA GIRATORIA

N = VELOCIDAD DE LA PIEZA GIRATORIA

NM = VELOCIDAD DEL MOTOR IMPULSOR

\* Favor de observar: el factor x 1.1 ha sido añadido como factor de seguridad para tomar en cuenta la inercia y la eficiencia de las poleas (roldanas) o engranajes que se utilizan para el cambio de velocidades.

Esta fórmula es aplicable sin importar si la velocidad de la carga es mayor o menor que la velocidad del motor.

Una vez que se ha calculado la inercia equivalente, se puede determinar el tiempo de aceleración o el par requerido substituyendo WR<sup>2</sup> Equivalente en la respectiva ecuación de tiempo o de par.

### QUÉ PUEDE HACERSE

Cuando hay que trabajar con cargas de alta inercia, se pueden utilizar diversos enfoques. Algunas de las posibilidades son las siguientes:

1. Sobredimensionar el motor.
2. Usar arranque a voltaje reducido.
3. Emplear un diseño especial de devanado en el motor.
4. Utilizar acoplamientos deslizantes especiales entre el motor y la carga.
5. Sobredimensionar la carcasa.
6. Usar una unidad de velocidad ajustable.

## **MOVIMIENTO LINEAL**

Algunas veces se encuentran aplicaciones donde la carga a acelerar se mueve en línea recta en lugar de girar. En este caso, es necesario calcular un WR2 equivalente para el cuerpo que se desplaza linealmente. La ecuación para realizar esta conversión es la siguiente:

$$WR2 \text{ EQUIVALENTE} = W(V)^2/39.5 (SM)^2$$

W = PESO DE LA CARGA EN LIBRAS

V = VELOCIDAD DE LA CARGA EN PIES POR MINUTO

SM = VELOCIDAD DEL MOTOR EN RPM CUANDO LA CARGA SE DESPLAZA A LA VELOCIDAD V

Una vez que se ha calculado el valor de WR2 equivalente, el tiempo de aceleración o el par acelerador requerido se determinan usando las mismas ecuaciones que para las cargas giratorias.

## **RESUMEN**

La fuerza de rotación de las máquinas es el par, no la potencia o caballaje.

La potencia combina el par con la velocidad para determinar la cantidad total de trabajo que debe lograrse en un período específico de tiempo.

En todos los casos, la potencia requerida en una aplicación de velocidad única puede calcularse en base al par requerido a la velocidad nominal, conjuntamente con la velocidad requerida.

Cuando se utilizan unidades de velocidad variable, es necesario también determinar el tipo de carga.

La mayor parte de las aplicaciones requieren ya sea Par Constante o Par Variable. Las aplicaciones de corte de metales y de formación de piezas metálicas frecuentemente requieren Potencia Constante.

Las cargas de alta inercia deben manejarse con cuidado debido a las altas corrientes que absorben los motores durante el período de arranque. Si existe alguna duda con respecto a la capacidad de aceleración segura, se deberá consultar al fabricante del motor sobre la aplicación correspondiente.

Para poder seleccionar correctamente un equipo de accionamiento, es esencial entender bien el concepto de par.

---

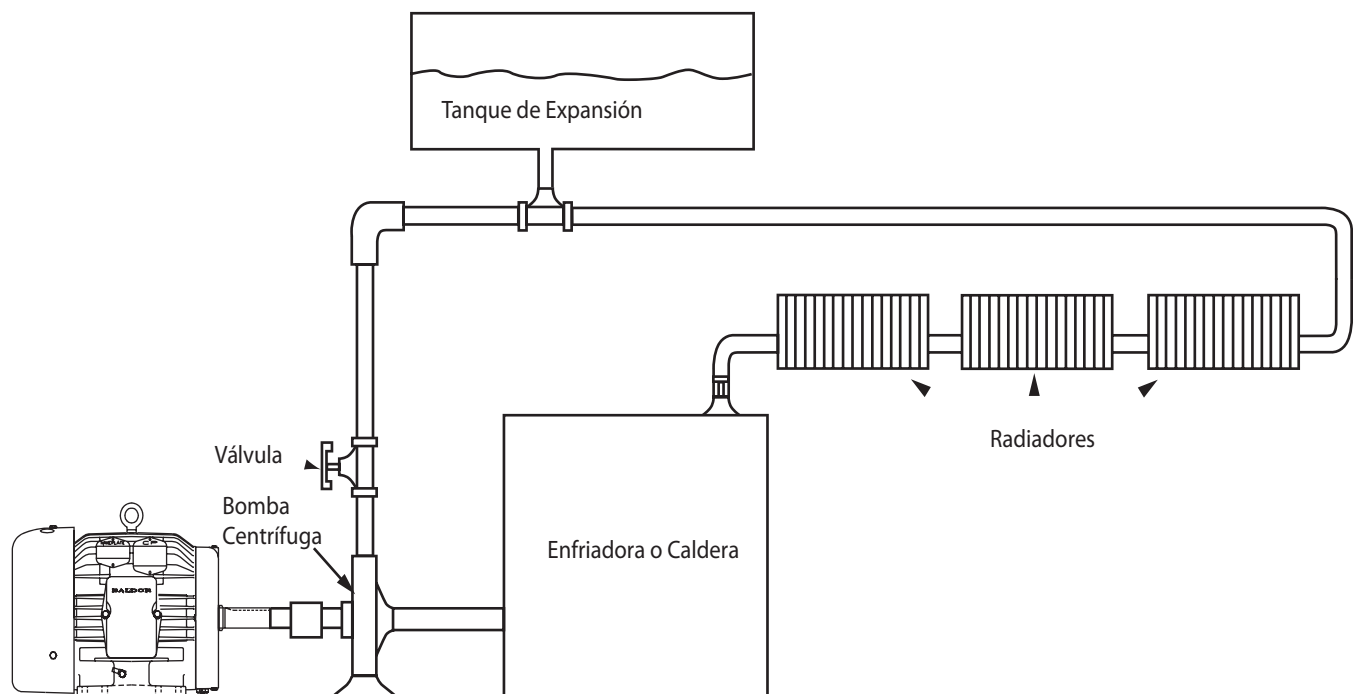
## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

Par	Fuerza de torsión medida en libra-pulgadas, en libra-pies o en onza-pulgadas.
Caballos de fuerza	Una medida del trabajo efectuado por unidad de tiempo. 33,000 libra-pies por minuto = 1 HP
Adherencia	Término utilizado para describir el par requerido para el arranque inicial de una carga.
Carga de Par Constante	Una carga donde el par de accionamiento requerido es independiente de la velocidad.
Unidad de Velocidad Variable	Un equipo de accionamiento cuya velocidad es ajustable para tomar en cuenta cambios en el flujo o régimen de la velocidad.
Tipo de Carga	Clasificación de las cargas según el par y potencia que requieren de acuerdo a la velocidad.
Potencia Constante	Un tipo de carga donde el par requerido es mayor a bajas velocidades y se reduce al aumentar la velocidad.
Par Variable	Un tipo de carga donde el par de accionamiento requerido aumenta con la velocidad. Este tipo de carga está usualmente relacionado con bombas centrífugas y sopladores.
Inercia	La tendencia de una carga a resistir aumentos o disminuciones en la velocidad.
Cargas de Alta Inercia	Cargas que presentan características de volante.
WR2 o WK2	Una medida de inercia vinculada con el peso y el radio de giro de un cuerpo giratorio.
Radio de Giro	Un radio al cual se puede suponer la existencia del peso total de un cuerpo a fin de calcular la inercia.
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos. Es una organización que tiene la responsabilidad de establecer numerosas normas industriales para equipos eléctricos.
Carga Acoplada Directamente	Una carga que está acoplada directamente al eje del motor, donde la velocidad de la carga es igual a la velocidad del motor.
Inercia Reflejada	Término usado para relacionar la inercia de la carga al eje del motor en cargas impulsadas por correas o engranajes que aumentan o disminuyen la velocidad. Se la denomina también "Inercia Equivalente".
Movimiento Lineal	Movimiento en línea recta, como el que se encuentra en los automóviles y diversos tipos de transportadoras.

## VENTILADORES, SOPLADORES Y OTRAS CARGAS EXTRAÑAS

Una familia de aplicaciones de motores que tiende a confundir a quienes no trabajan regularmente con las mismas, es la de las Cargas de Par Variable. Estas cargas representan un alto porcentaje de los requisitos motrices, así que conviene tener algún conocimiento extra sobre los “aspectos misteriosos” de las mismas. Primero, las Cargas de Par Variable son los ventiladores, los sopladores y las bombas centrífugas. En general, los ventiladores y los sopladores desplazan aire, pero las bombas centrífugas pueden desplazar diversos tipos de líquidos, como ser agua, productos petrolíferos, refrigerantes, etc.

Estas cargas tienen dos características “misteriosas”. La primera, es la forma en que actúan cuando cambia la velocidad. Las reglas sobre dichas características se denominan “leyes de afinidad”. Para simplificar, discutiremos solamente el desempeño de estas cargas en lo que respecta a sistemas donde la carga no está cambiando. Por ejemplo, podemos discutir una instalación de bombeo como el que muestra la Figura 1. Se trata de una bomba que hace circular agua enfriada o caliente a través de un sistema cerrado. En este caso, el par requerido para accionar la bomba aumenta como función del cuadrado de la velocidad ( $\text{Velocidad}^2$ ). O sea que un aumento de la velocidad hace que el par requerido por la bomba se incremente, no directamente con la velocidad, sino en proporción al cambio de la velocidad al cuadrado. Por ejemplo, si cambiamos la velocidad de 1160 a 1760 RPM, el par requerido aumentará en la proporción  $(1760 \div 1160)^2$ . Esto significa que el par requerido va a aumentar 2.3 veces, hasta un 230% del valor original. Asimismo, como la potencia (HP) se basa en la velocidad multiplicada por el par y la velocidad ha aumentado en un 52%, el nuevo valor de HP será de  $2.30 \times 1.52$ , o sea casi un 350% de la potencia requerida a la velocidad original.



**Sistema de Circulación de Agua**

El notable incremento en la potencia (caballaje) que se requiere para accionar estas cargas cuando aumenta la velocidad es un poco difícil de comprender, pero es muy importante. Es asimismo importante porque pequeñas disminuciones en la velocidad pueden resultar en grandes ahorros de energía. Por ejemplo, reduciendo la velocidad de una carga de par variable en tan sólo un 20% se obtendrá una reducción de casi un 50% en la energía impulsora. Obviamente, esto tiene mucha importancia desde el punto de vista de la conservación. Asimismo, justifica el excelente mercado que tienen las unidades de frecuencia variable que operan sistemas de Volumen Variable de Aire (VAV) utilizados en calefacción, ventilación y aire acondicionado, y las bombas de velocidad variable que se usan en sistemas similares.

La segunda característica sorprendente de las cargas de par variable es que la carga del motor efectivamente disminuye cuando la salida o entrada al soplador o la bomba es bloqueada o restringida. Esta sería la situación en la Figura 1 cuando se cierra la válvula. Inversamente, la carga del motor aumenta en forma sustancial al quitarse las restricciones. Por ejemplo, cierta vez me llamó un cliente al que un motor se le había quemado operando un soplador en un sistema de calefacción; el motor impulsaba un soplador que extraía aire a través de un filtro y lo alimentaba a un sistema de distribución por conductos. Le pregunté si se habían hecho otros cambios en el sistema y me dijo: “Bueno, extendimos los conductos a otra sala y cortamos un extremo para dejar que circule el aire, pero ésto debería haber hecho más fácil el trabajo del motor, no más difícil”. Cuando le dije que en realidad era todo lo contrario, no lo podía creer. Parece ilógico que agregar una restricción a la salida del soplador disminuya la carga del motor. Si no lo cree, haga esta prueba sencilla. Tome una aspiradora y escuche atentamente mientras abre y cierra alternativamente el mecanismo de succión. Al principio le parecerá que el ruido “más fuerte” viene del motor esforzándose cuando la succión es mayor, pero si escucha con más atención notará que el tono de sonido del motor aumenta cuando se cierra la succión. Lo que esto significa es que se está reduciendo la carga en el motor, y éste acelera. Si todavía lo duda, haga la misma prueba pero colocando un amperímetro en el motor. Notará que el amperaje cae al aumentar el nivel de la succión. Lo mismo sucede en las bombas centrífugas: al cerrar o restringir la salida, la bomba consume menos potencia mecánica. Se puede también observar ésto cuando se cierra la salida de una bomba centrífuga o de un soplador tipo jaula de ardilla, y el aire o el fluido que queda en la caja actúa como un “volante líquido”, girando con las paletas de la bomba o del soplador. Como no está entrando más fluido para ser acelerado, sólo se requiere energía para compensar las pérdidas por fricción en la caja de la bomba o del soplador. ¡Esto pareciera no tener sentido, pero es cierto!

Otro ejemplo sería el de los ventiladores en un equipo recolector de polvo, cuya carga máxima se produce cuando el área donde se lo aplica está bien limpia. Al recubrirse de polvo las bolsas de filtrado, la contrapresión aumenta y se reduce la carga en el soplador y el motor.

La cantidad de sobrecarga o de carga mínima que resulta de cambios en la “contrapresión” de la bomba o el soplador, depende del diseño específico del impulsor utilizado. Algunos tipos de bombas y sopladores están diseñados para no experimentar sobrecargas. Pero en la mayoría de los casos, la peor sobrecarga se produce bajo condiciones de descarga abierta.

## **RESUMEN**

Al trabajar con Cargas de Par Variable, las cosas no son siempre lo que aparentan ser. Si existiera alguna duda sobre el desempeño de este tipo de equipo, se recomienda consultar al fabricante.

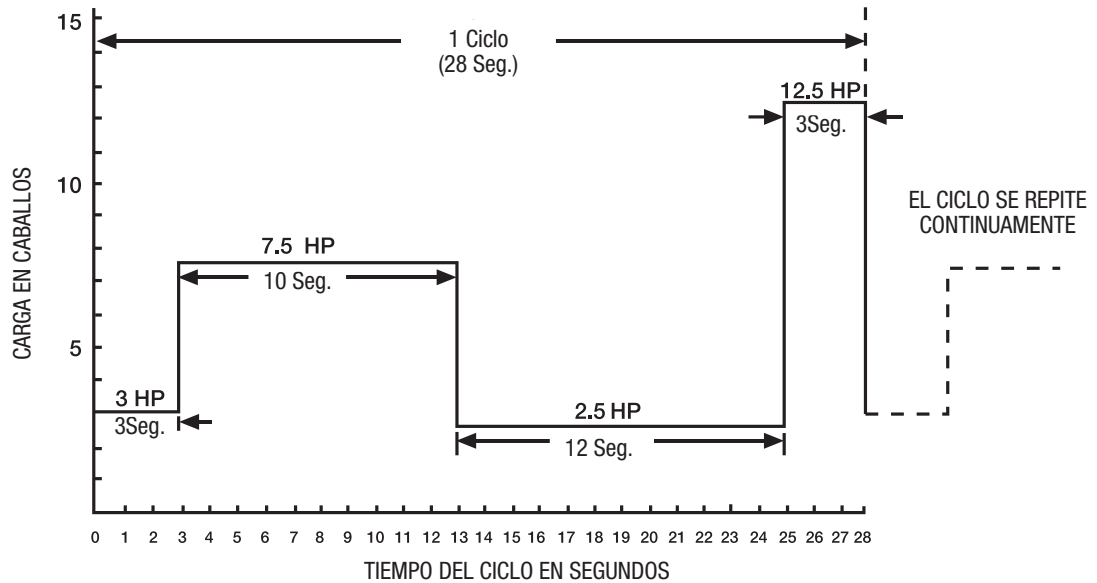
## CARGA DE POTENCIA EFICAZ (RMS)

Hay numerosas aplicaciones, especialmente en hidráulica y en máquinas con accionamiento hidráulico, cuyos requisitos de carga fluctúan grandemente. En algunos casos, las cargas máximas se mantienen por períodos relativamente cortos durante el ciclo normal de la máquina. A primera vista, parecería que al motor habría que dimensionarlo para que pueda manejar la peor parte del ciclo de carga. Por ejemplo, si un ciclo incluye un período de tiempo en el que se requieren 18 HP, lo natural sería utilizar un motor de 20 HP. Un enfoque más práctico para este tipo de “cargas de ciclo de trabajo” aprovecha la capacidad del motor eléctrico para soportar condiciones de considerable sobrecarga, en tanto el período de sobrecarga sea relativamente breve en relación al tiempo total del ciclo.

El procedimiento de calcular si un motor será o no apropiado para una determinada aplicación cíclica, se conoce como método de carga de potencia eficaz o RMS (raíz cuadrada de la media de los cuadrados). Los cálculos necesarios para dimensionar adecuadamente un motor para este tipo de aplicación son relativamente sencillos y se presentan en este artículo.

Los cálculos del valor RMS toman en cuenta el hecho de que la acumulación de calor dentro del motor es mucho mayor con una sobrecarga del 50% que bajo condiciones normales de operación. Por lo tanto, lo importante es el promedio ponderado de la potencia en caballos de fuerza. Los cálculos de RMS determinan el caballaje medio ponderado.

Además de reducir el tamaño y el costo de un motor para una aplicación específica, el método de carga eficaz ofrece la ventaja de mejorar la eficiencia global y el factor de potencia en cargas de tipo “ciclo de trabajo”. Por ejemplo, cuando un motor sobredimensionado opera con una carga liviana su eficiencia es relativamente baja, así que haciendo que el motor trabaje más fuerte (con mayor caballaje medio) resultará generalmente en una mejor eficiencia global y una reducción en el costo de operación. Para poder usar el método RMS de determinación de la potencia, el ciclo de trabajo deberá indicarse en detalle, como se muestra en el ejemplo siguiente.



Paso	Caballos de Fuerza	Duración (segundos)
1	3	3
2	7.5	10
3	2.5	12
4	12.5	3

Se repite continuamente.

Para determinar la carga eficaz (RMS) para el ciclo previo, podemos usar esta fórmula:

$$\text{RMS HP} = \sqrt{\frac{\text{HP}_1^2 \times t_1 + \text{HP}_2^2 \times t_2 + \text{HP}_3^2 \times t_3 + \text{HP}_4^2 \times t_4 + \dots + \text{HP}_x^2 \times t_x}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots + t_x}}$$

La forma más fácil de realizar este tipo de cálculo es hacer varias columnas, como se muestra abajo, llenándolas con los detalles correspondientes.

Paso	Caballos de Fuerza	HP <sup>2</sup>	Duración (Segundos)	HP <sup>2</sup> x Tiempo
1	3.0	9.0	3	27.0
2	7.5	56.3	10	563.0
3	2.5	6.3	12	75.6
4	12.5	156.3	3	468.8
			28	1134.4

En este caso, el tiempo total del ciclo es de 28 segundos y la suma del caballaje al cuadrado multiplicado por el tiempo en cada paso del ciclo es igual a 1134.4. Introduciendo estos valores en la ecuación, el valor de la potencia eficaz es:

$$\text{RMS HP} = \sqrt{\frac{1134.4}{28}} = \sqrt{40.5} = 6.4$$

A primera vista, parecería que un motor de 7-1/2 HP será adecuado para manejar la carga requerida en este ciclo de trabajo. Pero es preciso también verificar si el motor ofrece un par de desenganche (par máximo) apropiado para manejar la "peor" parte del ciclo de trabajo sin atascarse. En este caso, será necesario consultar los datos de fábrica del motor y determinar el porcentaje de par de desenganche disponible.

Se deberá utilizar un factor de seguridad adicional porque el par de desenganche del motor varía según el voltaje aplicado. En efecto, el par de desenganche varía en relación al cuadrado del voltaje aplicado. Así, cuando el motor está funcionando a un 90% del voltaje nominal, el par de desenganche disponible es solamente de .9 x .9, o aproximadamente un 80% del valor que tiene a pleno voltaje nominal. Por esta razón, nunca es seguro usar el valor completo del par de desenganche para determinar si se puede manejar la sobrecarga. Como buena regla práctica, se recomienda no usar más de un 80% del par nominal de desenganche para verificar si la capacidad del motor es adecuada para la aplicación específica.

En este caso, consultando la Sección de Datos de Ingeniería de Baldor en [www.baldor.com](http://www.baldor.com) o en el CD ROM, veremos que un motor abierto a prueba de goteo de 7-1/2 HP, con número de catálogo M3311T, tiene un par máximo de 88.2 libra-pies y un par de operación a plena carga de 22.3 libra-pies. Por lo tanto, el par de desenganche real es de 395%, y utilizando un 80% de este valor comprobaremos que el par de desenganche seguro disponible es de 316%.

Para el ciclo de trabajo que se muestra, el porcentaje de par de desenganche requerido puede determinarse por el cociente de la potencia máxima a la potencia nominal como se indica a continuación:

$$\% \text{ de Par de Desenganche Requerido} = [12.5 (\text{Punto de HP Máx.}) / 7.5 (\text{HP Seleccionado})] \times 100 = 167\%$$

Como el par de desenganche disponible a un 90% del voltaje nominal es de 316%, dicho motor de 7-1/2 HP será más que adecuado para desempeñarse en esta aplicación específica.

La fórmula y el ejemplo previos se pueden usar en aplicaciones donde el ciclo de trabajo se repite continuamente, sin interrupción. Cuando el ciclo de trabajo incluye un período de tiempo de interrupción, debe utilizarse una fórmula diferente, que se presenta a continuación:

$$\text{RMS HP} = \sqrt{\frac{\text{HP}_1^2 \times t_1 + \text{HP}_2^2 \times t_2 + \text{HP}_3^2 \times t_3 + \dots + \text{HP}_x^2 \times t_x}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_x + t_{s/C}}}$$

donde  $t_s$  = número de segundos en que el motor está parado  
 y  $C = 3$  (para motores abiertos a prueba de goteo)  
 o  $C = 2$  (para motores totalmente cerrados)

Esta fórmula es casi igual a la anterior pero ha sido modificada para reflejar el hecho que el motor, durante el tiempo en que no está operando (cuando está parado), también pierde su capacidad de autoenfriarse.

El período total de tiempo para el que se puede calcular adecuadamente la carga de potencia eficaz (RMS) depende hasta cierto punto del tamaño del motor, pero este método puede generalmente utilizarse con seguridad en ciclos de trabajo que duran menos de cinco (5) minutos desde el inicio al fin (de un ciclo completo). Si el tiempo total del ciclo excede de 5 minutos, se deberá solicitar al fabricante del motor un análisis más detallado de la aplicación específica.

## **RESUMEN**

La carga de potencia eficaz (RMS) es una forma muy práctica de reducir el caballaje requerido del motor en las cargas cíclicas. Al reducirse la potencia del motor se reduce también el tamaño físico y el costo inicial del mismo, lográndose también algo de mejora en la eficiencia y de disminución en los costos de operación. Si el procedimiento de selección se realiza cuidadosamente, se puede esperar excelente desempeño y confiabilidad en el equipo completo.

Con frecuencia se hacen cálculos similares para servomotores y otras aplicaciones de velocidad ajustable. En estos casos, los caballos de fuerza son substituidos por los amperios del inducido o los pares requeridos. Los amperios eficaces (RMS) o el par eficaz (RMS) requerido resultantes se comparan con los respectivos valores continuos y máximos del motor, para determinar si éste es adecuado para la aplicación específica.

Si tiene cualquier pregunta sobre este método de dimensionamiento del motor, no deje de consultarnos.

## **FACTORES QUE DETERMINAN LAS CUENTAS DE ELECTRICIDAD INDUSTRIALES**

### **INTRODUCCIÓN**

Existe bastante confusión sobre los factores que determinan las cuentas de electricidad industriales. La siguiente información se suministra para ayudar a identificar los diversos elementos en que se basa la facturación, y para sugerir medidas que ayuden a controlar y reducir las cuentas de electricidad. Las cuentas de energía eléctrica industrial están determinadas por tres factores básicos y un elemento opcional. Ellos son:

- 1 - El consumo de kilowatt-horas
- 2 - Los ajustes por costo de combustible
- 3 - La demanda de kilowatts
- 4 - Las multas por factor de potencia (de ser aplicadas)

### **KILOWATT-HORAS**

El primero de estos factores es el más fácil de comprender, ya que estamos familiarizados con el mismo por experiencia propia en nuestros hogares. El consumo de kilowatt-horas es la medida de la energía eléctrica que se ha usado durante el período de facturación, sin importar cómo o cuándo ha sido usada. Por lo general se determina mensualmente tomando lecturas de los kilowatt-horas acumulados en el cuadrante de un kilowatt-horímetro convencional.

### **AJUSTES POR COSTO DE COMBUSTIBLE**

El ajuste por costo de combustibles es un factor de ajuste que se determina mensualmente. Se basa en el costo del combustible usado para producir energía durante un mes dado. Por ejemplo, en zonas donde la energía hidráulica es abundante durante la primavera, la contribución relativa de dicha energía puede ser grande, y su costo bajo. Por lo tanto, durante la estación primaveral se haría un ajuste de reducción por costo de combustible. En otros casos, y en otras épocas del año, una empresa eléctrica puede verse obligada a usar grandes cantidades de petróleo importado de alto precio para atender sus necesidades. Ello resultaría en un ajuste de aumento por costo de combustible. Los ajustes por costo de combustible se basan generalmente en una tasa unitaria por kilowatt-hora.

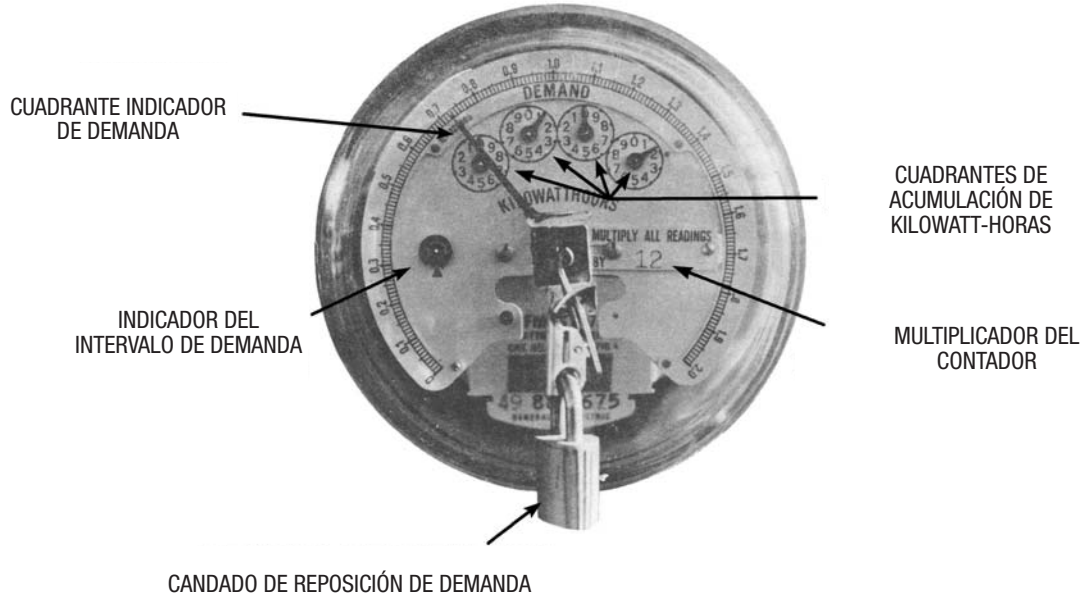
### **DEMANDA DE KILOWATTS**

El factor posiblemente menos entendido al calcular una cuenta eléctrica industrial, es la demanda. La demanda está basada en la magnitud del consumo de energía durante cierto período de tiempo. Se la mide en kilowatts y determina cuánto equipo debe utilizar la empresa eléctrica, en términos de transformadores, cables y capacidad de generación, para atender las máximas necesidades de un cliente. La demanda puede, hasta cierto punto, compararse con la potencia en caballos de fuerza del motor de un automóvil. La potencia requerida normalmente puede ser relativamente baja, pero el tamaño del motor estará determinado por la potencia necesaria para acelerar el automóvil. De modo similar, la demanda refleja un requerimiento pico. Sin embargo, el término pico en relación a la demanda eléctrica es a menudo mal comprendido. En prácticamente todos los casos, la demanda de una planta industrial se basa en un promedio de 15 ó 30 minutos. Por lo tanto, los picos breves y altos, como los que se producen al arrancar grandes motores, son promediados ya que el arranque dura muy poco en relación al intervalo de tiempo de promediación de la demanda.

Una descripción de cómo se mide la demanda puede ayudarnos a aclarar este punto. En cada contador de demanda hay un temporizador de reposición. Este temporizador establece el intervalo de demanda que, como se indicó anteriormente, puede ser de 15 o de 30 minutos. En efecto, durante el intervalo de demanda se registra el número total de revoluciones del disco del kilowatt-horímetro. Así, un número grande de vueltas durante el intervalo de demanda indica una alta demanda, y un pequeño número de vueltas durante este intervalo indica una baja demanda.

Por ejemplo, cuando se hace arrancar un motor grande, se produce un impulso de breve duración en el disco del contador de demanda. Pero una vez que este impulso inicial pasa, el contador se estabiliza a una velocidad normal de rotación. Por lo tanto, las revoluciones adicionales del disco registradas como resultado de la irrupción en el motor no tendrán mucho impacto en el número total de revoluciones que se acumulan durante un intervalo de 15 ó 30 minutos. Al final de cada intervalo de promediación de la demanda, el contador se repone automáticamente y comienza a registrar para el siguiente período de 15 minutos. Este proceso sigue en forma continua. Un cuadrante o dial especial, que puede verse en la Figura 1, registra únicamente la máxima demanda desde la última lectura que se hizo en el contador. Luego de tomar la lectura mensual, la persona que lee el contador repone la demanda a cero. El contador comienza nuevamente a buscar el intervalo de 15 minutos de máxima demanda, haciéndolo en forma continua hasta la siguiente lectura. Para computar la cuenta de electricidad, normalmente se usa la máxima demanda registrada en el mes. Más adelante continuaremos tratando este tema.

**Figure 1**

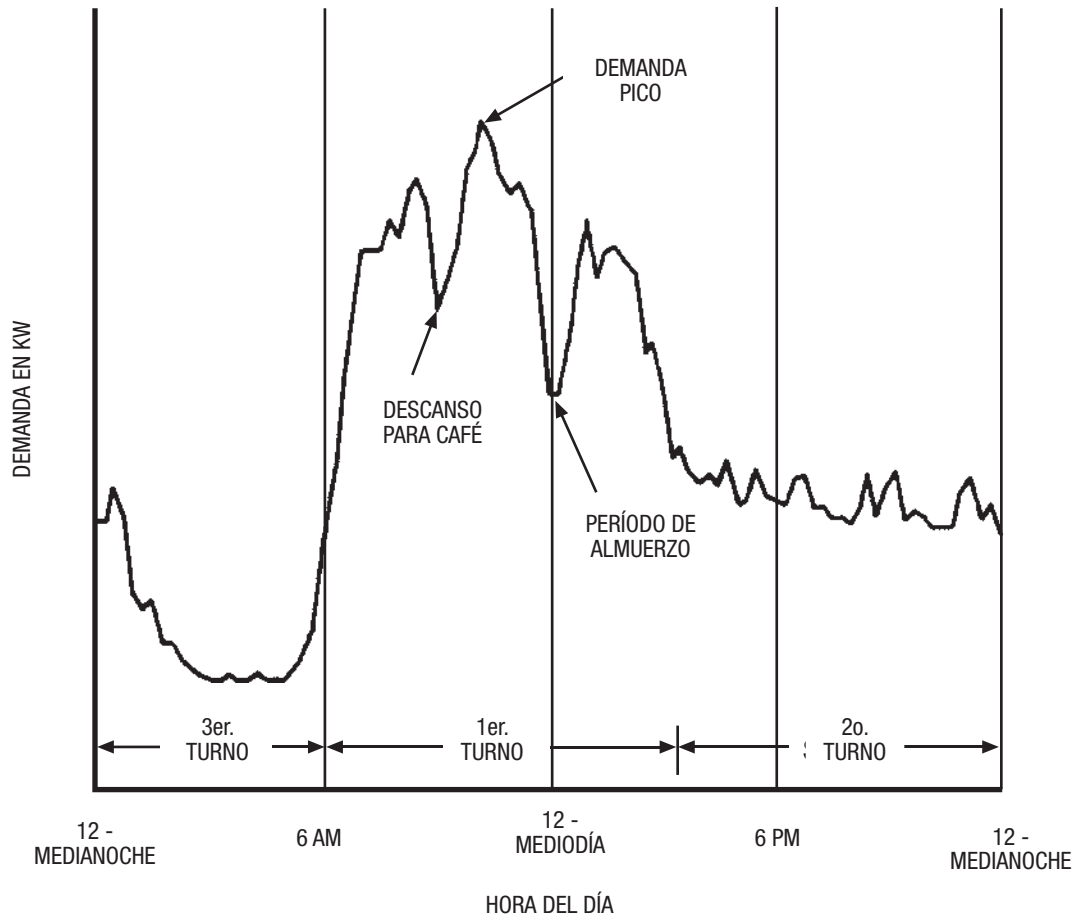


La Figura 1

muestra un contador de demanda típico utilizado en una pequeña instalación comercial. La demanda se determina leyendo la posición de la aguja superior y multiplicando esa lectura por la constante del contador. En este caso, el valor registrado de .725 multiplicado por 12 da una lectura de demanda de 8.7 KW. Luego de hacer la lectura mensual, se abre el candado, la aguja se repone a cero y se vuelve a cerrar el candado del contador. Los kilowatt-horas acumulados son registrados de manera convencional en los cuadrantes. La Figura 2 presenta un ejemplo de la demanda de una planta manufacturera típica, registrada durante veinticuatro horas. Esta planta tiene un primer turno completo y un segundo turno parcial. Analizando el diagrama, es fácil distinguir algunos de los factores que influyen en la demanda. El gran incremento inicial de demanda se produce al comenzar el primer turno. La demanda sigue creciendo hasta que comienza la preparación para el descanso para café. Este descanso resulta en una caída pronunciada seguida por otro gran incremento hasta que se alcanza la demanda pico poco después de las 10 a.m. La demanda se mantiene luego razonablemente estable hasta iniciarse la preparación para el almuerzo, y durante el mismo.

**Figure 2**

Es



interesante observar que luego del almuerzo, las cosas no retornan al nivel máximo alcanzado antes del mismo. A las 1:00 p.m. hay otro pico más bajo, seguido por picos menores y una última declinación durante la limpieza y el final del turno. El segundo turno también muestra picos y valles similares a los del primer turno, pero exhibe un menor nivel de actividad en la planta. Por último, en el tercer turno, la demanda cae substancialmente a un nivel que refleja sólo las cargas más básicas de seguridad, iluminación y otras cargas continuas.

### **CONTROLANDO LA DEMANDA**

La reducción de los picos de demanda resultará en menores cargos por demanda y en cuentas eléctricas más bajas. La alta demanda puede resultar de varios factores. Entre los más probables se encuentra el calentamiento de grandes hornos durante el día normal de trabajo. Ello puede suceder dado que la energía requerida para el calentamiento inicial del equipo puede ser de cinco a seis veces la que se requiere para mantenerlo a temperatura normal. Una forma sencilla de reducir los picos de demanda es instalar interruptores temporizados que permitan precalentar la unidad hasta alcanzar su temperatura operativa normal antes que comience el turno de trabajo de la planta. Con este método se evita añadir la gran demanda de calentamiento inicial del equipo a la demanda normal de la planta. Los grandes equipos de aire acondicionado central pueden presentar problemas similares si se los pone en marcha durante cada turno regular en lugar de pre-refrigerar el edificio durante el período no laboral.

Otros factores que pueden contribuir a la alta demanda son ciertos equipos como los compresores de aire, si se los pone en marcha luego de iniciar cada turno normal de trabajo. En este caso, el compresor puede funcionar a plena carga durante un período prolongado hasta llenarse el acumulador y el sistema de distribución. La solución es similar a la del caso de los hornos industriales: se puede utilizar un temporizador para hacer arrancar el compresor y llenar el sistema antes que comience el turno regular de trabajo. Esto permite que la presión se acumule y el compresor alcance sus condiciones normales de carga y descarga antes de aplicarse el resto de la carga de la planta.

Al analizar los componentes de una planta, se puede localizar el tipo de equipo capaz de aumentar la demanda

pico. Instalando temporizadores de siete días para hacer arrancar equipos esenciales como compresores, hornos y otras cargas similares antes del primer turno, es posible reducir la demanda en la mayoría de las plantas industriales.

Los cargos por demanda se calculan normalmente en términos de dólares (u otra unidad monetaria, según corresponda) por kilowatt. Por ejemplo, en una empresa eléctrica del estado de Connecticut hay una tarifa de energía industrial en la que se cobran \$401.00 por los primeros 100 kilowatts de demanda y \$2.20 por cada kilowatt adicional.

### **SANCIONES POR DEMANDA**

Para incentivar a las plantas industriales a controlar su demanda y mantenerla a niveles razonables, numerosas empresas eléctricas imponen una sanción especial [cláusula de “trinquete”] por demanda durante doce meses. Esta sanción consiste en que, si se registra una demanda excesivamente alta en un mes determinado, se continuará facturando un porcentaje de esta alta demanda durante los once meses siguientes a menos que la demanda efectiva exceda el porcentaje establecido del pico previo. Este tipo de facturación puede resultar muy costoso para los usuarios de energía que no controlen adecuadamente su demanda, y para las industrias con grandes variaciones estacionales.

En muchas situaciones no es posible controlar la demanda de la planta sin obstaculizar innecesariamente las operaciones fabriles, agregar costos extra de mano de obra, etc. Aun si una planta enfrenta situaciones de esta naturaleza, es importante entender los factores básicos de la demanda y saber el papel que juegan los diversos equipos de una instalación fabril en su demanda total de energía eléctrica.

### **MONITOREO Y CONTROL DE LA DEMANDA**

Existen equipos para el monitoreo y control de la demanda que ayudan a los operadores de plantas a controlar su demanda y costo de energía. Estos equipos permiten monitorear la acumulación de la demanda durante el intervalo normal de promediación y tomar medidas para restringir ciertas cargas u operaciones de modo de reducir los picos de demanda y evitar que se produzcan nuevos picos. Para que el control de demanda sea eficaz, en la planta deberán existir cargas eléctricas que puedan diferirse. Algunos ejemplos típicos de cargas diferibles son el calentamiento de agua para almacenaje, el tratamiento térmico y tal vez la interrupción controlada de ciertas partes del sistema de ventilación donde estas breves interrupciones no ocasionen problemas.

El control de demanda no es algo que pueda aplicarse en todas las plantas, pero en donde existan las condiciones apropiadas permitirá ahorrar sumas considerables de dinero.

### **FACTOR DE POTENCIA**

Otro elemento del cómputo de cuentas eléctricas industriales que a menudo no se comprende bien, es la multa por factor de potencia. El factor de potencia es de por sí un tema complicado, pero podemos tratarlo en forma resumida.

Las empresas eléctricas deben dimensionar sus transformadores y equipos de distribución en base a la cantidad de amperios que usarán sus clientes. Algunos de estos amperios son tomados a préstamo para magnetizar cargas inductivas en las plantas. Esta energía prestada se devuelve después a la empresa eléctrica, sin comprarla. Este proceso de toma a préstamo y devolución se produce a una tasa de 60 veces por segundo (la frecuencia de un sistema de energía de 60 Hz). La energía tomada a préstamo, como se mencionara, se usa para magnetizar motores eléctricos, transformadores, reactores de lámparas fluorescentes, y muchos otros tipos de cargas magnéticas en una planta. Además de la energía o potencia que se toma a préstamo, está la llamada potencia activa o real. Esta es la energía que se usa para producir calor en los elementos de calentamiento y luz en las lámparas incandescentes, y para accionar el eje de un motor. El factor de potencia es una medida de la magnitud relativa de la potencia tomada a préstamo respecto a la potencia activa que se usa en una planta.

Obviamente, las empresas eléctricas prefieren la situación en que el usuario no toma nada a préstamo y utiliza todo. En instalaciones comerciales e industriales, esta situación ideal raramente existe. Plantas donde hay gran cantidad de motores con baja carga o de equipos de soldadura eléctrica, pueden estar funcionando con bajos factores de potencia del orden de 65 a 70%. Por lo contrario, plantas con abundantes equipos de calentamiento eléctrico, tales como las máquinas de moldeo por inyección, y cuyos motores trabajan a plena carga, pueden estar funcionando con factores de potencia de 85 a 90%.

Las plantas con bajos factores de potencia pueden mejorar esta situación instalando en sus sistemas capacitores para corrección del factor de potencia. A las empresas eléctricas les conviene que las plantas fabriles cuenten con estos capacitores, ya que así se reduce la cantidad de amperios que deben suministrar. Asimismo, mayores factores de potencia hacen que los interruptores de entrada y los paneles de distribución de las plantas fabriles sean menos exigidos. Por lo tanto, también es provechoso para las plantas funcionar con altos factores de potencia.

## MULTAS POR FACTOR DE POTENCIA

Algunas empresas eléctricas imponen multas por factor de potencia. Esto significa que si el factor de potencia de un usuario cae por debajo de un nivel preestablecido, se agregará un cargo por multa a la cuenta básica que incluye los cargos por kilowatt-horas, costo de combustible y demanda. La magnitud de la multa depende de cuánto ha caído el factor de potencia por debajo de dicho nivel preestablecido. Entre las empresas eléctricas no hay uniformidad sobre cómo se determina la multa por factor de potencia y el nivel al que se la aplica. En EE.UU., hay casi tantas variaciones respecto a estas multas como hay empresas eléctricas a través del país. Las multas cubren un amplio rango pues hay numerosas empresas eléctricas que no las imponen, y otras que imponen multas muy considerables. Cuando se imponen multas, con frecuencia también se ofrecen recompensas para los usuarios con alto factor de potencia, a los que se conceden descuentos en la cuenta mensual de electricidad.

Cuando el usuario está preocupado por el factor de potencia en su planta y las posibles multas, es recomendable que consulte a su empresa eléctrica local para obtener la información correspondiente. La empresa eléctrica puede también ayudarle a computar la corrección en el factor de potencia de su sistema que sea necesaria para evitar estas multas.

## RESUMEN

El conocimiento de los cuatro factores que determinan las cuentas eléctricas industriales puede ayudar a definir estrategias para ahorrar dinero en dichas cuentas. En general, medidas de conservación tales como la reducción en los niveles de iluminación, la compra de motores más eficientes, y el reemplazo de equipos ineficientes con equipos mejor diseñados, reducirá el consumo de kilowatt-horas así como la demanda de kilowatts. Disminuyendo el consumo de kilowatt-horas se reducirán también los cargos por costo de combustible. Reasignando el uso de ciertos equipos a periodos de tiempo en que la demanda de la planta es baja, es posible reducir la demanda de kilowatts y los cargos respectivos. Por último, si la empresa eléctrica impone multas por factor de potencia, mejorando el mismo se podrán reducir dichas multas.

Una comprensión básica de estos cuatro factores ayudará a los usuarios dispuestos a la conservación de energía a reducir sus costos generales de electricidad. La Tabla I presenta un análisis simplificado de cómo diversas medidas de conservación y control de la carga afectan a los cuatro componentes incluidos normalmente en las cuentas de electricidad industrial. Se la puede utilizar como guía para conservar energía y reducir las cuentas eléctricas.

**TABLA DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN Y SU RESULTADO  
POSIBILIDADES DE AHORRO**

<b>EQUIPO O ACCIÓN</b>	<b>ENERGÍA (KW-HORAS)</b>	<b>AJUSTE POR COSTO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>DEMANDA DE KW</b>	<b>FACTOR DE POTENCIA</b>
<u>NIVELES DE ILUMINACIÓN REDUCIDOS</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>EFFECTO INSIGNIFICANTE</u>
<u>FUENTE DE ILUMINACIÓN MÁS EFICIENTE</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>EFFECTO INSIGNIFICANTE</u>
<u>MOTORES DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN</u>	<u>MEJORA MÓDICA</u>
<u>DIMENSIONAMIENTO APROPIADO DE LOS MOTORES</u>	<u>REDUCCIÓN MÓDICA</u>	<u>REDUCCIÓN MÓDICA</u>	<u>REDUCCIÓN MÓDICA</u>	<u>MEJORA RAZONABLE</u>
<u>CONTROL DE DEMANDA</u>	<u>PEQUEÑA REDUCCIÓN</u>	<u>PEQUEÑA REDUCCIÓN</u>	<u>REDUCCIÓN CONSIDERABLE</u>	<u>EFFECTO INSIGNIFICANTE</u>

**Tabla 1**

# MOTORES ELÉCTRICOS Y SISTEMAS DE ENERGÍA

Pareciera haber mucha confusión sobre las normas de voltaje para los motores y el porqué de su estructura específica. Hay, por supuesto, dos grandes categorías de motores: CA y CC. Las normas de voltaje para estos dos tipos tan diferentes de motores son también muy diferentes entre ellas. Este artículo trata de eliminar en alguna medida la confusión que existe respecto a las normas de voltaje de los motores de CA.

## SISTEMAS DE ENERGÍA DE CA

Para poder entender cómo se determinan las normas de voltaje para los motores, es importante conocer los aspectos básicos de los sistemas eléctricos en los que éstos operan. En general, las empresas que suministran energía eléctrica en los EE.UU. y en la mayoría de los demás países con sistemas de 60 Hz, están obligadas a suministrar electricidad en el punto de entrada de cada instalación, en múltiplos de 120 voltios. Por lo tanto, el equipo a la llegada, tal como los paneles de interruptores, se clasifica en múltiplos de 120 voltios. Las tensiones más comunes son de 120, 240, 480 y 600 voltios.

Asimismo, las empresas eléctricas están obligadas por las agencias administradoras regionales (usualmente llamadas Comisiones de Empresas de Servicios Públicos) a regular el voltaje dentro de un rango algo reducido, tal como más o menos 5%.

Por ejemplo, en la mayoría de los sistemas monofásicos residenciales, el voltaje es de 120/240. La electricidad es conducida a los edificios por 3 hilos, uno de los cuales es neutro y los otros dos tienen 120 voltios de diferencia respecto al neutro. La diferencia de voltaje entre los dos conductores “vivos” es de 240 voltios. En los sistemas trifásicos, la situación es un poco diferente. Hay sistemas trifásicos de 3 hilos sin conexión a tierra donde el voltaje entre los tres conductores es de 240 voltios. El “hermano mayor” de estos sistemas es el sistema trifásico de 3 hilos de 480 voltios sin conexión a tierra. Los sistemas sin conexión (o puesta) a tierra se encuentran por lo general en antiguas instalaciones.

En instalaciones más recientes, los dos sistemas más populares se denominan sistemas de 4 hilos conectados en estrella con puesta a tierra. La versión de bajo voltaje consiste en un sistema de 120/208 voltios. La versión de alto voltaje es un sistema de 277/480 voltios. En estos dos sistemas “conectados en estrella con puesta a tierra”, la parte de bajo voltaje (120 ó 277 voltios) está disponible sólo en una fase. El alto voltaje (208 ó 480 voltios) está disponible ya sea en una o en tres fases. Debe notarse que en los sistemas de 4 hilos conectados en estrella con puesta a tierra, el alto voltaje es 1.73 veces (la raíz cuadrada de 3) mayor que el bajo voltaje. Estos sistemas con puesta a tierra se consideran más seguros y flexibles que los antiguos sistemas sin conexión a tierra. Su flexibilidad deriva de su capacidad de manejar circuitos monofásicos de iluminación, que operan a 120 voltios o 277 voltios, a partir del mismo sistema que alimenta los circuitos trifásicos para motores, equipos de aire acondicionado y calefacción, ascensores y maquinarias industriales.

## MOTORES

A continuación discutiremos los motores que operan en estos sistemas de energía de 60 Hz. En el caso de “equipos de utilización”, como los motores, las normas de voltaje han sido seleccionadas en múltiplos de 115 voltios. Por ejemplo, 115, 230, 460 y 575 voltios. Las normas para los “equipos de utilización” han sido deliberadamente escogidas con voltajes algo menores que los suministrados por las empresas eléctricas, ya que en una planta industrial o un gran edificio comercial puede existir una distancia de varios cientos de metros entre el punto de entrada del servicio eléctrico y el equipo. Estas distancias siempre resultarán en cierta pérdida (o caída) de voltaje a través del cableado. En tramos cortos, ésta pérdida puede ser muy pequeña, quizás de menos de un voltio, pero en tramos largos y con carga pesada puede alcanzar un 3 ó 4% del voltaje de operación. Por lo tanto, el hacer que el voltaje de utilización sea diferente, e inferior, al voltaje de servicio de la empresa eléctrica tiene mucho sentido.

Debemos mencionar también otro factor. Las normas de diseño del equipo de utilización están definidas de manera que el equipo pueda manejar una variación del voltaje de más o menos 10% de su valor nominal. Entonces, un motor de 460 voltios nominales deberá funcionar bien en voltajes comprendidos entre 460 más 10% (506 voltios) y 460 menos 10% (414 voltios). Si el voltaje del sistema está debidamente establecido en múltiplos de 120 más o menos 5% y el voltaje del equipo está en múltiplos de 115 más o menos 10%, todo cuadra perfectamente, como las piezas de un rompecabezas.

Existe una situación singular: se trata de los motores trifásicos para sistemas de energía de 120/208 voltios. Por ejemplo, si el sistema eléctrico fuera de 208 voltios menos 5% (aproximadamente 198 voltios) y se estuviera usando un motor de 230 voltios. Dado que éste motor puede operar sin problemas solamente en voltajes no inferiores a 207 voltios (o sea 230 - 10%), habría una discrepancia entre el valor bajo en el rango del sistema, 198 voltios, y el valor operativo más bajo del motor de 230 voltios, que es 207 voltios. ¿Cómo puede evitarse este problema?

Los fabricantes de motores han enfrentado tal problema de dos maneras. La primera consiste en producir motores de 200 voltios nominales que pueden operar correctamente entre 180 voltios y 220 voltios. Este es un margen adecuado para cubrir el rango normal de voltajes que podría esperarse en un sistema de 120/208 voltios. Pero si se usa exclusivamente este enfoque, sería necesario duplicar el inventario completo de motores en todos sus tamaños, cajas, configuraciones mecánicas, etc., para poder atender las necesidades de motores para sistemas de energía de 120/208 voltios. Esto resultaría muy caro e inconveniente, en particular dada la amplia variedad existente de pequeños motores (de menos de 10 HP).

Por lo tanto, la mayoría de los fabricantes de motores emplean un enfoque diferente en el caso de estos pequeños motores. Consiste en utilizar un diseño algo más conservador en los motores de 230 voltios, lo que permite producir un motor trifásico de triple voltaje para 208-230/460 voltios. En este enfoque se usa un devanado (y un diagrama de conexiones) para 230 voltios en el sistema eléctrico de 208 voltios. Estos motores pueden funcionar bien a voltajes tan bajos como 208 menos 10%, o sea 187 voltios. Como los sistemas eléctricos de 208 voltios se usan normalmente en pequeños edificios con distancias relativamente cortas entre la entrada del servicio eléctrico y el equipo de utilización, este enfoque es por lo general muy exitoso. Estos tramos cortos tienden a hacer a los sistemas de energía de 208 voltios bastante estables, de manera que el límite de la capacidad a bajo voltaje del motor es raramente puesto a prueba.

Para capacidades mayores de 10 HP, el motor de 200 voltios es generalmente la mejor selección, pero en diversas situaciones se usan frecuente y exitosamente motores de 230 voltios en sistemas de 208 voltios. En algunos casos se proporciona una tabla de reducción de capacidad para las situaciones de “bajo voltaje”. En otros casos, el factor de servicio del motor puede reducirse de 1.15 a 1.0 cuando se lo utiliza en sistemas eléctricos de 208 voltios.

La Tabla 1 presenta esta información en forma resumida, indicando el voltaje y descripción del sistema eléctrico junto con el voltaje nominal del motor para motores monofásicos y trifásicos de 60 Hz.

### **SISTEMAS DE ENERGÍA DE 50 HERTZ**

Pareciera haber una serie interminable de posibles combinaciones, pero en efecto la mayoría de ellas tiene sentido. En las zonas de 50 Hz, virtualmente todos los sistemas eléctricos son del tipo de 4 hilos en estrella con puesta a tierra. Una disposición típica sería la de un sistema de energía eléctrica de 220/380 voltios. En este caso, como en el de un sistema de 120/208 voltios, 60 Hz, la alimentación (de bajo voltaje) de 220 voltios está únicamente disponible como monofásica mientras que la de 380 voltios está disponible ya sea como monofásica o trifásica.

Dado que el voltaje se describe como 220/380, frecuentemente vemos especificaciones indicando que los motores trifásicos deben estar bobinados para 220/380. Si bien es posible hacerlo, resulta innecesario ya que los motores trifásicos van a operarse únicamente con alimentación trifásica de 380 voltios. Entre los voltajes más populares se encuentran 220/380 y 240/415. Algunos países europeos han reconocido recientemente la dificultad de suministrar equipos para estas dos normas de voltaje, y crearon una norma que divide la diferencia. Esta nueva norma es la de 230/400 voltios, lo que significa que, si el motor tiene un margen adecuado de tolerancia, podrá funcionar sin averiarse ya sea en un sistema de 380 voltios o en uno de 415 voltios. Por otra parte, en la mayoría de los sistemas de 50 Hz (no así en los sistemas estadounidenses) el voltaje nominal del equipo tiende a ser igual que el voltaje de alimentación. Es decir que los motores de 380 voltios se usan en sistemas de 380 voltios, mientras que en EE.UU. el voltaje de utilización del equipo es deliberadamente definido a un nivel menor que el voltaje de alimentación.

La Tabla 2 muestra algunos voltajes de alimentación típicos y las normas apropiadas para los equipos en sistemas de energía eléctrica de 50 Hz.

Cuando se trabaja con requisitos de voltaje de países extranjeros, es siempre conveniente verificar el voltaje especificado con la lista de voltajes disponibles incluida en un folleto del Departamento de Comercio de EE.UU. que se titula “Electric Current Abroad” (corriente eléctrica en el exterior). Si el voltaje y la frecuencia que se especifican no son iguales a los respectivos valores indicados en el folleto para el país y la ciudad correspondiente, deberá considerárselo como una “señal de alarma” para contactar al cliente y confirmar que el voltaje es correcto. ¡Los errores pueden resultar muy costosos!

**TABLA 1**  
**VOLTAJES TÍPICOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DE 60 HZ**

VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA*	VOLTAJE NOMINAL DE UTILIZACIÓN DEL EQUIPO		CLASIFICACIÓN
		MONOFÁSICO	TRIFÁSICO	
120/208	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	115 208 - 230	200 208 - 230	Bajo Voltaje
240	Trifásico, 3 Hilos, Conexión en Delta (B) (Normalmente no Puesto a Tierra) (1)	200 208 - 230	200 208 - 230	
120/240/240	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Delta con Toma (C) Neutro a Tierra	115 230 208 - 230	230 208 - 230	
277/480	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	277 265 (2)	460	
480	Trifásico, 3 Hilos, Conexión en Delta (B) (Normalmente no Puesto a Tierra) (1)	460	460	
600	Trifásico, 3 Hilos, Conexión en Delta (B) (Normalmente no Puesto a Tierra) (1)	575	575	
2400	Trifásico, 3 Hilos Conexión en Delta (B)	2300	2300 2300/4160	Mediano Voltaje
4160	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	2300 4000 4160	4000 2300/4160	

(1) En algunos sistemas puede utilizarse la puesta a tierra de una sola rama.

(2) Algunos equipos monofásicos pueden estar clasificados para 265 voltios.

\* Ver en página 58 las conexiones típicas de los transformadores.

**TABLA 2**  
**VOLTAJES TÍPICOS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DE 50 HZ**

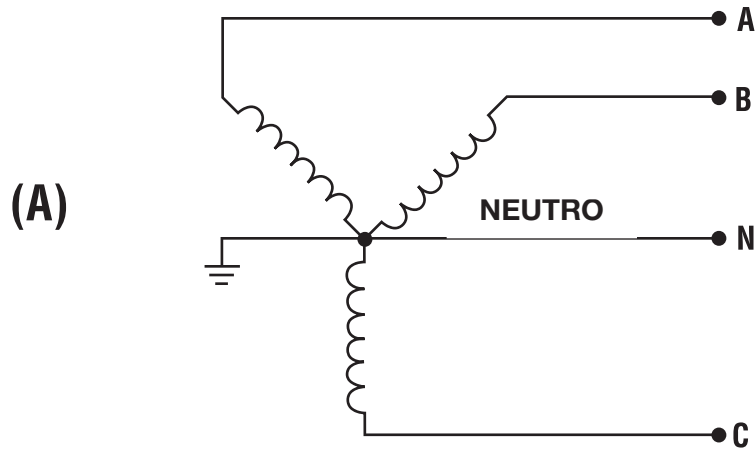
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA*	VOLTAJE NOMINAL DE UTILIZACIÓN DEL EQUIPO	
		MONOFÁSICO	TRIFÁSICO
115/200	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	115 200	200
127/220	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	127 220	220
220/380	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	220 380	380 400 (1)
230/400	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	230 400	400
240/415	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	240 415	415 400 (1)
250/440	Trifásico, 4 Hilos, Conexión en Estrella con Puesta a Tierra (A)	250 440	440
220	Trifásico, 3 Hilos, Conexión en Delta (B)	220	220
440	Trifásico, 3 Hilos, Conexión en Delta (B)	440	440

\* Ver en página 58 las conexiones típicas de los transformadores.

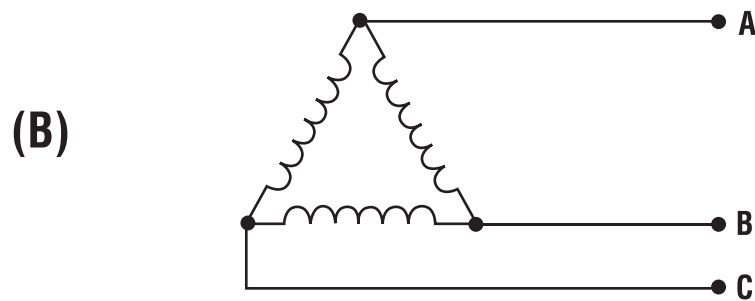
## **RESUMEN**

La adaptación de motores a los voltajes de un sistema eléctrico puede ser un procedimiento relativamente sencillo si se comprenden bien los aspectos básicos de dichos sistemas.

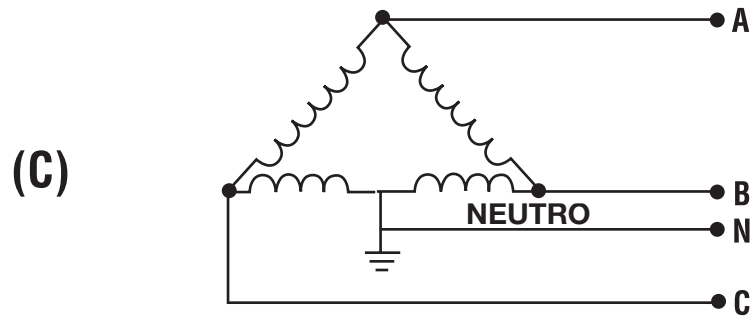
## Conexiones Típicas de Transformadores Trifásicos



Conexión de 4 Hilos en Estrella  
con Puesta a Tierra



Conexión de 3 Hilos en Delta  
sin Puesta a Tierra



Conexión de 4 Hilos en  
Delta con Toma,  
Neutro a Tierra

# MOTORES ELÉCTRICOS Y VOLTAJE

El efecto del bajo voltaje sobre los motores eléctricos se conoce y entiende bastante bien, pero el efecto del alto voltaje sobre los motores es a menudo mal interpretado. Este artículo describe los efectos del bajo voltaje y del alto voltaje, así como los cambios en el desempeño del motor que pueden esperarse cuando se utilizan voltajes diferentes al nominal.

## BAJO VOLTAJE

Cuando los motores eléctricos son sometidos a voltajes inferiores al nominal, algunas de sus características van a alterarse levemente y otras cambiarán en forma más notable. Un punto básico es que, para accionar una carga mecánica fija conectada al eje, el motor debe tomar una cantidad fija de energía de la línea eléctrica. La cantidad de energía que el motor consume está dada aproximadamente por el voltaje multiplicado por la corriente (en amperios). Es decir que cuando baja el voltaje, la corriente deberá aumentar para poder mantener la misma cantidad de energía. El aumento en la corriente no es motivo de alarma, a menos que se exceda la capacidad de corriente nominal del motor. Cuando el amperaje excede su valor nominal, es razonable suponer que la acumulación de calor dentro del motor ha de dañarlo si no se controla debidamente esa situación. Si el motor está ligeramente cargado y hay una caída de voltaje, la corriente aumentará aproximadamente en la misma proporción en que se redujo el voltaje.

Por ejemplo, una disminución de 10% en el voltaje causará un aumento del 10% en el amperaje. Esto no resultará perjudicial si la corriente del motor se mantiene por debajo de su valor nominal. Pero si el motor tiene mucha carga y se produce una reducción del voltaje, la corriente aumentará desde un valor relativamente alto hasta un nivel que podría exceder el amperaje nominal de plena carga, lo que puede ser perjudicial. Podemos afirmar que el bajo voltaje de por sí no constituye un problema, a menos que haga aumentar la corriente en exceso del amperaje nominal del motor.

Además de la posibilidad de sobretensión y reducción en la vida útil del motor ocasionada por el bajo voltaje, hay otros elementos importantes de entender. El primero es que tanto el par de arranque como el par mínimo de aceleración y el par de desenganche en los motores de inducción varían en función del cuadrado del voltaje que se aplica. Entonces, una baja del 10% en el voltaje nominal (de 100% a 90%, de 230 voltios a 207 voltios) reducirá el par de arranque, el par mínimo de aceleración y el par de desenganche en un factor de  $.9 \times .9$ . Los valores resultantes serán de un 81% de los valores a pleno voltaje. Con un 80% del voltaje, el factor será de  $.8 \times .8$ , resultando en un 64% de los valores a pleno voltaje.

Podemos en este caso observar porqué es difícil el arranque de las cargas “difíciles de arrancar” cuando el voltaje está a un nivel bajo. De modo similar, el par de desenganche del motor sería mucho menor que el que existe durante condiciones normales del voltaje.

En resumen, el bajo voltaje puede ocasionar alta corriente y recalentamiento, lo que a su vez acorta la vida útil del motor. El bajo voltaje puede también reducir la capacidad de arranque del motor y sus valores de par mínimo de aceleración y par de desenganche. En los motores ligeramente cargados con cargas fáciles de arrancar, una reducción del voltaje no tendrá un efecto apreciable, excepto que podría ayudar a reducir las pérdidas por carga ligera, aumentando la eficiencia en tales condiciones. Este es el principio aplicado en los “dispositivos Nola” que han sido comercializados como accesorios para mejorar la eficiencia del motor.

## EFECTOS DEL ALTO VOLTAJE

Hay quienes suponen que, como el bajo voltaje aumenta el consumo de corriente del motor, por la misma razón el alto voltaje tenderá a reducir el amperaje consumido y el calentamiento del motor. Esto no es así. El alto voltaje tiende a producir saturación en la parte magnética del motor. Ello hace que el motor consuma excesiva corriente al esforzarse por magnetizar el hierro más allá del punto en que puede magnetizarse con facilidad. Esto significa que los motores por lo general toleran cierto aumento en la tensión en exceso de su voltaje de diseño, pero que los aumentos extremos sobre el voltaje de diseño harán que se incremente el amperaje, lo que a su vez aumentará el calentamiento y acortará la vida útil del motor.

Por ejemplo, antiguos motores con voltaje nominal de 220/440 voltios tenían una banda de tolerancia de más/ menos 10%. Por lo tanto, el rango que podrían tolerar en las conexiones de alto voltaje sería de 396 a 484 voltios. Si bien esto es lo que se conoce como banda de tolerancia, el mejor desempeño del motor se lograría a voltaje nominal. En los extremos de dicho rango de voltaje, tanto alto como bajo, el motor es sometido a un esfuerzo innecesario.

En términos generales, estas bandas de tolerancia no tienen como fin establecer una norma para uso constante, sino determinar un rango que puede utilizarse para acomodar las fluctuaciones normales que se producen habitualmente en el voltaje de la planta. La operación continua en el extremo alto o el extremo bajo del rango de voltaje acortará la vida útil del motor.

Si bien este artículo cubre los efectos del alto y el bajo voltaje en los motores, la operación de otros dispositivos magnéticos se ve también afectada de manera similar. Los solenoides y las bobinas que se usan en relés y arrancadores son perjudicados por el alto voltaje más que por el bajo voltaje. Esto también ocurre en los reactores de los artefactos de iluminación fluorescente, de mercurio y de sodio a alta presión. Los transformadores de todo tipo, incluyendo los transformadores para soldadura, son afectados de igual modo. Las lámparas incandescentes son particularmente susceptibles a las condiciones de alto voltaje. Un incremento del 5% en el voltaje resulta en una reducción del 50% en la vida de la lámpara. Un aumento del 10% en exceso del voltaje nominal reduce en un 70% la vida de las lámparas incandescentes.

En general, lo más conveniente es hacer que la empresa eléctrica cambie las tomas en los transformadores de entrada optimizando el voltaje en la planta a un nivel muy cercano al voltaje nominal de los equipos. En plantas de mayor antigüedad, deberán hacerse ciertos acomodamientos por las diferencias entre las normas de los motores viejos (220/440 V) y las normas de los motores más recientes con carcasa "T" (230/460 V). Por lo general, un voltaje intermedio entre ambos niveles, algo así como 225 ó 450 voltios, producirá el mejor desempeño total. El alto voltaje tenderá siempre a reducir el factor de potencia y a aumentar las pérdidas en el sistema, resultando en mayores costos de operación para los equipos y el sistema.

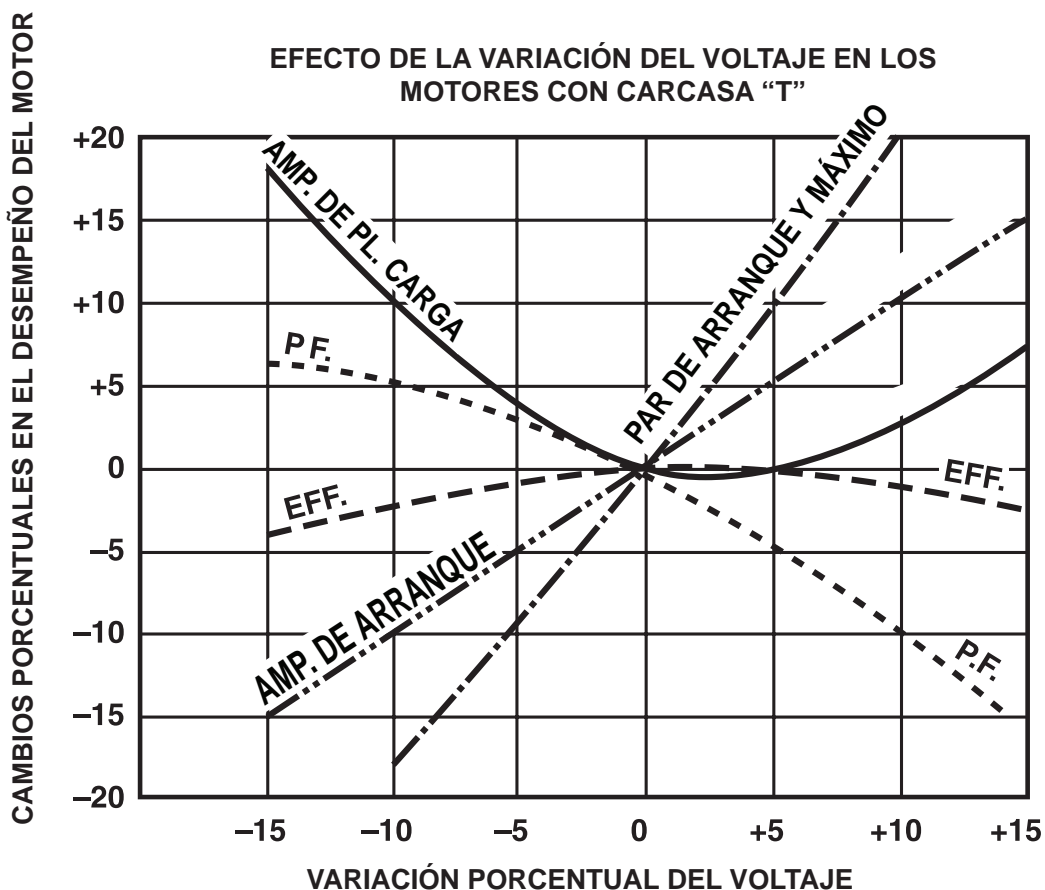


Figura 1

El diagrama que se exhibe en la Figura 1 es usado con frecuencia para ilustrar los efectos generales del alto y del bajo voltaje en el desempeño de los motores con carcasa “T”. Es apropiado usar dicho diagrama para mostrar los efectos “generales”, pero debe tenerse en cuenta que representa solamente un motor específico y que existen bastantes variaciones entre los diversos diseños de motores.

Por ejemplo, el punto más bajo en la línea de los amperios de plena carga no siempre está a un 2-1/2% sobre el voltaje nominal. En algunos motores puede ocurrir a un valor inferior al voltaje nominal. Asimismo, el incremento en los amperios de plena carga para voltajes superiores al nominal tiende a ser más pronunciado en algunos diseños del devanado del motor que en otros.

Los siguientes principios generales pueden ser de utilidad:

1. Los motores pequeños tienden a ser más sensibles al sobrevoltaje y la saturación que los motores grandes.
2. Los motores monofásicos tienden a ser más sensibles al sobrevoltaje que los motores trifásicos.
3. Los motores con carcasa “U” son menos sensibles al sobrevoltaje que los motores con carcasa “T”.
4. Los motores Super-E de eficiencia premium son menos sensibles al sobrevoltaje que los motores de eficiencia estándar.
5. Los motores de dos polos y los de cuatro polos tienden a ser menos sensibles al alto voltaje que los diseños de seis polos y los de ocho polos.
6. El sobrevoltaje puede producir aumentos del amperaje y la temperatura incluso en motores con carga ligera. Por lo tanto, la vida útil del motor puede verse reducida por el alto voltaje.
7. La eficiencia a plena carga disminuye ya sea con alto voltaje o con bajo voltaje.
8. El factor de potencia mejora cuando el voltaje es más bajo y cae pronunciadamente con el alto voltaje.
9. La corriente de irrupción aumenta al ser más alto el voltaje.

## **RESUMEN**

Los motores eléctricos y otros equipos eléctricos experimentan muy pocos efectos favorables y muchos efectos desfavorables al operar con un sistema de alimentación en los extremos de los límites de voltaje, o cerca de los mismos. Los mejores resultados en términos de vida útil y de eficiencia operativa se logran usualmente cuando los motores operan con voltajes cercanos a su valor nominal.



# CORRIENTES DESEQUILIBRADAS

Los usuarios e instaladores de motores se preocupan cuando detectan corrientes de fase desequilibradas en un motor trifásico. A menudo se preguntan: “¿Andará algo mal en el motor?” La otra pregunta es: “¿Cuánto desequilibrio de corriente puede tolerarse?” Este artículo tratará de contestar ambas preguntas.

## HISTORIA

En “los buenos tiempos de antaño”, las únicas causas de las corrientes de fase desequilibradas eran por lo general ciertos problemas del motor - como ser un número desbalanceado de vueltas en el devanado, un entrehierro desparejo -, o voltajes de fase desequilibrados. Los problemas en el devanado o el entrehierro están definitivamente relacionados con el motor. Por lo contrario, el voltaje de fase desequilibrado es un problema del sistema eléctrico. Los voltajes desequilibrados generalmente producen desequilibrios de corriente que son muchas veces mayores que el porcentaje de desequilibrio en el voltaje. La relación es aproximadamente de 8:1. En otras palabras, un desequilibrio de voltaje del 1% podría crear corrientes de fase desequilibradas en un 8%.

Una forma muy poco científica de considerar este problema es la siguiente: Supongamos que un motor tiene una corriente nominal de plena carga de 10 amperios. A plena carga, los amperios en cada ramal de las 3 fases sumados conjuntamente serán de  $10 + 10 + 10$ , o sea 30. Ahora bien, si la carga es la misma pero las corrientes de fase están desequilibradas, el total de los 3 ramales sumados conjuntamente será siempre mayor que el total de las corrientes equilibradas. En este caso, las corrientes podrían ser de 10.5, 11.3 y 12.1, que hacen un total de 33.9. Esta es una forma muy poco científica de ver el problema, pero describe bien su efecto. Lo que esto significa es que la alta corriente en uno de los ramales no implica que la corriente en los otros dos ramales se verá reducida en igual magnitud. Podemos decir que las corrientes desequilibradas siempre resultan en una mayor temperatura de operación, una reducción en la vida útil del motor, y menor eficiencia.

La siguiente pregunta es: “¿Qué es lo que origina las corrientes desequilibradas?”. Años atrás, si el problema no estaba en el motor, el origen de las corrientes desequilibradas era un desequilibrio en los voltajes de fase. Al medir el voltaje entre fases [línea a línea] de la fase A a la B, de la B a la C, y de la C a la A, se observaban diferencias detectables entre los voltajes. Estas diferencias de voltaje explicaban las corrientes desequilibradas. En el mundo actual hay otros problemas que frecuentemente no pueden detectarse con simples pruebas de voltaje. Una preocupación creciente es el problema de la distorsión del voltaje causada por los armónicos en las corrientes del sistema eléctrico. Esto puede suceder si hay cargas en la zona que toman corrientes no lineales (ricas en armónicos) del sistema eléctrico; esto puede crear distorsiones en la onda sinusoidal normal del voltaje, lo que a su vez puede producir corrientes desequilibradas en los motores, aun cuando las diferencias en el voltaje de fase no sean detectables con un voltímetro. Por ejemplo, si se han detectado corrientes desequilibradas en un motor y se efectúan mediciones con un voltímetro digital en las tres fases, dichas mediciones podrían ser muy cercanas entre sí. Lo más natural en estas condiciones sería culparlo al motor por el problema. En estos casos, es preciso dar un paso más para poder identificar o descartar al motor como fuente del problema. La prueba consiste en rotar las 3 fases. Si las fases eléctricas están marcadas como A, B y C, y los conductores del motor conectados a las mismas están marcados como 1, 2 y 3, el conductor #1 del motor podría reconectarse al cable de alimentación B; el conductor #2 del motor se reconectaría al cable de alimentación C, y el conductor #3 del motor se reconectaría al cable de alimentación A. Cambiando los tres ramales se mantendrá al motor girando en la misma dirección. Las corrientes en cada ramal de la línea eléctrica deberán registrarse antes y después de cambiar las conexiones. Si el ramal de alta corriente sigue estando en la misma fase de la línea eléctrica (por ejemplo, B), el problema radica en la fuente de alimentación y no en el motor. Pero si la alta corriente se desplaza con el ramal del motor al hacer la reconexión, el problema es del motor. Esta prueba permite determinar si se trata de un problema de la fuente de alimentación o del motor.

## ¿CUÁNTO DESEQUILIBRIO PUEDE TOLERARSE?

En general, esto depende de las condiciones que se encuentren. Si el motor está accionando la carga y el mayor amperaje de los tres ramales es inferior a la corriente nominal de plena carga, la operación del motor es por lo general segura. Si el ramal alto tiene una corriente mayor a la nominal pero está dentro del amperaje normal correspondiente al factor de servicio (para un motor con factor de servicio de 1.15, normalmente), la operación del motor sigue quizás siendo segura. Asimismo, no es inusual encontrar corrientes que están más desequilibradas sin carga que lo que estarían bajo carga, así que lo que debería considerarse es el amperaje con carga. Por último y en general, si la corriente en la fase alta no excede en más de un 10% el promedio de las tres fases calculado como lo indica el siguiente ejemplo, es probablemente seguro operar el motor.

## EJEMPLO

Amperios de plena carga (FLA)  
nominales del motor = 10.0

Factor de Servicio: 1.15

<u>Fase</u>	<u>Amperios con Carga</u>
A	10.6
B	9.8
C	10.2

Determinar el Valor Promedio:

$$\frac{10.6 + 9.8 + 10.2}{3} = 10.2 \text{ amps}$$

Determinar la Diferencia en %:

$$\frac{\text{Fase más Alta} - \text{Valor Promedio}}{\text{Valor Promedio}} \times 100$$

$$\frac{10.6 - 10.2}{10.2} \times 100 = \frac{0.4}{10.2} \times 100 = 0.039 \times 100 = 3.9\%$$

La siguiente tabla muestra algunas de las causas de los voltajes y corrientes desequilibrados, así como las posibles soluciones.

TABLA 1

<b>PROBLEMA</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Fusible quemado en una batería de capacitores para corrección del factor de potencia	Busque, localice y reemplace el fusible quemado.
Carga monofásica despareja en el sistema trifásico	Localice las cargas monofásicas y distribúyalas en forma más pareja en el circuito trifásico.
Voltajes desequilibrados en la red eléctrica	Si los voltajes de entrada están substancialmente desequilibrados, en particular durante períodos sin carga o de carga liviana, comuníquese con la empresa eléctrica para que solucionen el problema.
Distorsión armónica	Localice la causa de los armónicos y utilice filtros armónicos para controlarlos o reducirlos. Instale reactores de línea en los controles de frecuencia variable, tanto existentes como nuevos.

## RESUMEN

Las corrientes desequilibradas en los motores trifásicos son indeseables, pero generalmente pueden tolerarse si son de poca magnitud. Las corrientes desequilibradas excesivas pueden acortar la vida útil del motor y aumentar el consumo de energía.



World Energy Engineering Congress  
**[CONGRESO MUNDIAL DE INGENIERÍA DE LA ENERGÍA]**

**CONSERVANDO ENERGÍA CON  
MOTORES DE EFICIENCIA PREMIUM**

# CONSERVANDO ENERGÍA CON MOTORES DE EFICIENCIA PREMIUM

Edward H. Cowern, P.E.

# BALDOR

Wallingford, CT

## INTRODUCCIÓN

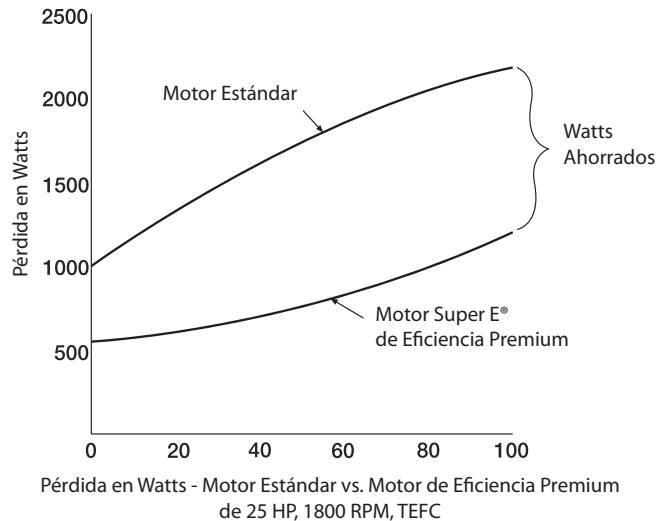
La conservación de energía mediante modificaciones en la iluminación usando diferentes lámparas [bombillos], reactores y fuentes de luz, es algo bien entendido y fácil de lograr. Pero el uso para este fin de motores de inducción trifásicos de eficiencia mejorada no ha sido tan ampliamente aceptado. Hay varias razones por las que la conservación de energía mediante motores está menos generalizada.

Las lámparas se venden en base a su potencia nominal de entrada, o consumo en watts. Siendo tan evidente dicho valor de entrada, es fácil comprender que al reemplazar una lámpara de 40 watts con una de 34 watts se va a ahorrar. En cambio, los motores eléctricos se venden en base a su valor nominal de salida (potencia en HP), no por su vatiaje de entrada. Por lo tanto, la medida usada para evaluar las diferencias entre motores es su eficiencia nominal - y la eficiencia (o rendimiento) se indica en forma poco evidente y es menos fácil de entender que el vatiaje de las lámparas.

Otra diferencia entre la iluminación y los motores, es que las luces pueden estar encendidas o apagadas - no hay término medio. Pero los motores pueden funcionar a plena carga, media carga, un cuarto de carga, o sin carga. Frecuentemente, cuando un motor está acoplado mediante embragues a un sistema de movimiento intermitente, dicho motor puede estar operando sin carga una buena parte del tiempo. De modo similar, los compresores de aire funcionan a menudo sin carga. Como consecuencia de los niveles variables de la carga y de las cargas intermitentes, los ahorros proyectados en base a la eficiencia a plena carga pueden no materializarse.

### Esa es la mala noticia.

La buena noticia es que los motores de eficiencia premium (o superior), por su diseño realzado, reducen los costos de operación a cualquier nivel de carga, incluso al funcionar sin carga. Por ejemplo, las pérdidas sin carga de un motor de eficiencia premium de cinco HP pueden ser de 215 watts. Las pérdidas sin carga de un motor estándar del mismo tipo pueden ser de 330 watts. La Figura 1 muestra un gráfico de las pérdidas de potencia en watts a diversos niveles de carga en un motor convencional versus las de un motor de eficiencia premium del mismo tipo. Curvas de esta naturaleza cambian notablemente según el tamaño del motor, pero las tendencias son las mismas.

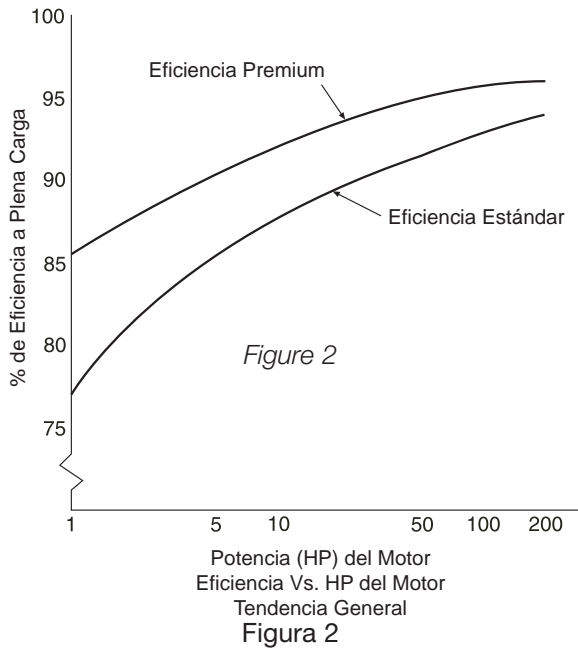


Pérdida en Watts - Motor Estándar vs. Motor de Eficiencia Premium de 25 HP, 1800 RPM, TEFC

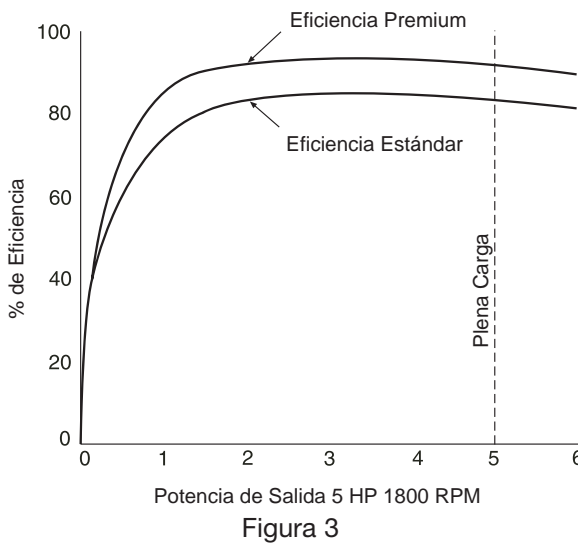
Figure 1

## ASPECTOS BÁSICOS

El proceso de convertir energía eléctrica en energía mecánica nunca es perfecto. Si bien nos gustaría que hubiera motores con eficiencia del 100%, es imposible fabricar una máquina que tome 746 watts de electricidad (equivalente a 1 HP) y los convierta en 1 HP de potencia mecánica. Siempre van a requerirse más de 746 watts para obtener una potencia de salida de 1 HP. Es más fácil aproximarse a un 100% de perfección con motores grandes que con motores pequeños. Por ejemplo, si el proceso de conversión fuera sólo 50% eficiente, se necesitarían 1492 watts de electricidad para obtener una salida de 1 HP. Por suerte, el proceso de conversión en los motores industriales es generalmente más eficiente que ello. La eficiencia de los motores industriales trifásicos estándar usualmente varía entre un nivel aproximado de 75% con 1 HP hasta 94% con 200 HP. La curva en la Figura 2 ilustra la tendencia general de la eficiencia versus el tamaño del motor, tanto para los motores estándar como para los de eficiencia premium.



Una pregunta razonable sería: “¿Adónde va la energía extra?” La energía no suministrada al eje se convierte siempre en calor que es necesario quitar de la superficie exterior y de las partes internas del motor. Otra complicación es que la eficiencia de los motores eléctricos varía dependiendo de la cantidad de carga en el motor. La Figura 3 muestra la tendencia general de la eficiencia del motor según la carga del mismo.



Por ejemplo, cuando un motor está funcionando en vacío (sin carga en el eje de salida), la energía es usada por el motor para excitar el campo magnético y compensar la fricción de los cojinetes y el llamado “efecto del viento” de la parte giratoria del motor. Entonces, la eficiencia sin carga es de 0%. La eficiencia aumenta al aplicarse par [torque] al eje del motor hasta llegar al punto donde la eficiencia se nivela y luego cae desde su máximo nivel. En la mayoría de los motores, la eficiencia pico se alcanza entre el 50 y el 100% de la carga nominal. El punto de máxima eficiencia está determinado por el diseño específico del motor.

Para ilustrar dónde ocurren las pérdidas en un motor con plena carga, la Figura 4 presenta un esquema general del flujo de energía a través del motor. El diagrama muestra (a la izquierda) un 100% de energía eléctrica alimentada al motor y las diversas pérdidas que experimenta hasta convertirse en potencia mecánica en el eje de salida. En este caso, la principal es la pérdida por resistencia estática (llamada  $I^2R$  del Estator). Esta es la mayor pérdida en el motor, seguida por la pérdida por resistencia rotórica ( $I^2R$  del Rotor). Después vienen las que se describen como pérdidas en el núcleo y resultan de las fuerzas magnéticas cíclicas en el motor. Los términos específicos en este caso son pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas. La pérdida por histéresis resulta de la reorientación constante del campo magnético en las láminas de acero del motor. Las pérdidas por corrientes parásitas se deben a que la reorientación de las fuerzas magnéticas en el acero produce pequeñas corrientes eléctricas en el mismo. Estas corrientes eléctricas circulan en sí mismas y producen calor sin contribuir a la salida de potencia del motor. Las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas ocurren tanto en la parte fija como en la parte giratoria del motor, pero mayormente en la parte fija.

### TÍPICO FLUJO DE ENERGÍA EN UN MOTOR TRIFÁSICO DE 15 HP, 4 POLOS

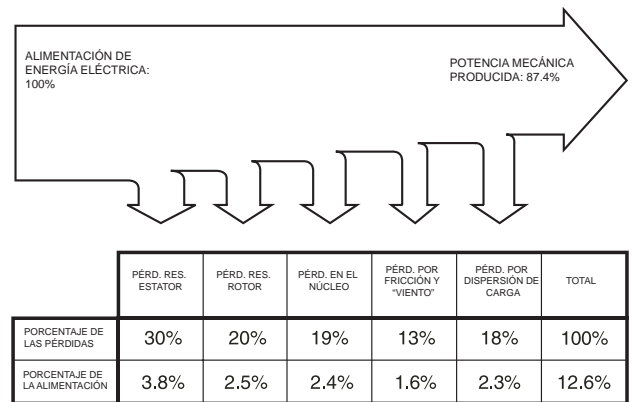


Figure 4

Luego tenemos las llamadas pérdidas por fricción y “efecto del viento” (rozamiento con el aire). La fricción en este caso es la de los cojinetes. Los cojinetes de bolas son sumamente eficientes, pero al rodar generan algo de pérdidas. La pérdida por “efecto del viento” es una combinación de factores.

Primero, cuando el rotor gira, el rozamiento con el aire crea cierta resistencia mecánica. Cuánto más rápido gira, mayor es esta resistencia. Asimismo, para quitar el calor generado por las pérdidas debe haber circulación de aire sobre el motor o a través del mismo. Por lo general se instala un ventilador en el eje del motor o en los extremos del rotor, que proporciona un flujo de aire para enfriamiento. Esto utiliza energía pero no aumenta la salida de potencia. Por último, hay una categoría llamada pérdidas por dispersión de carga. Estas son pérdidas no explicadas por las cuatro categorías anteriores. Dependen generalmente de la carga del motor y aumentan al aplicarse cargas.

La prueba de eficiencia de motores eléctricos reconocida en EE.UU. es la que define la Norma IEEE 112, Método B. En este método de prueba, el rendimiento del motor se mide con un dinamómetro y cubre todas las pérdidas indicadas. Más adelante se dan mayores detalles al respecto.

El diagrama de flujo de energía de la Figura 4 es típico para un motor estándar de 15 HP. La proporción relativa de las pérdidas puede variar un poco según el tamaño del motor, pero el diagrama muestra en líneas generales dónde va la energía. Es importante observar que muchas de las pérdidas en el núcleo y las pérdidas por fricción o viento son independientes de la magnitud de la carga en el motor, mientras que las pérdidas por resistencia estatórica y rotórica y las pérdidas por dispersión de carga aumentan al aplicarse par al eje del motor. La combinación de estas pérdidas resulta en la relación de eficiencia versus carga que muestra la Figura 5.

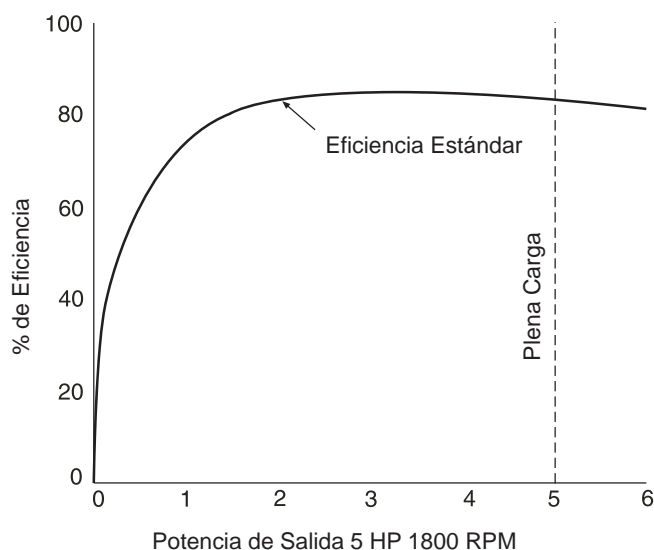


Figura 5

## MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA

Para aumentar la eficiencia del motor, las cinco categorías de pérdidas indicadas deben atenderse de a una por vez. La reducción de la pérdida por resistencia estatórica involucra modificaciones magnéticas y eléctricas que permiten introducir más alambre de cobre en las ranuras del estator. En general, el diseño de las láminas del estator debe incluir ranuras suficientemente grandes para admitir más alambre de cobre. Por ejemplo, en el cableado residencial el hilo de calibre #12 tiene mayor ampacidad que el #14. Lo mismo sucede en los motores. Pero el aumento del calibre del alambre sin aumentar la carga de amperaje resulta en menores pérdidas. Asimismo, debe usarse el mejor material conductor de precio razonable. Para los motores eléctricos, el mejor material conductor de precio razonable es el cobre.

Las pérdidas rotóricas, segundas en magnitud, se reducen utilizando rotores diseñados especialmente con mayores áreas de conductor de aluminio. El uso de "barras de rotor" más grandes resulta en menor resistencia rotórica y menos pérdida de energía en el rotor.

La histéresis y las corrientes parásitas pueden reducirse de varias maneras. La pérdida por histéresis puede reducirse usando mejores aceros y reduciendo la intensidad del campo magnético. Las pérdidas por corrientes parásitas se reducen adelgazando las láminas que componen el estator (y el rotor) y aislándolas mutuamente de manera más eficaz. En el caso de las pérdidas por fricción y efecto del viento, poco puede hacerse para aumentar la eficiencia de los cojinetes, pero si los pasos anteriores reducen eficazmente las pérdidas totales puede reducirse el tamaño del ventilador de enfriamiento, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia del motor.

La categoría final es la de las pérdidas por dispersión de carga. Hay diversas técnicas de manufactura que pueden usarse para reducir estas pérdidas. Trabajando en forma individual y colectiva en los cinco elementos indicados, se pueden lograr substanciales mejoras en la eficiencia de los motores.

## BASES DE COMPARACIÓN

Hay muchos términos que se usan para comparar la eficiencia entre motores. Los dos más conocidos son la eficiencia nominal y la eficiencia mínima garantizada. Es algo confuso escoger el método para determinar los ahorros potenciales resultantes de mejoras en la eficiencia. La base para la clasificación de eficiencia nominal puede explicarse así: si se fabrica y prueba un lote grande de motores idénticos, la eficiencia nominal será la eficiencia media del lote. Dadas las tolerancias de manufactura, algunas unidades pueden ser menos eficientes y otras más eficientes. Pero el valor nominal es el promedio predecible del lote.

El segundo término usado es la eficiencia mínima garantizada. El mínimo garantizado reconoce las variaciones que hay de un motor a otro y establece un límite inferior arbitrario. En esencia, indica que ninguno de los motores del lote tendrá una eficiencia inferior a dicho límite.

Dadas estas opciones, ¿cual debería servir de base de comparación?

Si su vida dependiera del resultado y se tratara de un solo motor, el criterio a usar sería el de eficiencia mínima garantizada. Pero si usted estuviera considerando varios motores en una gama de tamaños sin estar atado estrictamente al resultado mínimo final, la base apropiada de comparación sería la eficiencia nominal, lo que también es más sencillo porque la placa de fábrica del motor indica su eficiencia nominal. Por otra parte, la eficiencia nominal y la eficiencia mínima garantizada están relacionadas entre sí por una fórmula establecida por NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos). O sea que comparar diversos motores en base al valor "nominal" equivale realmente a compararlos en base al mínimo garantizado.

La norma para determinar la eficiencia es de fundamental importancia. Deberá siempre usarse la IEEE 112 Método B, que, de todas las normas desarrolladas para determinar la eficiencia de motores, es una de las más rigurosas.

Otras normas que se utilizan, particularmente algunas normas internacionales, no requieren pruebas tan rigurosas. A veces, la eficiencia es calculada pero no es medida. Las “otras” normas dan casi siempre eficiencias más altas que la estricta IEEE 112. Lo correcto sería comparar todos los motores en base a la misma norma. El método de IEEE asimismo mide la eficiencia del motor funcionando en caliente: esto lo hace más preciso porque la eficiencia cae ligeramente al elevarse la temperatura de operación.

### **ALGUNAS PRECAUCIONES**

El uso de motores de eficiencia premium a veces presenta algunas dificultades. Por ejemplo, los motores de eficiencia premium funcionan algo más rápido (tienen menos deslizamiento) que motores similares pero de menor eficiencia. Digamos que un motor de eficiencia premium funciona a velocidad a plena carga de 1760 RPM, y el motor que reemplaza funciona a 1740 RPM. Esto puede ayudar en la conservación o perjudicarla, dependiendo del tipo de carga impulsada. Por ejemplo, si el motor impulsa un transportador de materiales a granel, la mayor velocidad permitirá terminar el trabajo en menos tiempo. Y en períodos de baja carga del transportador, se ahorrará energía debido a la reducción en las pérdidas del motor.

Una situación similar existe en muchas aplicaciones de bombeo en las que se usa una cantidad específica de fluido para llenar un tanque. Si el motor funciona a mayor velocidad, el trabajo se completa más pronto y el motor es apagado antes. En estos casos, la mayor velocidad no resulta en un aumento en el uso de energía. Pero hay aplicaciones, como las bombas de circulación de agua refrigerada, en que la velocidad extra puede reducir los ahorros esperados. Ello se debe a que las bombas centrífugas y otras cargas de par variable, como los sopladores y los ventiladores, requieren una potencia (HP) proporcional al cubo de la velocidad. Como resultado, un ligero incremento en la velocidad puede resultar en un gran aumento en el uso de energía y de HP. En un ejemplo típico, el motor original está directamente conectado a una bomba centrífuga. La velocidad a plena carga del motor original es de 1740 RPM. El motor de eficiencia premium que lo reemplaza, impulsando la misma bomba, tiene una velocidad de 1757 RPM. La diferencia resultante del 1% aumentará los HP requeridos por la bomba en  $1.01 \times 1.01 \times 1.01 = 1.03$ . O sea que la potencia requerida por la carga se incrementa en un 3% por encima de la requerida si la velocidad de la bomba hubiera permanecido constante. Pero pese a la mayor velocidad, en casi todos los casos habrá una mejora en la eficiencia y una reducción en el uso de energía, si bien algo menor que la esperada.

Algo similar sucede con los ventiladores y sopladores, si no se realizan cambios para devolver la velocidad del equipo a su valor original. Por ejemplo: un motor impulsa mediante transmisión por correa un ventilador cuya velocidad es de 650 RPM; si se cambia el motor pero se usa exactamente el mismo juego de polea y correa, aumentará tanto la velocidad del ventilador como la potencia (HP) requerida. Esto resultaría en un consumo extra de energía en el sistema. Pero si se hace un ajuste en la relación de poleas restaurando la velocidad del ventilador a su

valor original, los ahorros anticipados se concretarán. Este tipo de desafíos hace que sea conveniente considerar una mejora de la eficiencia desde el punto de vista del “sistema” en general y no estrictamente del motor.

### **EFICIENCIA DEL EQUIPO IMPULSADO**

Como consumidores, encontramos clasificaciones de eficiencia energética en nuevas refrigeradoras, acondicionadores de aire, calentadores de agua, etc. Este tipo de datos por lo general está mucho menos disponible en las máquinas que se adquieren para instalaciones industriales y comerciales. Por ejemplo, no todas las bombas con las mismas especificaciones de rendimiento tienen igual eficiencia. Similarmente, no todos los compresores de aire tienen la misma eficiencia. Algunos compresores de aire ofrecen mucho mejor eficiencia que otros, especialmente cuando funcionan a menos de plena carga. A primera vista, el problema de evaluarlos comparativamente parece insuperable. Pero un buen proveedor debería estar dispuesto a proporcionar información certificada sobre el rendimiento.

### **DIMENSIONAMIENTO CORRECTO**

Además del desafío de comparar eficiencias diferentes entre equipos de diversos fabricantes, existe el problema de seleccionar un equipo de capacidad correcta. Por ejemplo, una bomba con capacidad excesiva para su trabajo específico puede ser mucho menos eficiente que una bomba dimensionada correctamente. De modo similar, un compresor de aire sobredimensionado para la tarea que desempeña sería mucho menos eficiente que uno que ha sido seleccionado adaptándolo mejor a las verdaderas necesidades de uso.

### **EVALUACIÓN**

Hay muchas formas de enfocar la inversión de capital y determinar las tasas de retorno, los períodos de recuperación, el valor presente, etc. La mayoría de estos métodos es útil en grandes inversiones de capital donde pudieran existir riesgos de que fracase el proyecto, o de que el producto cambie o se vea afectado por la dinámica del mercado. En el caso de los motores eléctricos y de otras medidas de conservación de energía, el problema tiende a ser más simple y no requiere los rigurosos cálculos matemáticos de dichos enfoques analíticos. En el apéndice de este artículo se proporcionan fórmulas para determinar los ahorros correspondientes.

### **CARGA IDEAL DEL MOTOR**

En el proceso de mejorar la eficiencia, se plantea la cuestión de cuáles son las condiciones ideales de carga para los motores de reemplazo. Un motor que opera con sobrecarga tendrá una vida útil reducida. En la situación opuesta, un motor excesivamente sobredimensionado para su tarea específica será ineficiente. La Figura 6 presenta una curva típica de carga versus eficiencia para un motor de 10 HP. Esta curva indica que en la mitad superior del rango de carga (50% - 100%) la eficiencia se mantiene aproximadamente constante a un nivel alto. Con cargas inferiores al 50%, la eficiencia decrece notablemente. En la mayoría de los casos, una vez que el motor está en marcha y operando, la carga no

varía. Esto es particularmente cierto en aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado, tales como las bombas de circulación y los equipos de distribución de aire. En otros tipos de maquinaria, como los compresores de aire y las máquinas herramienta, la carga puede variar en ciclos: a veces es muy pesada y a veces es liviana. Obviamente, en el caso de cargas cíclicas es importante dimensionar el motor para que pueda manejar las condiciones más extremas. Pero en motores de carga continua es aconsejable cargarlos entre el 50 y el 100% de su capacidad, e idealmente en el rango de 75 a 80%. Seleccionando un motor para trabajar con cargas en este rango, se logrará una alta eficiencia y una larga vida útil del motor. Asimismo, cuando su carga es algo inferior al 100%, los motores pueden tolerar mejor condiciones tales como el bajo voltaje y la alta temperatura ambiente, que podrían ocurrir simultáneamente en el verano. Este planteamiento permite aproximarse a la eficiencia óptima y a la vez preservar la vida útil del motor.

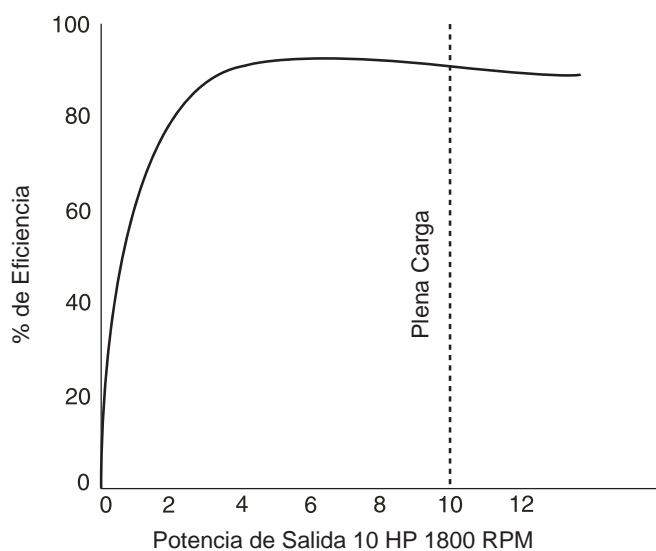


Figura 6

### **MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE MOTORES EXISTENTES**

En el caso de grandes instalaciones industriales o comerciales, se plantea el siguiente interrogante: “¿Deberíamos reemplazar todos los motores en la planta o cambiarlos selectivamente?” Tal vez no haya un criterio firme al respecto, pero ofreceremos aquí algunas ideas. El reemplazo general de todos los motores en una planta o en un edificio comercial generalmente no puede justificarse en base a costos. La razón es que algunos de los motores posiblemente se usan sólo en forma intermitente. Si ciertos motores se utilizan en equipos para ensayos, en compactadores de basura y en otras aplicaciones de uso intermitente, quizás convenga no hacer un cambio general. Pueden haber otras complicaciones: por ejemplo, los motores especializados que se utilizan con algunos tipos de bombas y máquinas herramienta y los motores viejos (para los que es difícil encontrar substitutos directos). En casos dudosos como estos, los reemplazos generales podrían no justificarse. El mayor potencial de ahorro reside en los motores que funcionan durante tiempo prolongado en

condiciones cercanas a plena carga. Estos serían los candidatos lógicos para un programa de reemplazos.

### **PROGRAMAS DE REEMBOLSO DE LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS**

Recientemente hubo importantes fallos jurídicos en EE.UU. que permiten a las empresas eléctricas ofrecer a sus clientes ayuda financiera para implementar medidas de conservación de energía. Antes de ello, dichas empresas tenían el siguiente dilema: si financiaban y promovían la conservación, el respectivo gasto en personal, equipo, etc., terminaba siendo un costo que reducía sus ventas e ingresos. Esto representaba para las empresas eléctricas un doble desincentivo para su apoyo a las medidas de conservación.

Bajo las nuevas reglas, el dinero que las empresas eléctricas gastan en conservación de energía puede considerarse una inversión de capital. En otras palabras, esto implica que el financiar la “recompra” de un kilowatt de capacidad ahorrada por medidas de conservación equivale contablemente a invertir dinero en construir una planta capaz de generar ese kilowatt adicional. Con este nuevo enfoque contable, las empresas eléctricas ahora están dispuestas (y a veces obligadas) a invertir grandes sumas de dinero en las medidas de conservación de sus clientes. Una empresa eléctrica indicó que ahora es posible “recomprar” un kilowatt de capacidad pagando aproximadamente dos tercios del costo de instalar un nuevo kilowatt de capacidad. El nuevo enfoque ha convertido una situación perdedora en una situación de ganancia mutua para las empresas eléctricas y sus clientes.

Como consecuencia de esto, hay una gran actividad en programas de reembolso de las empresas eléctricas para financiar diversas medidas de conservación. Tal como en las iniciativas individuales de conservación de energía, se está dando especial importancia a la iluminación porque es fácil de comprender y se pueden lograr pronto ganancias sustanciales. Los motores eléctricos y los sistemas de accionamiento están ahora recibiendo mayor atención porque estos equipos utilizan casi dos tercios de la energía generada en el país. Los programas activos de reembolso en el caso de motores usualmente tienen dos modalidades diferentes. Una es el reembolso ofrecido para motores estándar que han fallado en servicio. Para tal reembolso se considera que el gasto de quitar el viejo motor e instalar uno nuevo es algo necesario. En dicho programa de “motores averiados” el reembolso está generalmente reducido, pero se basa en hacer económicamente factible el comprar un motor de eficiencia premium que reemplace al viejo motor de eficiencia estándar. En este caso, sólo se reconoce y compensa la diferencia extra en el costo de adquirir un motor de eficiencia premium.

Existe otro enfoque para los motores operantes, donde se ofrece como incentivo un reembolso mayor para cubrir parte del costo de quitar y reemplazar un motor que está funcionando bien. La Tabla 1 muestra un ejemplo de programa de reembolso ofrecido por una empresa eléctrica para motores operantes y averiados.

En el caso de los motores operantes, el reembolso es suficientemente atractivo para incentivar el reemplazo general de motores que funcionan bien. En esta situación particular, además del reembolso, los clientes se benefician con la reducción en sus costos de energía - con pocas restricciones.

Existen muchos otros programas de reembolsos basados en diferentes conceptos, incluyendo algunos en que la empresa eléctrica invierte en el proyecto de conservación y los ahorros resultantes son compartidos por la empresa y el cliente durante cierto período de tiempo. Los reembolsos de las empresas eléctricas, en cualquiera de sus formas, constituyen un gran incentivo.

**TABLA 1**  
**Motores de 1800 RPM REEMBOLSOS**  
**TÍPICOS POR REEMPLAZO GENERAL**

HP	CAJA	
	ODP	TEFC
5	\$185	\$ 212
20	\$442	\$ 533
40	\$776	\$1005

**REEMBOLSOS TÍPICOS POR REEMPLAZO**  
**DE MOTORES AVERIADOS**

HP	CAJA	
	ODP	TEFC
5	\$ 45	\$ 61
20	\$128	\$168
40	\$189	\$306

Posiblemente el efecto más importante de los reembolsos ofrecidos por las empresas eléctricas es que han despertado el interés de usuarios comerciales e industriales en la conservación de energía mediante motores.

En todos los programas de reembolso, se debe cumplir con normas de eficiencia mínima para los nuevos motores y usualmente se incluye una condición en cuanto al número de horas por año en que el motor deberá operar para poder ser considerado. En el caso de programas que ofrecen reembolsos, especialmente los más atractivos, hay pocas excusas para no utilizar motores de eficiencia premium.

### PARTICIPANDO EN EL MEJORAMIENTO

Los pasos para participar en el mejoramiento de la eficiencia de sus motores son los siguientes:

### EQUIPO NUEVO

Al comprar equipos nuevos que van a operar durante períodos de tiempo substanciales, solicite la opción de motores de eficiencia premium. En la solicitud de cotización de compresores de aire, bombas, equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado, máquinas para procesos industriales, etc., se puede especificar algo así como: "El oferente deberá cotizar el equipo con motores de inducción estándar y, como alternativa, el mismo equipo pero con motores de eficiencia premium. El oferente deberá indicar

el incremento en costo por incluir los motores de eficiencia premium y proporcionar las eficiencias nominales de los motores estándar y de eficiencia premium que está cotizando."

Al utilizar una especificación similar a ésta, el comprador del equipo podrá tomar decisiones lógicas sobre los nuevos motores a instalar. En la mayoría de los casos, el costo adicional de adquirir un motor de mayor eficiencia energética será relativamente bajo, especialmente en comparación al costo total del equipo que acciona.

### FALLAS EN SERVICIO

Si un motor opera con un alto nivel de carga y funciona durante tiempo razonablemente largo, reemplácelo con un motor de eficiencia premium al momento de fallar.

Los motores normalmente duran muchos años si funcionan dentro de límites razonables y se los cuida bien. Cuando un motor se avería, su costo de reparación puede ser casi tan alto como el de comprar una nueva unidad. Asimismo, el costo de mano de obra para quitar el viejo motor e instalar el motor reparado o un motor de reemplazo es igual. A veces, el costo de mano de obra es mayor que el del motor. Por ello, el momento en que falla es el ideal para reemplazarlo por un motor más eficiente.

### CAMBIO GENERAL DE MOTORES

El reemplazo de motores operantes es el procedimiento más difícil de justificar. Se hace económicamente factible si los motores funcionan con altos niveles de carga, si han acumulado largas horas de servicio, y especialmente si la empresa eléctrica está ofreciendo un programa de reembolso. Si se cumplen estas tres condiciones, podrá aprovechar y beneficiarse con los ahorros resultantes de usar motores de eficiencia premium.

No ignore otras posibilidades de conservar energía. Junto con el uso de motores de eficiencia premium o además de ello, el empleo de controles de frecuencia variable ofrece grandes oportunidades de ahorrar energía. Estos equipos son excelentes economizadores de energía especialmente en el caso de cargas de par variable, como las bombas centrífugas, ventiladores y sopladores. En este tipo de cargas, la potencia (HP) requerida es una función cúbica de la velocidad y la energía varía en relación casi directa con el caballaje. Por ejemplo, al reducir la velocidad de un ventilador en 15% puede ahorrarse más de un 35% en energía. Los controles electrónicos de frecuencia variable (VFDs) son sumamente confiables y su precio es ahora relativamente bajo.

Los motores de dos velocidades también ofrecen un medio simple y económico de reducir los costos de energía. Su velocidad no es infinitamente regulable como en los controles de frecuencia ajustable, pero a menudo ese grado de regulabilidad no es necesario y la simplicidad y economía del motor de dos velocidades y su control pueden resultar en grandes ahorros.

No ignore tampoco las oportunidades si se trata de motores pequeños. Muchos usuarios de motores en instalaciones comerciales y en la “industria liviana” no reconocen la oportunidad de economizar energía porque piensan que sus motores son “demasiado pequeños” para ser candidatos viables en el mejoramiento de la eficiencia. ¡Están muy equivocados! El grado de mejora en la eficiencia en motores de menos de 10 HP es substancialmente mayor que en unidades más grandes. Por ejemplo, la diferencia en eficiencia entre un motor estándar de 3 HP y un motor de eficiencia premium de 3 HP puede ser del 7 u 8%. Haciendo la misma comparación entre motores de 100 HP, la ganancia en eficiencia puede ser de sólo 2%. El resultado neto es que los motores pequeños pueden recuperar su costo diferencial más rápido que los motores grandes.

## COSTOS DE OPERACIÓN Y AHORROS

### Regla Práctica

Para ganar cierta perspectiva entre los costos de operar motores y algunos posibles ahorros, aquí ofrecemos una buena “regla práctica”.

A 5 centavos por kilowatt-hora, el operar un motor a plena carga cuesta \$1 por HP por día. (A 10 centavos por kilowatt-hora, este costo se duplica a \$2 por día). Este valor puede modificarse proporcionalmente en el caso de operación a menos de plena carga, o de operación no continua, etc.

Consideremos un motor de 100 HP que opera continuamente en una zona de 10 centavos por kilowatt-hora. El costo anual de operación es de, aproximadamente, \$70.000. Esta cifra representa unas 18 veces el costo inicial del motor. Invirtiendo un 30% extra (\$1200) en una unidad de eficiencia premium (2.4% más eficiente) el costo de operación podría reducirse en aproximadamente \$1800 por año. En el caso de un motor pequeño de 3 HP a 10 centavos por kilowatt-hora, el costo anual de operación es algo mayor de \$2300, y pagando un 40% extra por el motor podría reducirse el costo de operación en \$140 por año. En ambos casos, el costo extra del motor puede recuperarse en pocos meses mediante el ahorro de energía.

Cuando un motor funciona continuamente a plena carga o cerca de la misma, el costo inicial del motor es usualmente bajo en comparación con su costo anual de operación.

## OTROS BENEFICIOS

Debido a sus menores pérdidas, los motores de eficiencia premium funcionan a temperatura más baja que los motores equivalentes de tipo estándar. Esto resulta en una vida más larga del aislamiento y del lubricante, y en menos tiempo improductivo. Asimismo, por su diseño específico tienen la capacidad de tolerar mayores variaciones de voltaje y, de ser necesario, mayores temperaturas ambiente. Un beneficio adicional es que, al generarse menos calor residual en el espacio que rodea al motor, se reducen las necesidades de ventilación y/o acondicionamiento de aire del edificio. Esto puede resultar en ahorros adicionales.

## RESUMEN

En la actualidad, los costos de energía eléctrica son altos pero estables. La conservación ha reducido la necesidad de construir nuevas plantas generadoras y el precio de los combustibles se mantuvo relativamente constante. Sin embargo, muchas plantas nucleares están llegando al final de su vida útil. A medida que vayan siendo retiradas y que su capacidad deba reemplazarse, los costos de capital irán ciertamente aumentando. Por otra parte, al incrementarse la demanda de combustibles gaseosos, líquidos y sólidos “limpios”, su respectivo costo será más alto. En consecuencia, es importante aprovechar ahora mismo toda oportunidad razonable de economizar energía. La utilización de motores de inducción trifásicos de eficiencia premium es una forma fácil y costo-eficaz de conservar energía.

## FÓRMULAS DE COSTOS DE OPERACIÓN DE MOTORES

$$\text{Kilowatt-Horas} = \frac{\text{HP}^{**} \times .746 \times \text{Horas de Operación}}{\text{Eficiencia del Motor}}$$

\*\* HP con Carga Media (Puede ser menor que la potencia nominal indicada en la placa de fábrica del motor)

### Constantes Útiles

Promedio de horas por mes	= 730
Horas por año	= 8760
Promedio de horas de oscuridad por año	= 4000
Promedio aproximado de horas por mes (operación con turno único)	= 200

### Fórmula de los Ahorros Anuales

$$S = 0.746 \times \text{HP} \times C \times N \left[ \frac{1}{E_S} - \frac{1}{E_{PE}} \right]$$

S =	Dólares ahorrados por año
HP =	Potencia requerida por la carga
C =	Costo de la energía en dólares por kilowatt-hora
N =	Horas de funcionamiento anuales
ES =	Eficiencia del motor estándar (decimal)
EPE =	Eficiencia del motor premium (decimal)

Fórmula General - Todas las Cargas

$$\text{Kilowatt-Horas} = (\text{Watts} \times \text{Horas de Operación}) / 1000$$

Costo de Operación Aproximado\* = Kilowatt-Horas x Costo Medio por Kilowatt-Hora

\* No incluye las multas por factor de potencia o los cargos por demanda que podrían aplicarse en algunas zonas.

## **MOTORES DE EFICIENCIA PREMIUM - (PREGUNTAS Y RESPUESTAS)**

Pese al gran potencial de ahorro de dinero y energía que existe al utilizar motores de eficiencia premium, es sorprendente que muchos usuarios no estén especificando este tipo de motor. Algunas razones para esto derivan de ciertos malentendidos acerca de sus posibilidades de ahorrar energía. La siguiente información se presenta en forma de preguntas y respuestas sobre algunos mitos e interrogantes relacionados con los motores de eficiencia premium.

Pregunta: ¿Puedo ahorrar dinero aún si tengo sólo motores relativamente pequeños en mi planta?

Respuesta: El ahorro potencial en energía de los pequeños motores de eficiencia premium es en realidad porcentualmente mayor que el ahorro que se obtiene con motores grandes. La razón es que, en los motores pequeños, la diferencia porcentual en eficiencia entre el motor estándar y el motor de eficiencia premium es efectivamente mucho mayor que la correspondiente a los motores grandes. Por ejemplo, la diferencia entre un motor de eficiencia premium de 3 HP y un motor estándar de igual capacidad puede fácilmente ser de 9 o más puntos porcentuales. Haciendo similar comparación entre motores de 100 HP, la diferencia a favor de los motores de eficiencia premium sobre los estándar puede ser sólo de un 2%.

Pregunta: ¿Tienen mis motores que trabajar a plena carga para lograr los ahorros resultantes de utilizar motores de eficiencia premium?

Respuesta: Para alcanzar una eficiencia óptima, es usualmente ventajoso que los motores trabajen a más de un 50% de su carga nominal. Es decir que por lo general conviene redimensionar el motor en el proceso de mejoramiento a eficiencia premium. Sin embargo, aún si ésto no se hace y el motor tiene capacidad excesiva, pueden todavía lograrse ahorros substanciales al utilizar un motor de eficiencia premium. Por ejemplo, a un 25% de la carga nominal, la diferencia en eficiencia entre un motor estándar y un motor de eficiencia premium (de 10 HP) sería de 89.5% vs. 92.4%. O sea que el motor de eficiencia premium sigue siendo substancialmente mejor que un motor estándar, incluso a bajos niveles de carga. En efecto, se puede mejorar considerablemente la eficiencia aún sin redimensionar los motores.

Pregunta: ¿Cuánto mayor es el costo de los motores de eficiencia premium?

Respuesta: Por lo general, los motores de eficiencia premium cuestan 20 a 30% más que los estándar, dependiendo del tamaño y la velocidad del motor.

Pregunta: ¿Por qué cuestan más los motores de eficiencia premium que los motores estándar?

Respuesta: Los motores de eficiencia premium se fabrican con más y mejores materiales. Por ejemplo, el material de las láminas es un acero de calidad superior y mayor costo. Asimismo, el rotor y el estator son generalmente más largos en los motores de eficiencia premium que en los motores estándar. Las láminas son más delgadas en comparación con las de los motores de eficiencia estándar; esto significa que los motores de eficiencia premium tienen más láminas. Por otra parte, las ranuras del laminado son mayores para poder usar más cobre en los devanados. Finalmente, los motores de eficiencia premium se fabrican en menores lotes de producción, lo que también tiende a encarecerlos.

Pregunta: Si los motores de eficiencia premium permiten ahorrar mucho dinero, ¿por qué su uso no está más generalizado?

Respuesta: Esta pregunta es difícil de responder, pero probablemente tiene que ver con el hecho que mucha gente basa sus decisiones de compra en el costo inicial del motor en vez de considerar sus costos de operación. Asimismo, parece haber cierto escepticismo sobre las afirmaciones de los fabricantes en cuanto al desempeño de este tipo de motores. Muchos usuarios que participan activamente en otros programas de conservación de energía, como los relacionados con iluminación, aislamientos, etc., han ignorado el potencial de ahorro de energía de los motores de eficiencia premium.

Pregunta: ¿Por qué los fabricantes de motores no hacen más evidente el hecho de que se puede ahorrar dinero con estos motores?

Respuesta: A diferencia de las lámparas, que se venden de acuerdo a su consumo en watts (entrada), los motores eléctricos se venden en base a su potencia en HP (salida). Por lo tanto, las diferencias en la eficiencia son indicadas en forma menos notable y la gente a menudo las pasa por alto. Por ejemplo, es obvio que al comprar un tubo fluorescente de 34 watts para reemplazar una lámpara de 40 watts se lograrán ciertos ahorros. Pero es menos obvio que al comprar un motor de 5 HP de eficiencia premium en vez de un motor estándar de 5 HP se va a economizar en la cuenta de electricidad. Asimismo, las complicaciones en el proceso de facturación de la electricidad en cuanto a los cargos por demanda, cargos por energía, ajustes por costo de combustible y posibles multas por factor de potencia, crean tal confusión que hacen poco evidentes los ahorros - pero éstos sí existen.

Pregunta: ¿Cómo puedo evaluar los ahorros en dinero por utilizar motores de eficiencia premium?

Respuesta: Para realizar esta evaluación se requieren tres elementos. El primero y principal, es el costo medio por kilowatt-hora de la electricidad. La forma más simple y directa para calcularlo es dividir el costo global en una factura mensual de electricidad por el total de kilowatt-horas usado. Esto nos da el costo neto por kilowatt-hora, que es generalmente el costo más apropiado para evaluar el equipo que economiza energía. La razón de ello es que los equipos diseñados para mejor eficiencia generalmente van a reducir la demanda, los kilowatt-horas y los ajustes por costo de combustible en igual proporción. En consecuencia, la forma más fácil de hacer la evaluación es usar el costo medio por kilowatt-hora. El siguiente elemento es la capacidad en HP del motor en cuestión, y por último el número de horas por mes o por año en que va a operar este motor. Usando estos tres elementos y la diferencia en eficiencia entre ambos tipos de motor, es fácil calcular los ahorros en costo. Las fórmulas respectivas se encuentran en la página 74. Si tiene alguna duda, puede proporcionarnos la información necesaria y le haremos estos cálculos.

Pregunta: ¿En cuánto tiempo se pagan por sí mismos estos motores?

Respuesta: Esto es imposible de contestar sin tener todos los elementos indicados en la pregunta anterior, pero puede esperarse que los motores que operan 24 horas por día a plena carga o cerca de ella se paguen por sí mismos en menos de dos años. La diferencia entre el costo de un motor de eficiencia premium y el de un motor estándar puede recuperarse en pocos meses. Lo cierto es que, sin importar los detalles operativos específicos, los motores de eficiencia premium siempre van a ahorrar dinero en comparación con las unidades de menor eficiencia y los ahorros continuarán mientras el motor se encuentre en operación; veinte a treinta años, en muchos casos. Asimismo, al aumentar los costos de la energía, los ahorros aumentarán proporcionalmente. La vieja regla “pague ahora o pague en el futuro”, al aplicarse a motores de eficiencia premium tiene como corolario “pague ahora un poco más y ahorre algo ahora, y mucho más en el futuro.”

Pregunta: ¿Ofrece otras ventajas el utilizar motores de eficiencia premium?

Respuesta: Sí; por su mejor diseño y los materiales de mayor calidad con que se los construye, los motores de eficiencia premium tienden a funcionar a menores temperaturas de operación, resultando en una vida más prolongada de los lubricantes, los cojinetes y el aislamiento del motor. Otra ventaja es que, al generar menos pérdidas y menos calor en el espacio que rodea al motor, se reducen las necesidades de aire acondicionado y ventilación, lo que resulta en ahorros de energía adicionales.

Pregunta: ¿Cuál es el mejor modo de aprovechar el potencial de ahorros de los motores de eficiencia premium?

Respuesta: Especifique motores que cumplan con los requisitos de eficiencia NEMA Premium® en nuevos equipos y para reemplazar unidades que han fallado. Cuando se preparan especificaciones generales, es preciso usar cierto criterio. Por ejemplo, quizás no sea práctico especificar motores de eficiencia premium en el caso de motores monofásicos, de potencia fraccionaria y de algunas aplicaciones especializadas, o cuando el motor es parte integral del equipo. Asimismo, el costo extra puede no justificarse en instalaciones donde se requiere servicio poco frecuente del motor; por ejemplo en compactadoras de desechos, mezcladoras por lotes y otros equipos que sólo funcionan durante períodos breves de tiempo. Quizás también sea difícil justificar el costo adicional de utilizar motores de eficiencia premium en equipos que operan en forma estacional, particularmente si la estación es corta.

En resumen: es importante aprovechar lo antes posible la oportunidad de utilizar motores de eficiencia premium. Si tiene preguntas que no hayan sido cubiertas en lo expuesto anteriormente, tenga a bien consultarnos y les daremos respuesta.



# AMPERIOS, WATTS, FACTOR DE POTENCIA Y EFICIENCIA ¿POR CUÁL DE ELLOS PAGA USTED REALMENTE?

## INTRODUCCIÓN

Pareciera haber bastante confusión entre los usuarios de motores eléctricos sobre la importancia relativa del factor de potencia, la eficiencia y el amperaje, en lo concerniente al costo de operación. La siguiente información puede ayudar a poner estos términos en una perspectiva correcta.

A riesgo de tratar estos asuntos en orden inverso, quizás sea útil comprender que en una cuenta de electricidad, ya sea comercial, industrial o residencial, la unidad básica de medida es el kilowatt-hora. Esta es una medida de la cantidad de energía suministrada. En muchos aspectos, el kilowatt-hora puede compararse con una tonelada de carbón, un pie cúbico de gas natural o un galón de gasolina, en cuanto a que es una unidad básica de energía. El kilowatt-hora no está directamente relacionado con los amperios, y en ninguna parte de la cuenta de electricidad puede encontrarse una referencia a los amperios que se han utilizado. Es de fundamental importancia notar esta distinción. A usted se le facturan kilowatt-horas: usted no necesariamente paga por amperios.

## FACTOR DE POTENCIA

La mayor confusión surge posiblemente del hecho que, en nuestra temprana educación sobre las ciencias, nos enseñaron que la fórmula para los watts es amperios por voltios. Esta fórmula:  $watts = amperios \times voltios$ , es perfectamente cierta en los circuitos de corriente continua. También es apropiada para algunas cargas de CA, como las lámparas incandescentes, los calefactores de cuarzo, los elementos calentadores de las cocinas eléctricas, y otros equipos de naturaleza similar. Pero cuando las cargas tienen una característica llamada inductancia, la fórmula deberá alterarse incluyendo un nuevo término llamado factor de potencia. Por lo tanto, la fórmula para las cargas monofásicas se convierte en:  $watts = amperios \times voltios \times factor\ de\ potencia$ . Este nuevo término, el factor de potencia, está siempre involucrado en las aplicaciones que utilizan energía de CA y donde existen elementos magnéticos inductivos en el circuito. Los elementos inductivos son dispositivos magnéticos tales como bobinas de solenoide, devanados de motores, devanados de transformadores, reactores de lámparas fluorescentes y equipos similares que incluyen componentes magnéticos en sus respectivos diseños.

Observando el flujo de energía eléctrica en este tipo de dispositivos, vemos que tiene esencialmente dos componentes. Una parte es absorbida y utilizada para realizar trabajo útil. Esta parte se denomina potencia activa (o real). La segunda parte, literalmente, se toma a préstamo de la empresa eléctrica y se usa para magnetizar la porción magnética del circuito. Dada la naturaleza reversible de la energía de CA, esta energía prestada es posteriormente devuelta a la red eléctrica al invertirse el ciclo de la corriente alterna. Este proceso de préstamo y devolución ocurre continuamente. El factor de potencia es una medida de la potencia activa que se usa, dividida por el total de la energía, tanto la tomada a préstamo como la utilizada. El rango de valores del factor de potencia va desde cero a 1.0. Si toda la energía se toma a préstamo y es devuelta sin utilizar, el factor de potencia es cero. Si, por el contrario, toda la energía que se toma de la red se utiliza sin devolverse nada, el factor de potencia es 1.0. En el caso de los elementos calentadores eléctricos, las lámparas incandescentes, etc., el factor de potencia es 1.0. En el caso de los motores eléctricos, el factor de potencia es variable y cambia según la magnitud de la carga que se aplica al motor. Así, un motor que está funcionando sobre un banco de trabajo sin que haya una carga aplicada al eje, tendrá un bajo factor de potencia (quizás de 0.1 ó 10%) mientras que un motor que funciona a plena carga, conectado a una bomba o a un ventilador, puede tener un factor de potencia relativamente alto (quizás de 0.88 ó 88%). Entre el punto sin carga y el punto de plena carga, el factor de potencia aumenta constantemente con la carga en HP que se aplica al motor. Estas tendencias pueden verse en el gráfico de datos del desempeño de un motor típico que muestra la Figura 1.

## EFICIENCIA

Consideremos ahora uno de los elementos más críticos pertinentes al costo de operación del motor. Se trata de la eficiencia. La eficiencia o rendimiento es la medida de cuán bien un motor eléctrico convierte en trabajo útil la energía comprada. Por ejemplo, un calentador eléctrico, como ser el elemento térmico en una cocina eléctrica, convierte en calor el 100% de la energía suministrada. En otros dispositivos, como los motores, no toda la energía comprada es convertida en energía usable. Cierta parte de la misma se pierde y no es recuperable porque es eliminada en las pérdidas resultantes de la operación del dispositivo. En un motor eléctrico, estas pérdidas típicas son las pérdidas en el cobre, las pérdidas en el hierro y las llamadas pérdidas por fricción y "efecto del viento" relacionadas con el giro del rotor y los cojinetes y la circulación del aire refrigerante a través del motor.

En un motor de alta eficiencia energética, las pérdidas se reducen porque se utiliza material de mayor calidad, más material y un mejor diseño, lo que permite minimizar los diversos elementos que contribuyen a producir pérdidas en el motor.

Por ejemplo, un motor de 10 HP con diseño Super-E® de alta eficiencia energética puede tener una eficiencia a plena carga de 92.4%, lo que significa que, funcionando a plena carga (10 HP), convierte en trabajo útil un 92.4% de la energía que recibe. Un motor menos eficiente podría tener una eficiencia de 82%, lo que indica que sólo convierte en trabajo útil un 82% de la energía recibida. En general, la eficiencia de los motores será relativamente constante entre el 50% y el 100% de su carga nominal.

## AMPERIOS

Pasamos ahora a tratar los amperios, que representan el flujo de corriente eléctrica en el motor. Este flujo incluye tanto la energía tomada a préstamo como la energía utilizada. A bajos niveles de carga, la energía tomada a préstamo es un alto porcentaje de la energía total. Al aumentar la carga en el motor, la energía tomada a préstamo se convierte gradualmente en un factor menor y la energía utilizada va en aumento. Es decir que el factor de potencia se ve incrementado a medida que aumenta la carga en el motor. Al continuar aumentando la carga más allá del 50% de la capacidad nominal del motor, el amperaje empieza a incrementarse en una relación casi rectilínea. Esto puede observarse en la Figura 1.

## RESUMEN

La Figura 1 muestra en forma gráfica varios elementos importantes que hemos discutido, como la eficiencia, el factor de potencia y los watts, en su relación con la potencia en HP. El factor más significativo de todos ellos corresponde a los watts requeridos por el motor a diversos niveles de carga, ya que son los watts quienes determinan el costo de operación del motor, no el amperaje.

Un usuario con un factor de potencia sumamente bajo en el sistema eléctrico total de su planta puede ser penalizado por la compañía eléctrica ya que en efecto está tomando a préstamo una alta proporción de la energía, sin pagar por ella. Este tipo de cargo adicional que se cobra al usuario se denomina habitualmente multa por factor de potencia. En general, las multas o tarifas por factor de potencia se cobran a los grandes usuarios industriales y muy raramente a usuarios de menor consumo, no importa cual sea su respectivo factor de potencia. Por otra parte, hay diversos tipos de usuarios de energía, como los establecimientos comerciales, hospitales y algunas plantas industriales, que trabajan inherentemente con factores de potencia muy altos. En consecuencia, el factor de potencia de los pequeños motores que se añadan al sistema no tendrán un efecto significativo en el factor de potencia total de la planta.

Por estas razones, podemos hacer la afirmación general que aumentando la eficiencia de los motores se reducirá el consumo de kilowatt-horas y el costo de la energía para todas las categorías de usuarios de energía, no importa cual sea su estructura tarifaria o su factor de potencia específico. Este tipo de afirmación no puede hacerse en lo que concierne al factor de potencia.

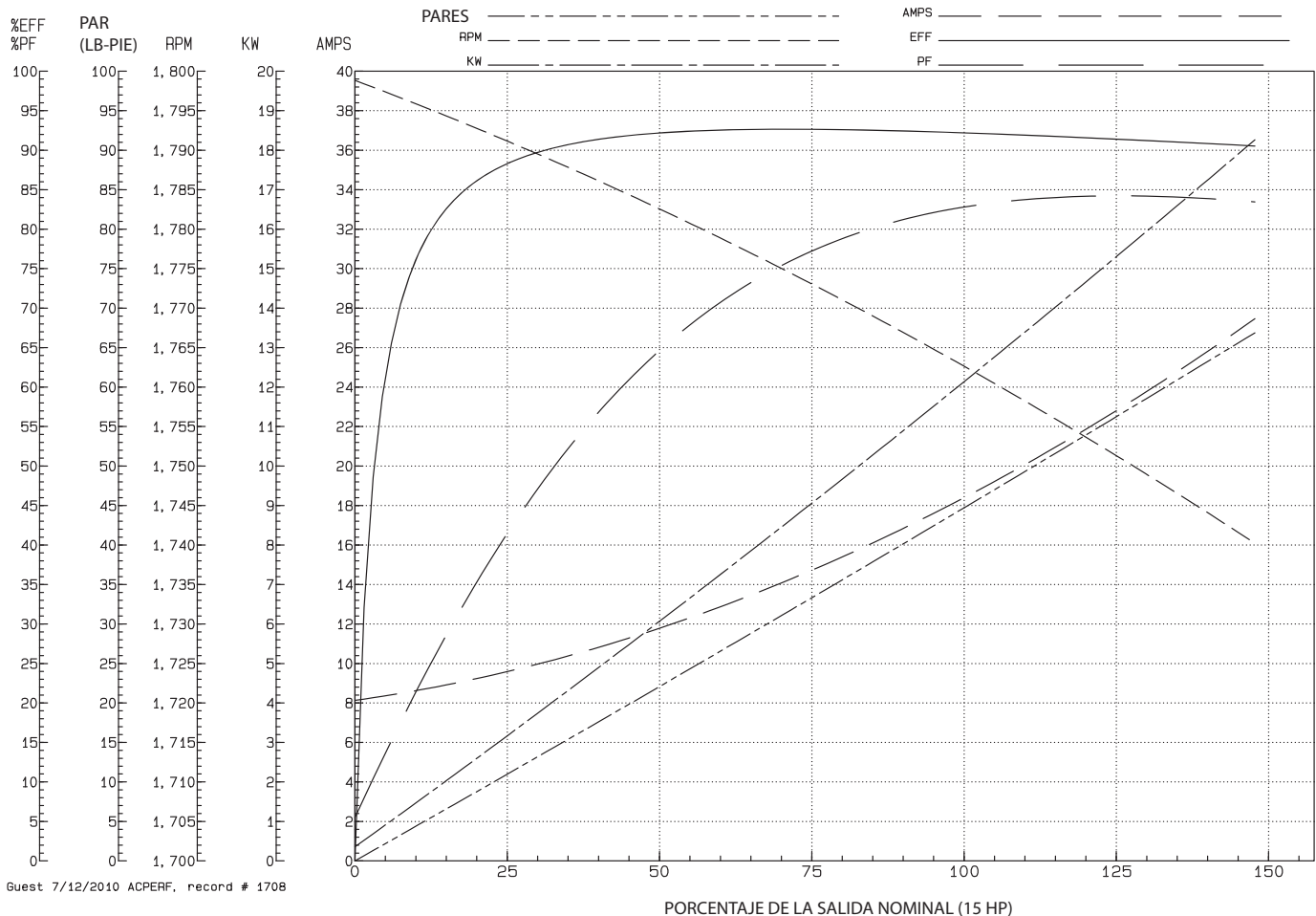
BALDOR ELECTRIC COMPANY

WINDING # 09WGX717

Desempeño típico - no son valores garantizados

15 HP 3 PH 60 HZ 1765 RPM 460 V 0936M

PARES (LB-PIE) : P0=165 PU=68.2 LR=79.1 LRA=122.9



Guest 7/12/2010 ACPERF, record # 1708

Figura 1

The following basic equations are useful in understanding and calculating the factors that determine the operating costs of motors and other types of electrical equipment.

## CÁLCULOS DEL COSTO DE OPERACIÓN

$$\text{Kilowatt-Horas} = \frac{\text{HP}^{**} \times .746 \times \text{Horas de Operación}}{\text{Eficiencia del Motor}}$$

\*\* HP con Carga Media (Puede ser menor que la potencia nominal indicada en la placa de fábrica del motor)

### GENERAL FORMULA ALL LOADS

$$\text{Kilowatt-Horas} = \frac{\text{Watts} \times \text{Horas de Operación}}{1000}$$

$$\text{Costo Aproximado de Operación}^* = \text{Kilowatt-Horas} \times \text{Costo Medio/Kilowatt-Hora}$$

\* No incluye las multas por factor de potencia o los cargos por demanda que podrían aplicarse en algunas zonas.

### CONSTANTES ÚTILES

$$\begin{aligned} \text{Promedio de Horas por Mes} \\ &= 730 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Promedio de Horas por Año} \\ &= 8760 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Promedio de Horas de Oscuridad por Año} \\ &= 4000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Promedio Aproximado de Horas por Mes} \\ \text{(Operación con Turno Único)} \\ &= 200 \end{aligned}$$

## DATOS APROXIMADOS DE CARGA BASADOS EN LECTURAS DEL AMPERAJE

### CONDICIONES

1. El voltaje aplicado deberá estar dentro de un 5% del valor nominal indicado en la placa de fábrica.
2. Se deberá poder desconectar el motor de la carga. (Quitando las correas en V o desconectando un acoplamiento).
3. El motor deberá ser de 7-1/2 HP o mayor, y de 3450, 1725 ó 1140 RPM.
4. El amperaje de línea indicado deberá ser inferior al valor nominal de plena carga indicado en la placa de fábrica.

### PROCEDIMIENTO

1. Mida y registre el amperaje de línea con la carga conectada y en funcionamiento.
2. Desconecte el motor de la carga. Mida y registre el amperaje de línea mientras el motor está funcionando sin carga.
3. Lea y registre el amperaje indicado en la placa de fábrica del motor para el voltaje que se está usando.
4. Introduzca en la siguiente fórmula los valores registrados y resuélvala.

$$\% \text{ DEL HP NOMINAL} = \frac{(2 \times \text{LLA}) - \text{NLA}}{(2 \times \text{NPA}) - \text{NLA}} \times 100$$

Donde: LLA = Amperios de Línea con Carga  
 NLA = Amperios de Línea sin Carga  
 (Motor desconectado de la carga)  
 NPA = Amperaje Indicado en la Placa de Fábrica  
 (Para el voltaje de operación correspondiente)

Favor de Observar: Este procedimiento dará por lo general resultados razonablemente correctos cuando la carga del motor está en el rango de 40 a 100% y resultados menos correctos para cargas menores del 40%.

PARA UN EJEMPLO DE ESTE CÁLCULO,  
 VEA LA PÁGINA SIGUIENTE

**EJEMPLO:**

Un motor de 20 HP que acciona una bomba está funcionando a 460 voltios y tiene un amperaje de línea con carga de 16.5.

Cuando se desconecta el acoplamiento y el motor funciona sin carga, el amperaje es de 9.3.

El amperaje indicado en la placa de fábrica del motor para 460 voltios es de 19.4.

Por lo tanto tenemos:

Amperios de Línea con Carga	LLA = 16.5
Amperios sin Carga	NLA = 9.3
Amperios Indicados en la Placa de Fábrica	NPA = 19.4

$$\% \text{ del HP Nominal} = \frac{(2 \times 16.5) - 9.3}{(2 \times 19.4) - 9.3} \times 100 = \frac{23.7}{29.5} \times 100 = 80.3\%$$

La carga aproximada en el motor es ligeramente superior a 16 HP.

# CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN MOTORES DE INDUCCIÓN INDIVIDUALES

## INTRODUCCIÓN

En algunas ocasiones se nos pide dimensionar capacitores para corrección del factor de potencia con el fin de mejorar el factor de potencia de un motor individual. Por lo común, el nivel del factor de potencia mejorado que se solicita es de un 90 o un 95%. El método para calcular el valor apropiado de KVAR (kilovolt-amperios reactivos) del capacitor es sencillo, pero como no lo utilizamos frecuentemente, conviene tenerlo por escrito.

## PROCEDIMIENTO

Primero necesitamos información sobre la eficiencia (rendimiento) y el factor de potencia a plena carga del motor. Para los motores Baldor, estos datos pueden encontrarse en Internet en el sitio web [www.baldor.com](http://www.baldor.com). A continuación, como la mayoría de las tablas de factor de potencia están definidas en términos de Kilowatts, es necesario convertir la salida nominal del motor a Kilowatts. El procedimiento respectivo es tomar la capacidad en HP del motor y multiplicarla por la constante de KW por HP (0.746). Esto nos dará los KW de Salida. Luego hay que dividir este valor por la eficiencia del motor (en decimales) para obtener los KW de Entrada a plena carga. A continuación, se debe consultar la Tabla I de corrección del factor de potencia entrando desde la izquierda con el factor de potencia existente y bajando desde la parte superior con el factor de potencia deseado. En la intersección de ambas variables encontraremos el multiplicador necesario.

El paso siguiente es multiplicar los Kilowatts de Entrada del motor por el multiplicador obtenido en la Tabla I para obtener el valor en KVAR de corrección del factor de potencia que se requiere. Este valor se redondea para adaptarlo a la capacidad nominal de los capacitores de corrección del factor de potencia disponibles en el mercado, según se muestra en la Tabla 2.

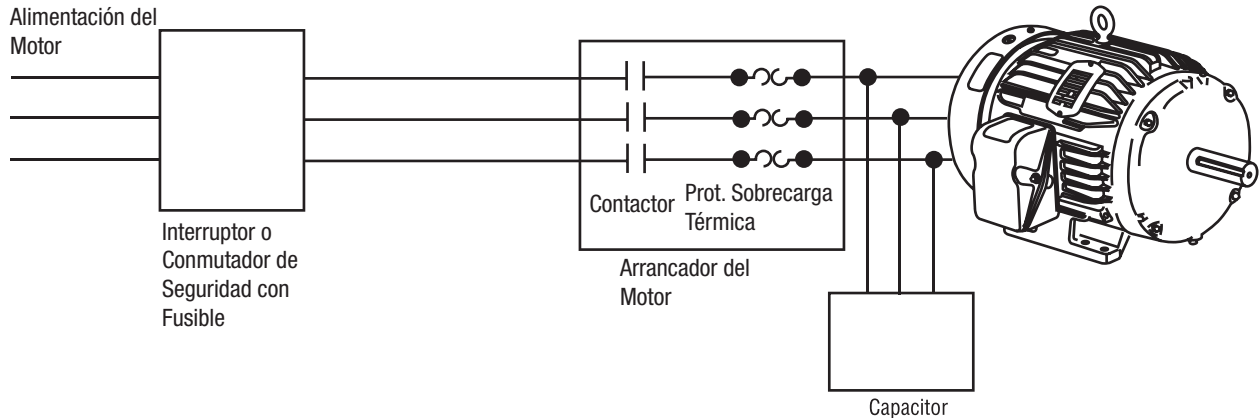


Figura 1

TABLA 1			
FACTOR ORIGINAL EN %	FACTOR DE POTENCIA DESEADO EN %		
	85	90	95
60	0.713	0.849	1.004
62	0.646	0.782	0.937
64	0.581	0.717	0.872
66	0.518	0.654	0.809
68	0.458	0.594	0.749
70	0.400	0.536	0.691
72	0.344	0.480	0.635
74	0.289	0.425	0.580
76	0.235	0.371	0.526
77	0.209	0.345	0.500
78	0.182	0.318	0.473
79	0.156	0.292	0.447
80	0.130	0.266	0.421
81	0.104	0.240	0.395
82	0.078	0.214	0.369
83	0.052	0.188	0.343
84	0.026	0.162	0.317
85	0.000	0.136	0.291
86		0.109	0.264
87		0.083	0.238
88		0.056	0.211
89		0.028	0.183
90		0.000	0.155
91			0.127
92			0.097
93			0.066
94			0.034
95			0.000

TABLA 2		
CAPACIDAD NOMINAL DE CAPACITORES TRIFÁSICOS ESTÁNDAR KVAR (KILOVOLT-AMPERIOS REACTIVOS)		
1.0	20.0	70.0
1.5	22.5	75.0
2.0	25.0	80.0
2.5	27.5	85.0
3.0	30.0	90.0
4.0	32.5	100.0
5.0	35.0	120.0
6.0	37.5	140.0
7.5	40.0	150.0
8.0	42.5	160.0
9.0	45.0	180.0
10.0	50.0	200.0
11.0	52.5	225.0
12.5	55.0	250.0
15.0	60.0	300.0
17.5	65.0	350.0

### EJEMPLO:

Para ilustrar este procedimiento tenemos el siguiente ejemplo:

¿Cuál es la capacidad en KVAR de los capacitores para corrección del factor de potencia necesarios para mejorar el factor de potencia de un motor de 100 HP Cat. No. M2555T, hasta 95% a plena carga?

Paso 1: Ver los valores de eficiencia y factor de potencia existentes. Eficiencia = 94.1%  
Factor de Potencia = 85%

Paso 2: Convertir el valor de HP a Kilowatts de salida.  $100 \text{ HP} \times 0.746 = 74.6 \text{ KW}$

Paso 3: Convertir los Kilowatts de salida en Kilowatts de entrada dividiéndolos por la eficiencia a plena carga.

$$\frac{74.6}{.941} = 79.3 \text{ KW de entrada}$$

Paso 4: Buscar en la Tabla 1 el multiplicador necesario para alcanzar el factor de potencia corregido de 95% que se desea. El multiplicador es 0.291

Paso 5: Multiplicar los KW de entrada por este multiplicador.  $79.3 \times 0.291 = 23.1 \text{ KVAR}$   
Esto determina el valor de KVAR del Capacitor que se requiere.

Paso 6: Seleccionar el valor más cercano en la Tabla 2. 22.5 KVAR

Será necesario asimismo especificar el voltaje del capacitor. En este caso es de 480 voltios.

## CORRECCIÓN DE LA CORRIENTE

A menudo, cuando se corrige el factor de potencia en un motor individual, los capacitores son conectados entre el arrancador y el motor en los terminales del motor, según muestra la Figura 1. En tal caso, el efecto de esta corrección es reducir la corriente que circula a través del arrancador y el relé de sobrecarga. Como los calentadores [calefactores] de sobrecarga son seleccionados (o ajustados) en base a la corriente de plena carga del motor, esto implica que los elementos de sobrecarga no protegerán adecuadamente el motor a menos que se reduzca la ampacidad en función de la corriente reducida que va a circular como resultado de la mejora en el factor de potencia.

El motor en sí seguirá consumiendo la misma cantidad de amperios a plena carga que la que consumiría si no se hiciera la corrección del factor de potencia. Pero los capacitores para corrección del factor de potencia van a suministrar una parte de la corriente y el resto llegará desde la línea eléctrica a través del arrancador.

El nuevo valor de la corriente que pasa a través de los protectores de sobrecarga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Corriente}_{\text{nueva}} = \text{Amperios (Nom.) a Plena Carga del Motor} \times \frac{\text{Factor de Potencia Original}}{\text{Factor de Potencia Corregido}}$$

En el caso del motor de 100 HP de nuestro ejemplo, la capacidad de los calentadores, que normalmente se establecería en base a la corriente nominal del motor de 118 amperios, deberá ajustarse como sigue:

$$\text{Corriente}_{\text{nueva}} = 118 \times \frac{.85}{.95} = 118 \times .895 = 105.6, \text{ o sea aproximadamente } 106 \text{ amperios}$$

## RESUMEN

Se recomienda tomar algunas precauciones. Generalmente conviene más “subcorregir” que “sobrecorregir”. Si los capacitores seleccionados son demasiado grandes, podrían ocasionar diversos problemas, incluyendo altos pares transitorios y sobrevoltaje. Por lo tanto, es usualmente recomendable no tratar de mejorar el factor de potencia a más de un 95%. Asimismo, el mejorarlo en exceso del 95% por lo general resulta antieconómico.

Por favor, tener en cuenta: Este tipo de mejora del factor de potencia no deberá hacerse en aquellos casos en que el motor está siendo controlado por un dispositivo de estado sólido tal como un control de arranque suave o una unidad de frecuencia variable.

# FÓRMULAS PRÁCTICAS DE MOTORES Y ENERGÍA

$$\text{Velocidad Sincrónica} = \frac{120 \times F \text{ frecuencia}}{\text{No. de Polos}}$$

Los polos pueden ser 2, 4, 6, 8, etc.

(Más del 95% de los motores que se comercializan son de 2, 4, ó 6 polos).

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{Par} \times \text{Velocidad}}{\text{Constante}}$$

La velocidad se expresa en RPM

El valor de la constante depende de las unidades que se usan para el par (torque).

<u>Unidades del Par</u>	<u>Valor de la Constante</u>
Libra-Pies	5252
Libra-Pulgadas	63,025
Onza-Pulgadas	1,000,000

## Potencia Requerida por las Bombas

### Bombas Centrífugas

$$\text{HP} = \frac{\text{Galones por Minuto} \times \text{Altura de Bombeo en Pies}}{3960 \times \text{Eficiencia de la Bomba}}$$

### Bombas Hidráulicas

$$\text{HP} = \frac{\text{Galones por Minuto} \times \text{Libras por Pulgada Cuadrada}}{1714 \times \text{Eficiencia de la Bomba}}$$

## Ventiladores y Sopladores

$$\text{HP} = \frac{\text{CFM} \times \text{Presión (Pulgadas de Agua)}}{6356 \times \text{Eficiencia (Ventilador o Soplador)}}$$

El rango normal de la eficiencia es del 50 al 75 por ciento.

CFM es la abreviatura de “cubic feet per minute” o pies cúbicos por minuto.

## Regla Práctica para Compresores de Aire

1 HP produce 4 CFM @ 100 PSI

PSI es la abreviatura de “pounds per square inch” o libras por pulgada cuadrada.

## AMPERIOS DE PLENA CARGA APROXIMADOS (MOTORES TRIFÁSICOS)

$$\text{Amperios} = \text{HP} \times 1.2 \times \frac{460}{\text{Voltaje del Motor}}$$

$$\text{Watts del Motor (a plena carga)} = \frac{\text{HP} \times 746}{\text{Eficiencia}}$$

Divide Watts by 1000 to get KW (Kilowatts)

## CÁLCULO DEL COSTO DE OPERACIÓN

### COSTO DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES

$$\text{Kilowatt-Horas} = \frac{\text{HP}^{**} \times .746 \times \text{Horas de Operación}}{\text{Eficiencia del Motor (Decimal)}}$$

\*\* HP con Carga Promedio (puede ser menor que el valor nominal de HP del motor)

## FÓRMULA GENERAL - TODAS LAS CARGAS

$$\text{Horas Promedio por Mes} = 730$$

$$\text{Horas Promedio por Año} = 8760$$

$$\text{Horas Promedio de Oscuridad por Año} = 4000$$

$$\text{Horas Promedio Aproximadas por Mes} = 200$$

(Operación con Turno Único)

$$\text{Costo de Operación Anual} = \text{Kilowatt-Horas Anuales} \times \text{Costo por KW-Hora}$$

Ejemplo:

Un motor de 20 HP que trabaja a plena carga con eficiencia FL (a plena carga) de 91.0% funciona durante 2500 horas al año en un lugar donde la energía cuesta 7.5 centavos por kilowatt-hora.

¿Cuál es el costo anual de operación?

$$\text{Kilowatt-Horas Anuales} = \frac{20 \times .746 \times 2500}{.910} = 40,989$$

$$\text{Costo Anual de Operación} = 40,989 \times .075 = \$3,074$$

**CÁLCULOS DE LA POTENCIA PARA CAMBIOS DE VELOCIDAD  
EN CARGAS DE PAR VARIABLE  
(VENTILADORES, SOPLADORES Y BOMBAS CENTRÍFUGAS)**

$$HP_{\text{nuevo}} = HP_{\text{original}} \times \left( \frac{\text{Nueva Velocidad}}{\text{Velocidad Original}} \right)^3$$

Ejemplo:

HP Original = 7.5  
Velocidad Original del Soplador = 900 RPM  
Nueva Velocidad del Soplador = 750 RPM  
Determinar la nueva potencia en HP

$$HP_{\text{nuevo}} = 7.5 \times \left( \frac{750}{900} \right)^3 \quad \text{ó} \quad 7.5 \times \frac{750}{900} \times \frac{750}{900} \times \frac{750}{900} =$$

$$7.5 \times .83 \times .83 \times .83 =$$

$$7.5 \times .57 = 4.3 \text{ HP}$$

Nota: La Energía Requerida para el Accionamiento (en Watts) aumenta y disminuye aproximadamente en la misma proporción que la potencia en HP.



# **CÓMO SELECCIONAR MOTORES PARA SITIOS PELIGROSOS**

por Edward Cowern, P.E.,

# Cómo Seleccionar Motores para Sitios Peligrosos

por EDWARD COWERN, P.E.

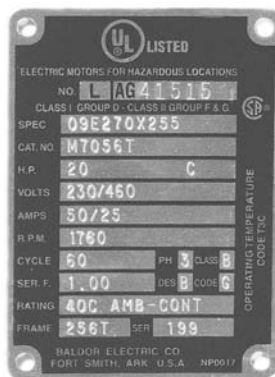
El hecho de no especificar el motor apropiado para usarse en un sitio peligroso, puede tener serias consecuencias - pérdida de producción, grandes daños a la propiedad, y hasta pérdida de vida humana. Para poder seleccionar el motor correcto es necesario entender las designaciones de Clase, Grupo y División de Underwriters' Laboratories (UL) y del Código Eléctrico Nacional (NEC) y las letras del código T.

En algunos departamentos de ingeniería fabril, los criterios de selección de motores para sitios peligrosos se conocen sólo de manera superficial. A veces, el encargado de preparar las especificaciones se desliga de la responsabilidad, confiando en que alguien - quizás el fabricante del motor - se ocupará de completar los datos que faltan. En otros casos se especifica el mismo tipo de motor que se ha usado anteriormente en la planta, confiando en que se adaptará a cualquier situación. Pero este enfoque puede aumentar sustancialmente el costo del proyecto, y en algunas ocasiones el motor resultará inadecuado para la aplicación específica.

Los sitios peligrosos son ambientes operativos donde existen, o es probable que puedan presentarse, polvos o vapores explosivos o inflamables. Se requieren allí motores especiales para asegurar que una falla interna en los mismos no vaya a encender los vapores o el polvo. Los requisitos para las instalaciones eléctricas en sitios peligrosos están detallados en los Artículos 500, 501, 502, 503, 510, 511, 513, 514, 515 y 516 del National Electrical Code (Código Eléctrico Nacional) o NEC.

El artículo 505, relativamente nuevo, representa un cambio sustancial sobre los requisitos tradicionales para sitios peligrosos, aproximando el NEC a los requisitos algo menos estrictos de los códigos europeos al clasificar las áreas en tres zonas diferentes: 0, 1 y 2. Como tiene más que ver con métodos y componentes de cableado que con motores, no será incluido en la siguiente discusión. El mencionado artículo 505 establece algunos principios, pero va a pasar algún tiempo antes que los fabricantes ofrezcan productos basados en los nuevos requisitos. Es también de esperar que la "inercia del hábito" demore la implementación de los cambios hacia estos requisitos zonales un poco más moderados. Posiblemente los cambios serán realizados primero por compañías multinacionales cuyos ingenieros estén más familiarizados con el sistema de zonas y los respectivos equipos.

El término "a prueba de explosión" a menudo se considera, erróneamente, aplicable a cualquier motor para sitios peligrosos. Los motores a prueba de explosión son únicamente aquellos aprobados para sitios Clase 1 - esto es, donde existen gases



Todos los motores aprobados para uso en sitios peligrosos División 1 llevan una placa de Underwriters' Laboratories. Además de los datos normales del motor como la potencia, la velocidad, el voltaje, el amperaje, la Letra de Código NEMA, etc., la placa muestra también la(s) Clase(s) y Grupo(s) específicos para los cuales el motor está aprobado. En este ejemplo, el motor está aprobado para Clase I Grupo D y Clase II Grupos F y G. Se indica asimismo el código T.

o vapores potencialmente explosivos. Los equipos Clase I están construidos para contener dentro de sí una explosión, sin romperse. Luego de la acumulación inicial de presión durante el encendido, el gas caliente es forzado a enfriarse atravesando pasadizos largos y estrechos (pasos de llamas) antes de escapar del motor. La temperatura del gas que escapa del motor será entonces inferior a la temperatura mínima de encendido (MIT o "minimum ignition temperature") de los gases o vapores en la atmósfera que circunda al motor.

**Significado de las Designaciones de "Clase" del Motor** - Cada motor aprobado para sitios peligrosos lleva una placa de Underwriters' Laboratories indicando que el motor está aprobado para utilizarse en dichos sitios (ver la ilustración). Esta placa identifica al motor como diseñado para operar en sitios Clase I o Clase II. Algunos motores pueden estar aprobados para ambos sitios: Clase I y Clase II. Básicamente, la Clase identifica las características físicas de los materiales peligrosos presentes en el sitio donde el motor va a ser utilizado. La Clase I cubre gases, vapores o líquidos que son explosivos o que presentan riesgos como mezclas inflamables. Un ejemplo conocido de material Clase I es la gasolina, que es explosiva como vapor e inflamable como líquido. Algunas de las sustancias Clase I más comunes están listadas en la Tabla 1.

La Clase II se ocupa de polvos - específicamente, el polvo en cantidad suficiente para crear mezclas explosivas y los polvos que son eléctricamente conductores. Un ejemplo notable de polvo peligroso es la harina de trigo. Como masa compacta, la harina se quema o arde lentamente sin llamas; pero cuando está finamente distribuida en el aire, es altamente explosiva. La Clase II incluye también los polvos metálicos y no metálicos que son eléctricamente conductores, como el magnesio y el aluminio en polvo, y el carbón pulverizado. Los polvos de aluminio y magnesio pueden quemarse violentamente aun si no están en el aire; pero al estar suspendidos en el aire, son explosivos. Algunas sustancias comunes de la Clase II están listadas en la Tabla 2.

Los sitios Clase III normalmente no requieren motores para sitios peligrosos. El especificar un motor para sitios peligrosos para los sitios Clase III es un error común. La sección 503-6 del Código Eléctrico Nacional (NEC) permite utilizar motores totalmente cerrados enfriados por ventilador, o no ventilados, en los sitios Clase III. Un motor totalmente cerrado puede comprarse a menor precio que un motor aprobado para sitios peligrosos. La Sección 503-6 del NEC permite también usar motores abiertos a prueba de goteo en sitios Clase III, si los inspectores aprueban el respectivo programa de cuidado y mantenimiento. Los sitios Clase III son aquellos donde pueden encontrarse fibras y otras sustancias volantes fácilmente inflamables. Estas sustancias se encuentran habitualmente en las industrias textil, de la madera y del plástico. Los materiales Clase III no están normalmente suspendidos en el aire porque son algo pesados y se asientan con rapidez. Son, sin embargo, muy inflamables y por lo tanto crean condiciones potencialmente peligrosas al estar cerca de los equipos eléctricos. La Tabla 3 presenta una lista de sustancias comunes de la Clase III.

### Significado de las Designaciones de "Grupo" -

Dentro de las Clases I y II, se asignan designaciones de Grupo a las diversas sustancias combustibles en base a su comportamiento luego de encenderse. Las designaciones de los Grupos A hasta G están ordenadas en forma descendente de acuerdo al rigor de los requisitos de diseño del motor; los requisitos para el Grupo A exigen los pasos de llamas más largos y los ajustes más apretados. Los Grupos A hasta D corresponden a la Clase I y los Grupos E, F y G corresponden a la Clase II. Los materiales de la Clase III no están clasificados por grupo. La gasolina y el acetileno ofrecen una ilustración del concepto de grupo. Ambas son sustancias Clase I. El acetileno está designado como sustancia Grupo A, y la gasolina corresponde al Grupo D. La temperatura mínima de encendido (MIT) de la gasolina automotriz es de 280° C (536° F), ligeramente inferior al MIT de 305° C (581° F) del acetileno. Pero como la explosión del acetileno es más intensa que la de la gasolina, el acetileno está agrupado muy por encima de la gasolina.

A veces se considera por error que la Clase I trasciende a la Clase II y que un motor de Clase I satisface automáticamente los requisitos de la Clase II. Pero los motores Clase I están diseñados principalmente para confinar los efectos de una explosión interna. El diseño se basa en el supuesto de que, durante un período de tiempo, el proceso normal de calentamiento y enfriamiento hará que el motor aspire la atmósfera circundante, y la atmósfera interior del motor eventualmente será igual a la del ambiente operativo. Una futura falla interna podrá, por lo tanto, causar una explosión dentro del motor. Un motor Clase II, sin embargo, está diseñado para mantener la temperatura superficial del motor a un nivel tal que los materiales Clase II en el ambiente operativo del motor no se calentarán hasta alcanzar su MIT. Si el ambiente operativo contiene sustancias Clase I y Clase II, se deberá especificar un motor de clasificación doble Clase I/Clase II. Otro error común es pensar que, como existen las diversas Clases y Grupos, deberían haber productos (motores u otros equipos) apropiados para operar en cada uno de los respectivos ambientes.

En realidad, las Clases y Grupos se aplican a todo tipo de equipos, incluyendo gabinetes, artefactos de iluminación, elementos de calentamiento, dispositivos para el operador, etc. Pero el hecho de que exista una definición no implica que los equipos correspondientes a la misma se encuentran disponibles. En el caso de los motores, esto es particularmente cierto para la Clase I, Grupos A y B. Al parecer, el mercado de los motores a utilizar en estos ambientes es tan limitado y los diseños son tan difíciles, que la mayoría de los fabricantes no los producen.

TABLA 1, SUSTANCIAS Y ATMÓSFERAS CLASE 1

Sustancia o Atmósfera	Temperatura Mínima de Encendido
<b>Grupo A</b>	
acetileno	305° C (581° F)
<b>Grupo B</b>	
butadieno	420° C (788° F)
óxido de etileno	570° C (1058° F)
hidrógeno	500° C (932° F)
<b>Grupo C</b>	
acetaldehído	175° C (347° F)
ciclopropano	498° C (928° F)
éter dietílico	180° C (356° F)
etileno	450° C (842° F)
isopreno	395° C (743° F)
hidrazina dimetilica asimétrica (UDMH 1, 1-hidrazina dimetilica)	249° C (480° F)
<b>Grupo D</b>	
acetona	465° C (869° F)
acrilonitrilo	481° C (898° F)
amoníaco	651° C (1204° F)
benceno	498° C (928° F)
butano	287° C (550° F)
1-butanol (alcohol butílico)	343° C (650° F)
2-butanol (alcohol butílico secundario)	405° C (761° F)
acetato n-butílico	425° C (797° F)
acetato isobutílico	421° C (790° F)
etano	472° C (882° F)
etanol (alcohol etílico)	363° C (685° F)
acetato etílico	426° C (800° F)
bicloruro de etileno	413° C (775° F)
gasolina	280° C (536° F)
heptano	204° C (399° F)
hexano	225° C (437° F)
metano (gas natural)	537° C (999° F)
metanol (alcohol metílico)	464° C (867° F)
3-metilo-1-butanol (alcohol isoamílico)	350° C (662° F)
cetona metil etilica	404° C (759° F)
cetona metil isobutílica	448° C (840° F)
2-metilo-1-propanol (alcohol isobutílico)	415° C (780° F)
2-metilo-2-propanol (alcohol butílico terciario)	478° C (892° F)
octano	206° C (403° F)
nafta de petróleo	288° C (550° F)
1-pentanol (alcohol amílico)	300° C (572° F)
propano	450° C (842° F)
1-propanol (alcohol propílico)	412° C (775° F)
2-propanol (alcohol isopropílico)	399° C (750° F)
propileno	455° C (851° F)
estireno	490° C (914° F)
acetato vinílico	402° C (756° F)
cloruro vinílico	472° C (882° F)
p-xileno	528° C (984° F)

Los motores que se fabrican más comúnmente para sitios peligrosos corresponden a la Clase I Grupo D y a la Clase II Grupos F y G. Algunos fabricantes pueden suministrar motores para los Grupos C y E, pero normalmente los construyen bajo pedido especial.

**TABLA II - SUSTANCIAS CLASE II**

Grupo	Definiciones Generales	Ejemplos
E	Polvos metálicos	Polvos de aluminio, magnesio, sus aleaciones comerciales y otros metales de características peligrosas similares
F	Polvos no metálicos eléctricamente conductores	Polvo de carbón Carbón pulverizado Coque pulverizado Carbón de leña pulverizado Negro de carbón y otras sustancias similares
G	Polvos eléctricamente no conductores	Polvo de granos Polvo de productos cereales Azúcar pulverizado Almidón pulverizado Papa desecada en polvo Cacao pulverizado Especias pulverizadas Huevo desecado y leche en polvo Harina de madera Harina oleaginosa de frijoles y semillas Heno seco y otras sustancias que producen polvos combustibles al secarlas o manipularlas, y otras sustancias similares

**TABLA III - SUSTANCIAS CLASE III (SIN GRUPOS ASIGNADOS)**

**Fibras o Sustancias Volantes Inflamables**

Rayón	Algodón
Aserrín	Sisal
Henequén	Pita
Yute	Cáñamo
Estopa	Fibra de cacao
Malacuenda	Capoc en fardos
Musgo español	Viruta de madera Excelsior

(y otros materiales de naturaleza similar)

**TABLA IV - CÓDIGOS T Y SUS TEMPERATURAS RELACIONADAS**

Número T	Máximas temperaturas superficiales del motor	
	°C	°F
T1	450	842
T2	300	572
T2A	280	536
T2B	260	500
T2C	230	446
T2D	215	419
T3	200	392
T3A	180	356
T3B	165	329
T3C	160	320
T4	135	275
T4A	120	248
T5	100	212
T6	85	185

**Significado de “División”** - Los sitios peligrosos están también clasificados como División 1 y División 2. Sus distinciones están definidas en detalle en el Artículo 500 del NEC. En términos sencillos, los sitios de la División 1 son aquellos donde es probable que hayan sustancias inflamables presentes en forma continua o intermitente durante las operaciones normales. En los sitios de la División 2, los materiales inflamables son manejados o almacenados de tal manera que las sustancias combustibles puedan escapar en caso de derrame, accidente o falla de un equipo.

Para una lista completa de los materiales Clase I, consultar la publicación NFPA 325 - “Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids” (Guía sobre las Propiedades de Riesgo de Incendio de Sólidos Volátiles, Gases y Líquidos Inflamables).

Las distinciones de las Divisiones se refieren principalmente a los procedimientos de instalación requeridos por el NEC. Los motores Clase I y Clase II para sitios peligrosos no tienen designaciones de División en la etiqueta de UL. Todos los motores Clase I y Clase II están diseñados para cumplir con los requisitos de la División 1, y son por lo tanto adecuados para instalación en sitios de ambas Divisiones: 1 y 2.

**Códigos T de los Motores para Sitios Peligrosos**

- Todos los motores fabricados después de Febrero de 1975 llevan una designación de código T (Tabla 4). El código T identifica la máxima temperatura absoluta que se desarrollará en la superficie del motor bajo todas las condiciones de operación, incluyendo la sobrecarga, hasta e incluyendo la quemadura del motor. La designación del código T deberá correlacionarse con la Temperatura Mínima de Encendido (MIT) de las sustancias existentes en el ambiente operativo del motor.

La presencia de acetona o gasolina, por ejemplo, afectará la selección del motor. Tanto la acetona como la gasolina son materiales Clase I, Grupo D. La acetona tiene un MIT de 465° C (869° F). La Tabla IV indica que un motor con clasificación T1 (máxima temperatura superficial de 450° C) sería aceptable para operar en un ambiente con acetona.

La gasolina, sin embargo, tiene un MIT de 280° C (536° F). Para operar en un ambiente que contenga gasolina, deberá especificarse un motor con clasificación no inferior a T2A, diseñado para desarrollar una temperatura superficial que no exceda los 280° C (Tabla 4). Si bien los códigos T y las temperaturas de encendido se asignan prudentemente y se basan en procedimientos de prueba tipo “caso más desfavorable”, se recomienda aplicar un margen extra de seguridad especificando un motor con clasificación T de T2B o más alta, diseñado para desarrollar una máxima temperatura superficial de 260° C (500° F).

Para cumplir con algunos de los requisitos de menor temperatura del Código T, es preciso usar dispositivos de protección automática contra sobrecarga térmica (en motores de potencia fraccionaria) o termostatos normalmente cerrados (NC) para el devanado en motores más grandes (de potencia integral).

Los termostatos para el devanado son dispositivos de control con capacidad relativamente baja de corriente. Deben ser conectados al arrancador magnético del motor para hacer que interrumpa la alimentación al motor cuando la temperatura interna se hace demasiado alta. Si no se hace la conexión de "circuito de control" necesaria, quedará anulada la clasificación de Código T que indica la placa de fábrica del motor.

En los motores diseñados para uso en División 1, los termostatos del devanado van montados dentro del paso de llamas de la carcasa. En los motores para División 2, ese tipo de construcción no se utiliza, por lo tanto los termostatos y otros accesorios deberán ser intrínsecamente seguros tal como se indica en IEEE 303 "Recommended Practice for Auxiliary Devices for Rotating Electrical Machines in Class I, Division 2 and Zone 2 locations" (Procedimiento Recomendado para Dispositivos Auxiliares en Máquinas Eléctricas Giratorias en Sitios Clase I, División 2 y Zona 2).

Uso con Fuente de Alimentación Inversora - Contrariamente a los motores estándar, que pueden usarse directamente con Controles de Velocidad Ajustable, los motores que se utilizan en los sitios División 1 y 2 requieren certificación especial y marcas que indiquen su adecuabilidad para la clase y grupo específicos, el rango de velocidad y si son de par constante o variable. La mayoría de los fabricantes ofrece una familia específica de motores a prueba de explosión para inversor, adecuados para los sitios División 1 ó 2. Los motores estándar adecuados para uso en la División 2 pueden indicar su capacidad de velocidad en la placa de fábrica. Deberán utilizarse dispositivos auxiliares intrínsecamente seguros.

Fuentes Adicionales de Información - Además del NEC, hay otras tres publicaciones de la National Fire Protection Association (NFPA)\* (Asociación Nacional de Protección contra Incendios) que son útiles para seleccionar el motor apropiado. La publicación 325 de NFPA, mencionada previamente, cubre las propiedades de los sólidos volátiles, gases y líquidos peligrosos, y ofrece una lista más completa de sustancias peligrosas que la presentada en la Tabla I. NFPA 497 - "Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas" (Procedimiento Recomendado para la Clasificación de Vapores, Gases o Líquidos Inflamables y de Sitios (Clasificados) Peligrosos para Instalaciones Eléctricas en Áreas de Procesamiento Químico) ayuda a clasificar instalaciones y áreas. NFPA 499 - "Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas" (Procedimiento Recomendado para la Clasificación de Polvos Combustibles y de Sitios (Clasificados) Peligrosos para Instalaciones Eléctricas en Áreas de Procesamiento Químico) cubre las sustancias Clase II. Cada una de estas publicaciones proporciona los valores MIT para las sustancias cubiertas en las mismas.

Por otra parte, el representante de servicio de campo de la compañía aseguradora de la planta puede ofrecer asesoramiento si existe incertidumbre sobre el tipo de motor que se requiere para una aplicación específica en sitios peligrosos.

\* Las publicaciones de NFPA pueden obtenerse en la National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, MA 02269-9101, U.S.A.



## MOTORES A PRUEBA DE EXPLOSIÓN EN ÁREAS DE LA DIVISIÓN 2

Hemos podido comprobar que uno de los aspectos más confusos sobre los requisitos para “a prueba de explosión” corresponde a la aplicación de motores en áreas de la División 2.

Para poner las cosas en perspectiva: la División 1 involucra áreas donde hay presencia de gases, vapores, líquidos o polvos peligrosos buena parte del tiempo o incluso todo el tiempo, bajo circunstancias normales. Las áreas de la División 2 son aquellas donde los materiales peligrosos sólo aparecen si se produce un derramamiento, un accidente, pérdida de ventilación o alguna otra condición inusitada. Ambas divisiones se tratan en el Artículo 500 del Código Eléctrico Nacional (NEC).

Una vez que un área ha sido identificada ya sea como de División 1 o División 2, el Código Eléctrico Nacional requiere el uso de determinados tipos de motores en esos ambientes. Las áreas de la División 1 requieren siempre motores para sitios peligrosos (a prueba de explosión) aprobados para la clase y el grupo que corresponden a la sustancia peligrosa específica que se encuentra en el área. Por lo tanto, los requisitos para la División 1 exigen utilizar equipos a prueba de explosión. Por lo contrario, si un área ha sido clasificada como División 2, el Código Eléctrico Nacional permite con frecuencia usar motores totalmente cerrados (o incluso abiertos a prueba de goteo) en tanto se cumpla con ciertas condiciones. Básicamente, dichas condiciones implican la ausencia de superficies calientes o de piezas chisporroteantes en el motor. Por ejemplo, las piezas que chisporrotean pueden ser las escobillas (como las usadas en motores de CC), los dispositivos de conmutación (como los conmutadores centrífugos utilizados en muchos motores monofásicos), los termostatos o los elementos de sobrecarga térmica que se encuentran normalmente en motores con protección térmica, o los calentadores que podrían tener altas temperaturas superficiales.

Esencialmente, el código indica que es muy improbable que, en su operación normal, los motores de inducción trifásicos que carecen de superficies con alta temperatura o de piezas que chisporrotean vayan a encender el ambiente circundante. Por lo tanto, se los puede utilizar en áreas de la División 2 ya que la posibilidad de que ocurra una falla del motor (que provoque chisporroteo) al mismo tiempo que se produzca un derramamiento o accidente, es sumamente remota.

Una forma de evitar conflictos de interpretación sobre lo que se necesita, es “irse por lo seguro” y usar motores para sitios peligrosos tanto para la División 1 como para la División 2. Esta opción es segura pero cara, y se hace más costosa cuanto más grandes sean los motores a utilizar.

Una segunda opción es usar motores trifásicos TEFC (totalmente cerrados enfriados por ventilador) o incluso motores ODP (abiertos a prueba de goteo) que cumplan con los requisitos de la División 2 sobre ausencia de piezas chisporroteantes y superficies calientes.

Es siempre aconsejable que los fabricantes de maquinarias o los contratistas que deseen usar dichos motores menos costosos para cumplir con los requisitos de la División 2, informen al respecto a sus clientes con anticipación. Tal vez la mejor manera de hacerlo sea mediante una notificación por escrito como la siguiente:

“Como sus especificaciones indican Clase     \* Grupo     \*, División 2, es nuestra intención suministrar motores de inducción trifásicos totalmente cerrados enfriados por ventilador que cumplan con el Párrafo   (1)   del Código Eléctrico Nacional. Si usted no está de acuerdo, tenga a bien notificarnos sobre el particular lo antes posible.”

Utilizando una nota de este tipo para poner de manifiesto lo que se intenta hacer, es mucho menos probable que se produzcan futuras disputas sobre interpretación.

Si necesita aclarar algunos aspectos de estos requisitos, puede consultar en la respectiva sección del Código Eléctrico Nacional según la clase, el grupo y la división que corresponda.

\* Llenar con las referencias pertinentes.

(1) Referencias del párrafo:

Para la Clase I ----- 501-8(b)

Para la Clase II ----- 502-8(b)

Cuando se utilizan motores en zonas de la División 2 con fuente de alimentación inversora, ver los comentarios al respecto en la página 97 de esta publicación.

## PARA ENTENDER LAS UNIDADES DE ACCIONAMIENTO DE CC

Los motores de CC existen desde hace casi 100 años. En efecto, los primeros motores eléctricos fueron diseñados y construidos para operar con alimentación de corriente continua.

Por cierto, los motores de CA son y seguirán siendo los motores primarios básicos para las necesidades de velocidad fija en la industria. Dada su simplicidad, confiabilidad y solidez, los motores de CA son la elección natural para la gran mayoría de las aplicaciones de accionamiento industrial.

Entonces, ¿cuál es el rol que podrían cumplir en el futuro las unidades de CC en el área del accionamiento industrial?

Para responder a ello, es preciso considerar algunas de las características básicas que ofrecen los motores de CC y sus respectivos controles de estado sólido.

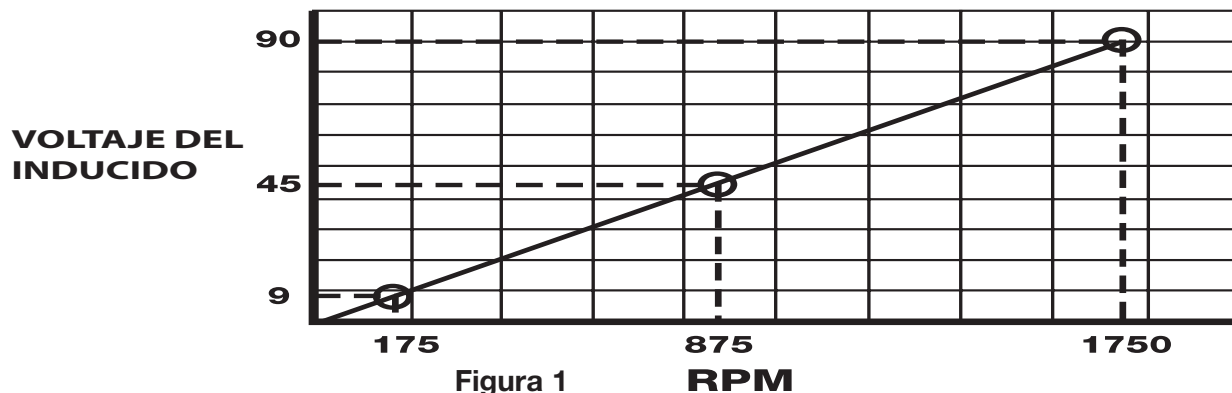
1. Amplio rango de velocidad.
2. Buena regulación de velocidad.
3. Tamaño compacto y peso liviano (en relación a la velocidad mecánica variable).
4. Facilidad de control.
5. Bajo mantenimiento.
6. Bajo costo.

Para comprender cómo las unidades de accionamiento de CC pueden proporcionar estas características, debemos analizarlas en función de los dos elementos que componen el equipo. Estos dos elementos son, por supuesto, el motor y el control. (El “control” puede denominarse más precisamente “regulador”).

### MOTORES DE CC

Los motores básicos de CC que se usan en casi todas las unidades de accionamiento integradas tienen una característica de desempeño muy simple - el eje gira a una velocidad casi directamente proporcional al voltaje aplicado al inducido. La Figura 1 muestra una curva típica de voltaje/velocidad para un motor regulado por un control de 115 voltios.

En la curva de arriba podemos ver que, aplicando 9 voltios al inducido, este motor va a operar en el Punto 1, girando a unos 175 RPM. De manera similar, si se aplican 45 voltios el motor va a operar en el Punto 2 de la curva, o sea a 875 RPM. Si se aplican 90 voltios, el motor alcanzará su plena velocidad de 1750 RPM en el Punto 3.

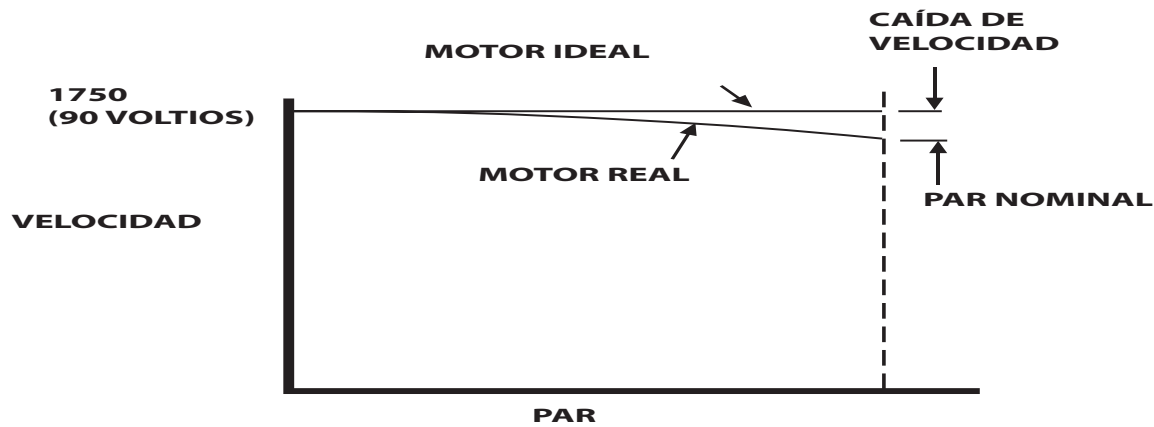


A partir de este ejemplo, se puede afirmar de modo general que los motores de CC tienen características “sin carga” que corresponden casi exactamente a lo indicado en la curva de la Figura 1.

Sin embargo, al operar con un voltaje aplicado fijo pero con una carga de par (torque) que aumenta gradualmente, estos motores exhiben una caída de velocidad, como indica la Figura 2.

Esta caída de velocidad es muy similar a lo que ocurriría si el pedal del acelerador de un automóvil fuera mantenido en posición fija mientras el vehículo marcha en terreno llano. Al subir una pendiente donde se requiere un mayor par motor, la velocidad del auto va a disminuir en función de la inclinación de la colina. En una situación real, el conductor responderá apretando el pedal del acelerador para compensar la pérdida de velocidad y mantener una velocidad casi constante mientras se sube la pendiente.

En la unidad de accionamiento de CC, el control utiliza un tipo similar de “compensación” para ayudar a mantener una velocidad casi constante bajo condiciones de carga (par) variable.



**Figura 2**

La medida de esta tendencia a desacelerar se denomina Regulación, y se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\% \text{ de Regulación} = \frac{(\text{Velocidad sin carga} - \text{Velocidad a plena carga})}{\text{Velocidad sin carga}} \times 100$$

En las unidades de CC, la regulación se expresa generalmente como porcentaje de la velocidad base del motor. Si el control (regulador) no tuviera la capacidad de responder a los cambios de carga del motor y compensarlos, la regulación de un motor típico sería así:

HP	% DE REGULACIÓN DEL MOTOR	HP	% DE REGULACIÓN DEL MOTOR
1/4	13.6	1.5	8.0
1/3	12.9	2	7.2
1/2	13.3	3	4.2
3/4	10.8	5	2.9
1	6.7	7.5	2.3

Es preciso observar otra característica muy importante de los motores de CC. El amperaje del inducido es casi directamente proporcional al par de salida, no importa cual sea la velocidad. Esta característica se muestra en la Figura 3. El Punto 1 indica que se requiere una pequeña cantidad fija de corriente para hacer girar el motor, aun cuando no haya par de salida. Esto se debe a la fricción de los cojinetes, a las pérdidas eléctricas en los materiales del motor y a la carga impuesta por el aire al motor (efecto del viento).

Más allá del Punto 1 y a través de los Puntos 2 y 3, la corriente aumenta en proporción directa al par requerido por la carga.

En base a lo discutido anteriormente y a la Figura 3, se puede hacer la afirmación general que en los motores de imán permanente [PM] y los motores con devanado en derivación [shunt], el par de carga determina el amperaje del inducido.

En resumen, pueden hacerse dos afirmaciones generales sobre el desempeño de los motores de CC.

1. La Velocidad del Motor está determinada principalmente por el Voltaje del Inducido Aplicado.
2. El Par del Motor es controlado por la Corriente del Inducido (en amperios).

Para entender el desempeño total de la unidad de accionamiento, es necesario comprender estos dos conceptos de los motores de CC.

### **REGULADORES (CONTROLES)**

El control realiza dos funciones básicas:

1. Rectifica la energía de CA convirtiéndola en CC para el motor de CC.
2. Controla el amperaje y el voltaje de salida de CC en respuesta a diversas señales de control y retroalimentación, regulando así el desempeño del motor, tanto en velocidad como en par.

### **FUNCIÓN RECTIFICADORA**

La función básica rectificadora del control es efectuada por una combinación de semiconductores de potencia (Rectificadores Controlados de Silicio y Diodos) que integran el conjunto del "puente de potencia".

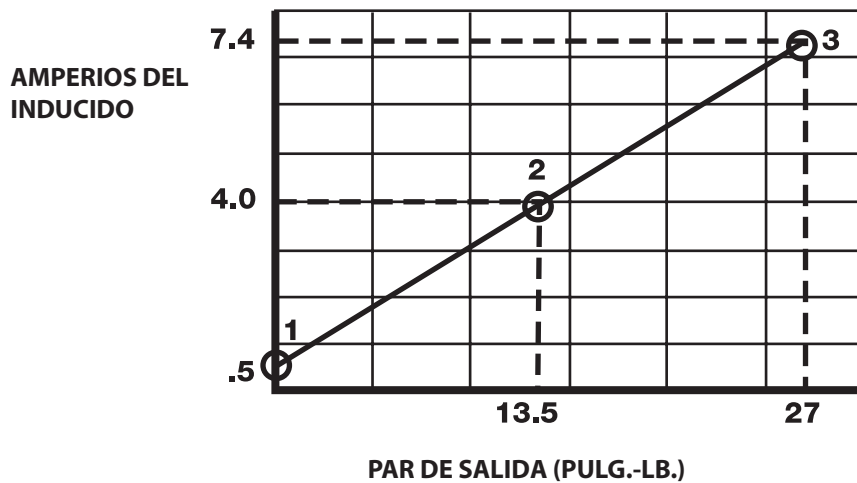


Figura 3

### FUNCION REGULADORA

La función reguladora está a cargo de un circuito electrónico relativamente sencillo que monitorea diversas entradas y suma estas señales para producir lo que se conoce como una "señal de error". Esta señal de error es procesada y transformada en impulsos precisamente temporizados (ráfagas de energía eléctrica). Estos impulsos son aplicados a las puertas de los SCRs en el puente de potencia, regulando así la energía alimentada al motor de CC.

En muchos casos no es necesario conocer los detalles electrónicos del regulador, pero para poder apreciar la función reguladora conviene entender algunas de las señales de entrada requeridas para el desempeño del regulador, que se exhiben diagramáticamente en la Figura 4.

El flujo de energía de CA a CC es un proceso directo relativamente sencillo, donde la energía es convertida de CA a CC por la acción de los dispositivos de potencia de estado sólido que componen el conjunto del puente de potencia.

Las señales de entrada y de retroalimentación deben analizarse en más detalle.

### ENTRADA DEL PUNTO DE REFERENCIA

En la mayoría de las unidades de accionamiento integradas, esta señal se deriva de una fuente de voltaje fijo muy regulado que se aplica a un potenciómetro. 10 voltios constituye una referencia muy común.

El potenciómetro tiene la capacidad de admitir el voltaje fijo y dividirlo reduciéndolo a cualquier valor, por ejemplo, desde 10 a cero voltios, dependiendo de su respectivo ajuste. Una entrada de 10 voltios al regulador desde el control de ajuste de velocidad (potenciómetro) corresponde a la máxima velocidad del motor, y cero voltios corresponde a la velocidad cero. De forma similar, se puede obtener cualquier velocidad entre cero y la máxima ajustando el control de velocidad al valor apropiado.

### INFORMACIÓN DE RETROALIMENTACIÓN DE VELOCIDAD

Para poder "cerrar el bucle" y controlar en forma precisa la velocidad del motor, es necesario proporcionar al control una señal de retroalimentación relacionada con la velocidad del motor.

El método estándar para realizar esto en un control sencillo, consiste en monitorear el voltaje del inducido y retroalimentarlo al regulador para que sea comparado con la señal de entrada del "punto de referencia" (o punto de consigna).

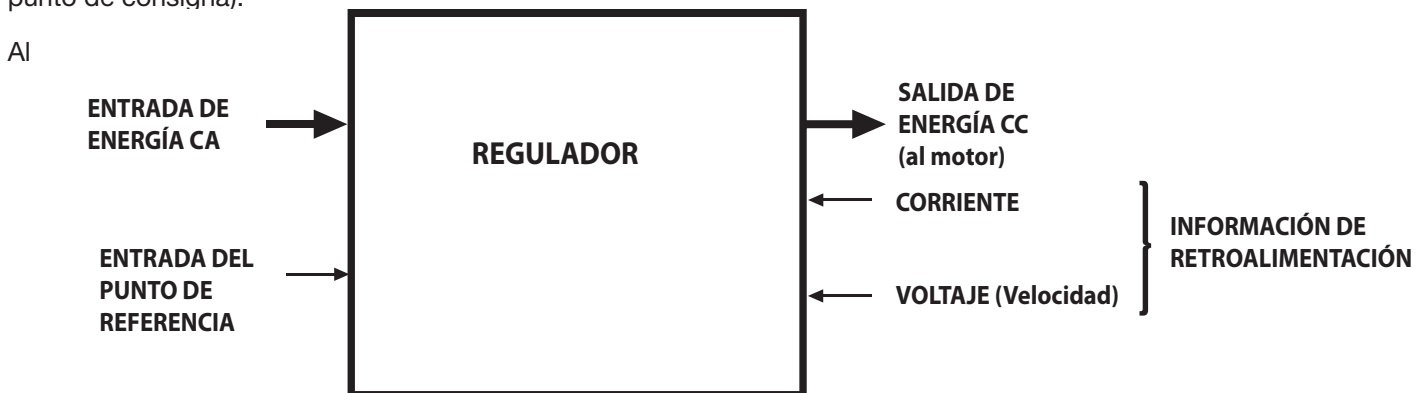
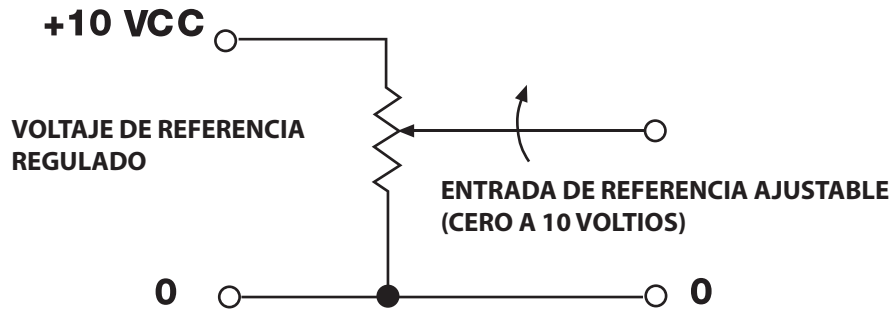


Figura 4

hacerse el voltaje del inducido alto en relación al punto de referencia definido por el ajuste del potenciómetro de velocidad, se detecta un “error” y el voltaje de salida del puente de potencia se reduce para aminorar la velocidad del motor hasta devolverla al nivel del “punto de referencia”. En forma similar, cuando cae el voltaje del inducido se detecta un error de polaridad opuesta y el voltaje de salida del control aumenta automáticamente para tratar de restablecer la velocidad deseada.

El “Sistema de Retroalimentación de Voltaje del Inducido”, que es estándar en la mayoría de las unidades de accionamiento integradas, generalmente se denomina “Unidad Regulada por Voltaje”. Otro método más preciso de obtener la información de retroalimentación de velocidad del motor, se denomina “Retroalimentación Tacométrica”. En este caso, la señal de retroalimentación de velocidad proviene de un tacómetro montado en el motor. La salida de dicho tacómetro está directamente relacionada con la velocidad del motor. El uso de la retroalimentación tacométrica le da por lo general mejores características de regulación a la unidad de accionamiento. Las unidades que utilizan retroalimentación tacométrica se conocen como “Unidades Reguladas por Velocidad”. La mayoría de los controles pueden ser modificados para admitir señales procedentes de un tacómetro y operar en el modo de retroalimentación tacométrica.



**Figura 5**

En algunas nuevas “unidades digitales” de alto rendimiento, la retroalimentación puede provenir de un codificador montado en el motor que retroalimenta impulsos de voltaje a una rapidez relacionada con la velocidad del motor. Estas (cuentas) son procesadas digitalmente y se comparan con el “punto de referencia”, generándose señales de error para regular el voltaje del inducido y la velocidad.

### **RETROALIMENTACIÓN DE CORRIENTE**

La segunda fuente de información de retroalimentación se obtiene monitoreando la corriente del inducido del motor. Como se discutiera previamente, ésta es una indicación precisa del par requerido por la carga.

La señal de retroalimentación de corriente se usa con dos fines:

1. Como retroalimentación positiva para eliminar la caída de velocidad que se produce cuando aumenta la carga de par en el motor. Ello se logra haciendo un pequeño incremento correctivo en el voltaje del inducido al aumentar la corriente del inducido.
2. Como retroalimentación negativa con un control de tipo “umbral” que limita la corriente a un determinado valor de manera de proteger a los semiconductores de potencia contra posibles daños. Haciendo a esta función ajustable, se la puede utilizar para controlar el par máximo que el motor es capaz de suministrar a la carga.

La acción limitadora de corriente de la mayoría de los controles es ajustable, y se la conoce usualmente como “Límite de Corriente” o “Límite de Par”.

En resumen, el regulador realiza dos funciones básicas:

1. Convierte la Corriente Alterna en Corriente Continua.
2. Regula el voltaje y la corriente del inducido para controlar la velocidad y el par del motor de CC.

### **AJUSTES TÍPICOS**

Además de los ajustes externos normales, como el potenciómetro de velocidad, hay diversos ajustes internos que se utilizan comúnmente en unidades pequeñas y sencillas de SCR de tipo analógico. Algunos de estos ajustes son los siguientes:

- Velocidad Mínima

- Velocidad Máxima
- Límite de Corriente (Límite de Par o Torque)
- Compensación de IR (Corriente-Resistencia)
- Tiempo de Aceleración
- Tiempo de Desaceleración

A continuación describimos las funciones que cumplen estos ajustes así como su uso típico.

### **VELOCIDAD MÍNIMA**

En la mayoría de los casos, al instalar el control se puede girar el potenciómetro de velocidad hasta su punto más bajo y el voltaje de salida del control caerá a cero, haciendo parar el motor. Hay muchas situaciones donde esto no es deseable. Por ejemplo, hay ciertas máquinas a las que conviene mantener funcionando a una velocidad mínima y acelerarlas hasta alcanzar su velocidad de operación según sea necesario. Es también posible que algún operador utilice el potenciómetro de velocidad para hacer parar el motor antes de trabajar en la máquina. Esto podría resultar peligroso, ya que el motor ha sido detenido con sólo poner a cero la señal de voltaje de entrada. Mejor sería parar el motor abriendo el circuito al motor o interrumpiendo la alimentación del control usando el conmutador de encendido/apagado. Si se ajusta la velocidad mínima a un nivel donde el motor continúa funcionando aun si el potenciómetro de velocidad está en su punto más bajo, el operador deberá apagar el control para poder parar el motor - esto le añade cierta seguridad al sistema. El típico ajuste de velocidad mínima es de 0 a 30% de la velocidad base del motor.

### **VELOCIDAD MÁXIMA**

El ajuste de velocidad máxima establece la más alta velocidad alcanzable ya sea elevando la señal de entrada a su máximo nivel o haciendo girar el potenciómetro hasta su punto máximo. En un típico motor de CC, por ejemplo, la velocidad nominal podría ser de 1750 RPM, pero el control puede ser capaz de hacerlo funcionar a 1850 ó 1900 RPM. A veces puede ser conveniente limitar la velocidad del motor (y de la máquina impulsada) a un valor algo menor que el máximo disponible - el ajuste de velocidad máxima permite hacerlo. Poniendo el potenciómetro interno en un punto más bajo, se limita el máximo voltaje de salida del control. Esto a su vez limita la máxima velocidad disponible en el motor. En controles típicos como el BC140 de Baldor, el rango de ajuste de la velocidad máxima es de 50 a 110% de la velocidad base del motor.

### **LÍMITE DE CORRIENTE**

Una excelente característica de los controles electrónicos de velocidad es que la corriente que va al motor es monitoreada constantemente por el control. Como se mencionara previamente, la corriente consumida por el inducido del motor de CC está relacionada con el par requerido por la carga. Al contar con dicha capacidad de monitoreo, el control incluye también un ajuste que permite limitar la corriente de salida a un valor máximo.

Esta función puede usarse para definir un punto de umbral que hará que el motor se detenga en vez de generar una magnitud excesiva de par. La combinación motor/control tendrá así la capacidad de evitar los daños que podrían ocurrir si se dispusiera de valores más altos de par. Esto es útil para máquinas que podrían atascarse o pararse bruscamente. Puede también utilizarse cuando el control impulsa un dispositivo tal como una bobinadora, donde el par es más importante que la velocidad. En este caso, el límite de corriente está fijado y la velocidad aumenta o disminuye de manera de mantener la tensión del material que se está bobinando. El límite de corriente es normalmente predefinido en la fábrica a un 150% de la corriente nominal del motor. Esto le permite al motor producir suficiente par para el arranque y aceleración de la carga, pero impide que la corriente (y el par) excedan un 150% de su valor nominal mientras está en funcionamiento. El rango típico de ajuste es de 0 a 200% de la corriente nominal del motor.

### **COMPENSACIÓN DE "IR"**

La compensación de IR (corriente-resistencia) es un método que se usa para el ajuste compensatorio de la caída en la velocidad de un motor debida a la resistencia del inducido. Como se mencionara anteriormente, la compensación de IR es una retroalimentación positiva que hace que el voltaje de salida del control se eleve ligeramente al incrementarse la corriente de salida. Esto ayuda a estabilizar la velocidad del motor desde la condición de ausencia de carga a la de plena carga. Si el motor se encuentra accionando una carga de par constante o casi constante, este ajuste es por lo general innecesario. Pero si el motor está accionando una carga que requiere un par ampliamente fluctuante, y si la regulación de la velocidad es crítica, la compensación de IR puede ajustarse para estabilizar la velocidad desde la condición de carga ligera a la de plena carga. Una precaución a tener en cuenta es que el ajuste de la compensación de IR a un nivel demasiado alto resultará en una característica de velocidad creciente. Esto significa que al aplicarse la carga, el motor se verá efectivamente forzado a funcionar a mayor rapidez. Al ocurrir esto, se incrementan el voltaje y la corriente que van al motor, lo que aumenta aun más su velocidad. Si este ajuste se define a un nivel demasiado alto, se producirá una condición de oscilación o "penduleo" inestable, lo que es inconveniente.

### **TIEMPO DE ACELERACIÓN**

El ajuste del Tiempo de Aceleración realiza la función que indica su nombre - prolonga o acorta el tiempo que le lleva al motor pasar de la velocidad cero hasta la velocidad que se ha definido. Asimismo, regula el tiempo

que toma cambiar velocidades desde un determinado punto de ajuste (del 50%, por ejemplo) a otro (que podría ser del 100%). Es decir que el ajuste del Tiempo de Aceleración permite moderar la tasa de aceleración de la unidad.

Debemos hacer un par de observaciones importantes. Si se ha establecido un tiempo de aceleración demasiado rápido, el “tiempo de aceleración” va a ser anulado por el límite de corriente. La aceleración se producirá sólo a la tasa permitida por la cantidad de corriente que el control haga llegar al motor. Es también importante observar que en la mayor parte de los controles pequeños, el tiempo de aceleración no es lineal. Esto significa que, por ejemplo, un cambio de 50 RPM puede producirse más rápidamente cuando el motor está operando a una velocidad baja que si estuviera cerca de la velocidad predefinida. Si bien conviene saber esto, por lo general no es un factor crítico en las aplicaciones simples donde se utilizan estas pequeñas unidades de accionamiento.

### **TIEMPO DE DESACELERACIÓN**

Este ajuste permite desacelerar las cargas durante un período más prolongado de tiempo. Por ejemplo, si se desconecta la alimentación del motor y la carga para en 3 segundos, el ajuste del Tiempo de Desaceleración permitirá aumentar dicho tiempo y “desenergizar” la carga durante un período de 4, 5, 6 o más segundos. Nota: en una unidad de CC simple convencional, este ajuste no permitirá acortar el tiempo de desaceleración por debajo del “tiempo de parada por inercia”.

### **RESUMEN DE LOS AJUSTES**

La capacidad de realizar estos seis ajustes ofrece mayor flexibilidad a las típicas unidades económicas de CC. En la mayoría de los casos, los ajustes predefinidos de fábrica son adecuados y no es necesario modificarlos, pero en ciertas aplicaciones puede ser conveniente adaptar las características del control a la utilización específica.

Muchos de estos ajustes están disponibles también en otros tipos de controles, como las unidades de frecuencia variable.

# ATENDIENDO LOS REQUISITOS DE 50 HERTZ

## INTRODUCCIÓN

Al ir aumentando los fabricantes estadounidenses sus exportaciones de equipos a países con sistema eléctrico de 50 Hz, se presenta el problema de suministrar motores que trabajarán con 50 Hz y voltajes diferentes. Afortunadamente, existen algunas posibilidades que permiten muchas veces atender estos requisitos sin necesidad de utilizar diseños especiales.

La primera opción deberá siempre ser el uso de un motor de 50 Hz en inventario, a partir de la amplia variedad ofrecida en el catálogo actual No. 501 de Baldor. Si se cuenta con el motor básico pero es preciso hacerle algunas modificaciones, a menudo se puede recurrir al programa Mod Express para obtener exactamente lo necesario.

Para el caso que el motor de 50 Hz requerido no esté disponible en inventario, o que no se lo pueda modificar de manera de cumplir con las especificaciones, existen algunas otras alternativas.

Para poder describir dichas alternativas, debemos primero clasificarlas en dos grupos principales: Motores Trifásicos y Motores Monofásicos.

## MOTORES TRIFÁSICOS

Si se requieren motores trifásicos, la situación puede ser bastante sencilla. Una “regla práctica” de gran utilidad es la siguiente:

Cuando la relación de Voltios a Hertz se mantiene constante, el motor puede operarse con la frecuencia reducida y el voltaje reducido.

Bajo estas condiciones, el motor proporcionará el mismo par operativo que el que proporcionaría en la frecuencia de 60 Hz. Es preciso recordar esta estipulación - el mismo par. El siguiente ejemplo puede servirnos de ilustración.

En un motor de inducción estándar de 1 HP, 3 fases, 230/460 voltios, 60 Hz, la relación es:  $460 \div 60 = 7.66$  voltios por Hz. En este caso, el voltaje correspondiente a 50 Hz será de  $50 \times 7.66 = 383$  voltios. Por lo tanto, un motor estándar de 60 Hz podría usarse a 50 Hz en voltajes de 190 ó 380. Bajo estas condiciones de voltaje y frecuencia reducidos, podemos esperar que el motor genere la misma cantidad de par que en una aplicación normal de 60 Hz. En este caso, el par sería de 3 libra-pies.

Por supuesto, la velocidad del motor será menor que la que se obtendría a 60 Hz. En general, a 50 Hz se puede esperar una velocidad de aproximadamente cinco sextos de la velocidad a 60 Hz. Por ejemplo, cuando un motor de 1725 RPM opera en un sistema de 50 Hz su velocidad alcanzaría normalmente unos 1425 RPM.

## ¿Y QUE PASARÍA CON LA POTENCIA?

Como la potencia en caballos de fuerza es el producto de la velocidad y el par, la potencia de salida a 50 Hz sería de cinco sextos, o un poco más del 80%, de la que se obtendría en un sistema de 60 Hz. Para solucionar este problema, existen dos enfoques. El primero consiste en seleccionar un motor con la siguiente capacidad mayor en HP. En el ejemplo anterior, un motor de 1-1/2 HP podría cubrir muy bien el requisito de 1 HP a 50 Hz. En la mayoría de los casos, el costo de adquirir un motor del caballaje mayor siguiente es sustancialmente menor que el costo en dinero y tiempo de ordenar un motor de fabricación especial. Este método de reducción de la capacidad nominal es sumamente adecuado y seguro, y puede utilizarse en prácticamente todas las aplicaciones que involucran motores abiertos a prueba de goteo y motores totalmente cerrados, así como motofrenos. Un motor seleccionado de esta manera puede reetiquetarse con la nueva combinación de voltaje, HP, velocidad y frecuencia.

Dados los diseños inherentemente conservadores usados en los motores Baldor y las tolerancias normales de voltaje, muchos de nuestros motores en inventario pueden utilizarse en sistemas de 200 voltios, 3 fases, 50 Hz o de 400 voltios, 3 fases, 50 Hz. Algunos pueden también usarse en sistemas de 415 voltios, 50 Hz. Estas tensiones de 200, 380, 400 y 415 voltios son las que se encuentran más frecuentemente en combinación con 50 Hz.

Un segundo enfoque permite atender muchos de los requisitos de 50 Hz sin que sea necesario reducir la capacidad nominal. Esto es un poco más complicado y puede normalmente considerarse en el caso de motores especiales o cuando existen restricciones específicas en el tamaño de la carcasa que impedirían pasar a la capacidad mayor siguiente en HP.

Este enfoque requiere hacer algunas preguntas específicas y tener un razonable conocimiento del tipo de carga que se va a impulsar. La pregunta básica es: “¿La máquina será idéntica en todos los aspectos a su contraparte de 60 Hz?”. Si la respuesta es “sí”, la segunda pregunta es: “¿Permitirá que su máquina funcione a cinco sextos de la velocidad de 60 Hz, o cambiará algunos componentes de la transmisión como engranajes, correas, poleas, etc., para aumentar la velocidad de salida hasta el nivel normal que el motor alcanzaría si estuviera operando a 60 Hz?” En este caso, si el usuario va a cambiar componentes en la máquina para mantener un desempeño como el que tendría bajo 60 Hz, se deberá utilizar el enfoque de sobredimensionamiento que discutimos previamente.

Si, por otra parte, la máquina es idéntica y el usuario va a operarla a capacidad reducida, entonces el par requerido para accionarla será normalmente igual o en algunos casos menor que el par que se requiere a 60 Hz. Si el par requerido es igual o menor, no será necesario reducir la capacidad nominal del motor ya que los requisitos de la máquina han disminuido y el motor seguirá siendo perfectamente adecuado. Asimismo, hay muchos motores Baldor que pueden operarse a la potencia (HP) nominal bajo requisitos de 50 Hz sin exceder su incremento nominal de temperatura. Por lo tanto existe una tercera opción, pero implica estudiar en detalle si un determinado motor podría utilizarse para operar bajo los requisitos específicos.

## **OTROS VOLTAJES**

Además de los tres voltajes más comunes en los sistemas de 50 Hz descritos arriba, de vez en cuando se requieren otros, por ejemplo 440 voltios, 50 Hz. Aplicando la regla práctica a los motores normalmente disponibles, se comprueba que este voltaje no puede manejarse mediante procesos normales de reducción de capacidad. En este caso será necesario bobinar un motor especial, o un motor existente deberá ser rebobinado en un taller para adaptarlo a lo que se requiere. En algunos casos es posible utilizar motores de 575 voltios, 60 Hz para manejar tensiones de 480 voltios, 50 Hz, o de hasta 500 voltios, 50 Hz. Se puede entonces aplicar el procedimiento normal de reducción de capacidad indicado anteriormente.

## **MOTORES MONOFÁSICOS**

Los motores monofásicos presentan un problema singular, ya que se requiere cumplir con dos condiciones:

1. El devanado deberá corresponder a la frecuencia y el voltaje de 50 Hz.
2. El conmutador centrífugo de arranque deberá ajustarse para operar en el momento preciso cuando el motor acelera durante su período de arranque.

La satisfacción simultánea de ambas condiciones generalmente impide utilizar motores normales de 60 Hz en sistemas monofásicos de 50 Hz. A menudo se puede rebobinar un motor existente de 60 Hz y reemplazar el conmutador centrífugo de arranque con otro que sea adecuado para operar a 50 Hz. Pero este procedimiento es bastante costoso y lleva tiempo.

Con los motores Baldor existe una segunda opción, ya que actualmente se ofrece una buena selección de motores monofásicos de 50 Hz en el rango de 1/3 a 5 HP. Estos motores están diseñados específicamente para operar en sistemas de 50 Hz ya sea a 110 voltios o 220 voltios (los de 5 HP, en 220 voltios únicamente). Se trata de motores de base rígida, ya sea abiertos a prueba de goteo o totalmente cerrados. Para los requisitos de Brida C, se ofrecen motores de Brida C sin base, de 1425 y 2850 RPM, en un rango de tamaños desde 1/3 a 2 HP. Se dispone de juegos de Brida C para convertir motores en inventario de montaje estándar a montaje tipo Brida C. Como la base está soldada, no es posible quitarla para obtener un motor sin base, pero la mayor parte de los usuarios no se opondrá a tener un motor con Brida C y base rígida, con tal de disponer del equipo básico.

## **MOTORES A PRUEBA DE EXPLOSIÓN**

Los motores a prueba de explosión presentan algunos problemas singulares. Básicamente, estos motores se ajustan a las mismas reglas que se discutieron previamente. Pero debido a las regulaciones de UL (Underwriters Laboratory), muchos de estos motores no pueden ser reetiquetados para otros voltajes o frecuencias. La razón para ésto deriva de los aspectos de seguridad de los diseños a prueba de explosión y de la necesidad de coordinar la protección contra sobrecarga térmica. Por lo tanto, los motores a prueba de explosión de 50 Hz, tanto monofásicos como trifásicos, que no se encuentren disponibles en inventario deberán ordenarse como unidades especiales.

Muchos motores trifásicos Baldor a prueba de explosión se suministran con placa de fábrica para 50/60 Hz.

## **RESUMEN**

Utilizando las técnicas descritas, es posible atender un muy alto porcentaje de los requisitos normales de voltaje para 50 Hz. Si tuviera preguntas sobre este particular, comuníquese con nosotros y trataremos de ayudarle.

## UTILIZANDO MOTORES EN AMBIENTES HÚMEDOS O MOJADOS

Cuando un motor eléctrico está instalado en un área húmeda o mojada, su vida útil es casi siempre más corta que si estuviera instalado en un lugar seco. Pero podemos ofrecer algunas sugerencias y precauciones que pueden prolongar la vida del motor en estas condiciones que no son las ideales.

### MOTORES ABIERTOS A PRUEBA DE GOTEO

En términos generales, los motores abiertos a prueba de goteo no son adecuados para ambientes húmedos. Sin embargo, en muchos casos los fabricantes de equipos utilizan motores abiertos a prueba de goteo (probablemente debido a su menor costo inicial) pese a que un motor totalmente cerrado hubiera sido una mejor selección, de vida útil más larga. Si se ha instalado un motor abierto a prueba de goteo, las siguientes recomendaciones pueden contribuir a prolongar la vida de dicho motor.

En primer lugar, el motor deberá resguardarse contra el impacto directo de la lluvia, la niebla, la nieve, etc. Al proteger un motor contra los elementos, deberá cuidarse de no restringir el flujo de aire al motor y en torno al mismo. Por lo tanto es buena idea colocar una cobertura de resguardo sobre el motor, en tanto dicha cobertura esté bien ventilada o cuente con rejillas para que el aire caliente no quede atrapado en su interior.

Asimismo, es importante tener en cuenta que los motores abiertos a prueba de goteo están contruidos para montarse con una orientación específica. Por ejemplo, muchos motores abiertos a prueba de goteo tienen rejillas tipo “persiana” en las cubiertas para desviar el agua que cae sobre el motor, evitando así que penetre en su interior. Esto funciona bien, excepto cuando el motor está montado contra una pared o con la base hacia arriba (montaje en el techo). En el caso del montaje en el techo, las rejillas pueden actuar como embudo dirigiendo la lluvia, la nieve y otros elementos hacia los devanados, lo que acorta la vida útil del motor. En estos casos, las cubiertas deberán rotarse ubicando las rejillas de modo tal que desvíen la lluvia en lugar de conducirla hacia el interior del motor.

El uso de motores abiertos a prueba de goteo al aire libre o en áreas húmedas no es lo ideal. En caso de falla, el motor debería ser reemplazado por otro más adecuado para montaje exterior o en ambientes húmedos.

### MOTORES TOTALMENTE CERRADOS ENFRIADOS POR VENTILADOR

Los motores totalmente cerrados enfriados por ventilador son más adaptables a la intemperie y a las áreas de mucha humedad y si se los utiliza con un poco de cuidado pueden funcionar muy bien allí. Las siguientes sugerencias ayudarán a prolongar la vida útil de este tipo de motores.

Los motores totalmente cerrados enfriados por ventilador tienen “agujeros de desagüe (o de drenaje)” en la parte inferior de las cubiertas. Dichos agujeros o accesorios de desagüe se colocan allí para vaciar la condensación u otras acumulaciones de humedad. A veces los motores se instalan en posiciones inusuales, por ejemplo con el eje en horizontal pero con la base montada sobre una pared vertical. En tal caso, los agujeros de desagüe están desviados en 90 grados respecto a la posición correcta y sólo pueden cumplir su función cuando el motor está lleno de agua hasta la mitad, lo que por cierto es inaceptable. Cuando un motor se usará en posición diferente a la normal, los soportes laterales deberán reubicarse de modo que los agujeros de desagüe queden en la parte más baja del motor. Esto es de especial importancia en aplicaciones como las cepilladoras de los lavaderos de autos y situaciones similares donde el agua cae continuamente sobre el motor. En estos casos es de esperar que siempre penetre algo de agua al motor. Para prolongar la vida del motor, es esencial facilitar la salida del agua. Si el motor está montado en un ángulo que impide reposicionar adecuadamente los agujeros de desagüe, el problema puede solucionarse taladrando con cuidado un pequeño orificio en el punto más bajo del motor. Será imprescindible desconectar la alimentación del motor y evitar que la broca roce y dañe los devanados o los cojinetes del motor.

Hay motores como los “Washdown Duty™” (lavable), “Dirty Duty®” (para trabajo en lugares sucios) y “Severe Duty” (para servicio severo) de Baldor que están diseñados y sellados para impedir la entrada de humedad. Pero siendo casi imposible evitar completamente la entrada de agua, es muy importante ubicar los agujeros de desagüe de manera que el agua que entra al motor, ya sea por impacto directo o por intercambio de aire saturado de humedad, pueda vaciarse libremente en vez de acumularse.

Otra causa de la entrada de agua a un motor es la condensación resultante de los ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento. Por ejemplo, al calentarse el motor, el aire en su interior se expande y empuja hacia afuera. Luego, cuando el motor se enfría, dicho aire se contrae y penetra aire fresco cargado de humedad. A medida que este ciclo se repite una y otra vez, pueden acumularse cantidades considerables de agua. Si esta situación no es debidamente atendida, va a producir la falla del aislamiento.

Por lo tanto, esto indica lo importante que es ubicar correctamente los agujeros de desagüe para que el agua pueda vaciarse antes que llegue a acumularse en cantidad suficiente para dañar el motor.

En el caso de motores que funcionan en forma continua, el calor generado en el motor por su operación normal puede mantener secos a los devanados. Pero cuando el motor se utiliza con poca frecuencia y está sujeto a grandes variaciones de temperatura, pueden emplearse dos métodos para reducir la susceptibilidad a las fallas causadas por la acumulación de humedad.

El método de uso más generalizado consiste en instalar calentadores en el motor. Se colocan calentadores de cartucho o de cinta de goma silicónica en el interior del motor y se los enciende cuando el mismo no está en funcionamiento. Esto tiene por objeto mantener la temperatura dentro del motor aproximadamente cinco a diez grados más alta que la del aire circundante, evitando así la condensación en el interior del motor y manteniéndolo seco. El método de los calentadores es similar al uso de lámparas dentro de los roperos en climas húmedos para impedir el enmohecimiento en ropas y artículos de cuero.

Cuando se utilizan calentadores internos, se los interconecta con el arrancador del motor de modo que se mantengan encendidos cuando el motor no está funcionando y que se apaguen al poner en marcha el motor. El segundo método para lograr el mismo resultado consiste en aplicar un bajo voltaje monofásico a los devanados del motor trifásico cuando el motor está en reposo. La baja energía monofásica resultante produce calor en los devanados y el rotor, e indirectamente en el eje y los cojinetes del motor. Este sistema es útil para evitar la condensación en los motores que se encuentran en reposo. Su aplicación es particularmente apropiada en grupos de motores idénticos, como los que se usan en los aireadores de lagunas de control de polución.

## **SITIOS PELIGROSOS**

Los motores para sitios peligrosos o a prueba de explosión están entre los más difíciles de proteger en ambientes húmedos y mojados. La dificultad en proteger estos motores se debe a varios factores. Primero, dados los requisitos del diseño a prueba de explosión, no pueden utilizarse empaquetaduras. Similarmente, las juntas entre las cubiertas y la carcasa y entre la caja de conexiones y la carcasa no pueden empaquetarse o sellarse. Es necesario que exista contacto metal a metal a lo largo de dichas juntas. Este contacto metal a metal produce un cierre ajustado, pero no puede hermetizar completamente. Asimismo, en los diseños a prueba de explosión no es posible usar agujeros de desagüe normales. Entonces, cuando se usan motores a prueba de explosión en ambientes húmedos, la humedad que penetra en el motor puede acumularse y permanecer allí durante tiempo prolongado. Algunos motores, como los motores a prueba de explosión Baldor para Clase 1, Grupo D con factor de servicio 1.15, utilizan dispositivos de drenaje tipo respiradero. Estos respiraderos de drenaje especiales permiten evacuar la humedad del motor y a la vez mantienen la integridad de su diseño a prueba de explosión. Tal como en el caso de los otros motores con agujeros de desagüe, debe asegurarse que los respiraderos de drenaje estén siempre ubicados en la parte más baja del motor.

Algunas de las opciones disponibles para controlar la humedad en motores a prueba de explosión son las mismas que las utilizadas en los motores totalmente cerrados. Se pueden instalar calentadores en estos motores para mantener su temperatura interna más elevada que la temperatura ambiente durante períodos de inactividad. Este es un método eficaz para controlar la acumulación de condensación.

Otra forma de proteger a los motores a prueba de explosión, especialmente si están instalados al aire libre, es resguardarlos contra la lluvia. Tal como en el caso de los demás motores, el resguardo deberá hacerse de modo de proteger al motor pero evitando restringir el flujo de aire externo al motor y alrededor del mismo.

## **RESUMEN**

La instalación de motores en ambientes al aire libre, húmedos o mojados, presenta algunos problemas singulares, pero si se selecciona bien el motor y se toman ciertas precauciones al instalarlo, estas situaciones pueden por lo general afrontarse exitosamente, lográndose un buen desempeño del motor por largo tiempo. La selección correcta de la caja y otras características del motor, la ubicación correcta de los agujeros de desagüe y en algunos casos la utilización de sistemas o dispositivos auxiliares de calentamiento para mantener el motor tibio durante sus períodos de inactividad, resultarán en una solución eficaz que prolongará la vida útil del motor. Motores como los Washdown Duty™ y Severe Duty de Baldor están específicamente diseñados para operar en condiciones difíciles, pero aun si se utilizan estos productos especiales es preciso tener en cuenta las precauciones básicas sobre la orientación adecuada de los agujeros de desagüe.



## UNITED STATES

### ARIZONA PHOENIX

4211 S 43RD PLACE  
PHOENIX, AZ 85040  
PHONE: 602-470-0407  
FAX: 602-470-0464

### ARKANSAS

**CLARKSVILLE**  
1001 COLLEGE AVENUE  
CLARKSVILLE, AR 72830  
PHONE: 479-754-9108  
FAX: 479-754-9205

### CALIFORNIA

**LOS ANGELES**  
6490 FLOTTILLA STREET  
COMMERCE, CA 90040  
PHONE: 323-724-6771  
FAX: 323-721-5859

### HAYWARD

21056 FORBES AVENUE  
HAYWARD, CA 94545  
PHONE: 510-785-9900  
FAX: 510-785-9910

### COLORADO

**DENVER**  
3855 FOREST STREET  
DENVER, CO 80207  
PHONE: 303-623-0127  
FAX: 303-595-3772

### CONNECTICUT

**WALLINGFORD**  
65 SOUTH TURNPIKE ROAD  
WALLINGFORD, CT 06492  
PHONE: 203-269-1354  
FAX: 203-269-5485

### FLORIDA

**TAMPA/PUERTO RICO/  
VIRGIN ISLANDS**  
3906 EAST 11TH AVENUE  
TAMPA, FL 33605  
PHONE: 813-248-5078  
FAX: 813-247-2984

### GEORGIA

**ATLANTA**  
62 TECHNOLOGY DRIVE  
ALPHARETTA, GA 30005  
PHONE: 770-772-7000  
FAX: 770-772-7200

### ILLINOIS

**CHICAGO**  
340 REMINGTON BLVD.  
BOLINGBROOK, IL 60440  
PHONE: 630-296-1400  
FAX: 630-226-9420

### INDIANA

**INDIANAPOLIS**  
5525 W. MINNESOTA STREET  
INDIANAPOLIS, IN 46241  
PHONE: 317-246-5100  
FAX: 317-246-5110

### IOWA

**DES MOINES**  
1800 DIXON STREET, SUITE C  
DES MOINES, IA 50316  
PHONE: 515-263-6929  
FAX: 515-263-6515

### MARYLAND

**BALTIMORE**  
6660 SANTA BARBARA RD.  
SUITES 22-24  
ELK RIDGE, MD 21075  
PHONE: 410-579-2135  
FAX: 410-579-2677

### MASSACHUSETTS

**BOSTON**  
6 PULLMAN STREET  
WORCESTER, MA 01606  
PHONE: 508-854-0708  
FAX: 508-854-0291

### MICHIGAN

**DETROIT**  
5993 PROGRESS DRIVE  
STERLING HEIGHTS, MI 48312  
PHONE: 586-978-9800  
FAX: 586-978-9969

### MINNESOTA

**MINNEAPOLIS**  
21080 134TH AVENUE NORTH  
ROGERS, MN 55374  
PHONE: 763-428-3633  
FAX: 763-428-4551

### MISSOURI

**ST LOUIS**  
422 INDUSTRIAL DRIVE  
MARYLAND HEIGHTS, MO 63043  
PHONE: 314-298-1800  
FAX: 314-298-7660

### KANSAS CITY

1501 BEDFORD AVENUE  
NORTH KANSAS CITY, MO 64116  
PHONE: 816-587-0272  
FAX: 816-587-3735

### NEW YORK

**AUBURN**  
ONE ELLIS DRIVE  
AUBURN, NY 13021  
PHONE: 315-255-3403  
FAX: 315-253-9923

### NORTH CAROLINA

**GREENSBORO**  
1220 ROTHERWOOD ROAD  
GREENSBORO, NC 27406  
PHONE: 336-272-6104  
FAX: 336-273-6628

### OHIO

**CINCINNATI**  
2929 CRESCENTVILLE ROAD  
WEST CHESTER, OH 45069  
PHONE: 613-771-2600  
FAX: 513-772-2219

### CLEVELAND

8929 FREEWAY DRIVE  
MACEDONIA, OH 44056  
PHONE: 330-468-4777  
FAX: 330-468-4778

### OKLAHOMA

**TULSA**  
7170 S. BRADEN, SUITE 140  
TULSA, OK 74136  
PHONE: 918-366-9320  
FAX: 918-366-9338

### OREGON

**PORTLAND**  
20393 SW AVERY COURT  
TUALATIN, OR 97062  
PHONE: 503-691-9010  
FAX: 503-691-9012

### PENNSYLVANIA

**PHILADELPHIA**  
1035 THOMAS BUSCH  
MEMORIAL HIGHWAY  
PENNSAUKEN, NJ 08110  
PHONE: 856-661-1442  
FAX: 856-663-6363

### PITTSBURGH

159 PROMINENCE DRIVE  
NEW KENSINGTON, PA 15068  
PHONE: 724-889-0092  
FAX: 724-889-0094

### TENNESSEE

**MEMPHIS**  
4000 WINCHESTER ROAD  
MEMPHIS, TN 38118  
PHONE: 901-365-2020  
FAX: 901-365-3914

### TEXAS

**DALLAS**  
2920 114TH STREET SUITE 100  
GRAND PRAIRIE, TX 75050  
PHONE: 214-634-7271  
FAX: 214-634-8874

### HOUSTON

10355 W. LITTLE YORK ROAD  
SUITE 300  
HOUSTON, TX 77041  
PHONE: 281-977-6500  
FAX: 281-977-6510

### UTAH

**SALT LAKE CITY**  
2230 SOUTH MAIN STREET  
SALT LAKE CITY, UT 84115  
PHONE: 801-832-0127  
FAX: 801-832-8911

### WISCONSIN

**MILWAUKEE**  
1960 SOUTH CALHOUN ROAD  
NEW BERLIN, WI 53151  
PHONE: 262-784-5940  
FAX: 262-784-1215

### INTERNATIONAL SALES

**FORT SMITH, AR**  
P.O. BOX 2400  
FORT SMITH, AR 72902  
PHONE: 479-646-4711  
FAX: 479-648-5895

### CANADA

**EDMONTON, ALBERTA**  
4053-92 STREET  
EDMONTON, ALBERTA T6E 6R8  
PHONE: 780-434-4900  
FAX: 780-438-2600

### TORONTO

**OAKVILLE, ONTARIO**  
2750 COVENTRY ROAD  
OAKVILLE, ONTARIO L6H 6R1  
PHONE: 905-829-3301  
FAX: 905-829-3302

### MONTREAL, QUEBEC

5155 J-ARMAND BOMBARDIER  
SAINT-HUBERT, QUÉBEC  
CANADA J3Z 1G4  
PHONE: 514-933-2711  
FAX: 514-933-8639

### VANCOUVER,

**BRITISH COLUMBIA**  
1538 KEBET WAY  
PORT COQUILAM,  
BRITISH COLUMBIA V3C 5M5  
PHONE 604-421-2822  
FAX: 604-421-3113

### WINNIPEG, MANITOBA

54 PRINCESS STREET  
WINNIPEG, MANITOBA R3B 1K2  
PHONE: 204-942-5205  
FAX: 204-956-4251

### AUSTRALIA

UNIT 3, 6 STANTON ROAD  
SEVEN HILLS, NSW 2147, AUSTRALIA  
PHONE: (61) (2) 9674 5455  
FAX: (61) (2) 9674 2495

### UNIT 8, 5 KELLETTS ROAD

ROWVILLE, VICTORIA, 3178 AUSTRALIA  
PHONE: (61) (3) 9753 4355  
FAX: (61) (3) 9753 4366

### EL SALVADOR

RESIDENCIAL PINARES DE SUIZA  
POL. 15 #44,  
NVA. SAN SALVADOR, EL SALVADOR  
PHONE: +503 2288-1519  
FAX: +503 2288-1518

### CHILE

LUIS THAYER OJEDA 166,  
OF 402 - PROVIDENCIA  
SANTIAGO, CHILE  
PHONE: +56 2 816 9900

### CHINA

160 SONG SHENG ROAD  
SONGJIANG INDUSTRY ZONE  
SHANGHAI 201613, CHINA  
PHONE: +86 21 5760 5335  
FAX: +86 21 5760 5336

### GERMANY

HERMANN-HEINRICH - GOSSEN 3  
50858 KÖLN, GERMANY  
PHONE: 49-2234379410  
FAX: 49-22343794164

### DIESELSTRASSE 22

D-85551 KIRCHHEIM  
MÜNICH, GERMANY  
PHONE: +49 89 90 5080  
FAX: +49 89 90 50 8492

### INDIA

1F, NO 126 WENSHAN 3RD STREET,  
NANTUN DISTRICT,  
TAICHUNG CITY 408  
TAIWAN R.O.C  
MAHARASHTRA, INDIA  
PHONE: +91 20 25 45 27 17 / 18  
FAX: +91 20 25 45 27 19

### INDONESIA

TALAVERA OFFICE PARK,  
28TH FLOOR, SUITE M18  
JL. T.B. SIMATUPANG, KAV. 22-26  
JAKARTA 12430, INDONESIA  
PHONE: +62 21 7599 9879  
FAX: +62 21 7599 9878

### ITALY

VIA SOTTOBISIO 30  
BALERNA CH-6828  
PHONE: +41 91 683 6161  
FAX: +41 91 630 2633

### JAPAN

DIA BLDG 802,  
2-21-1 TSURUYA-CHO,  
KANAGAWA-KU  
YOKOHAMA, 221-0835, JAPAN  
PHONE: 81-45-412-4506  
FAX: 81-45-412-4507

### MEXICO

**LEON, GUANAJUATO**  
KM. 2.0 BLVD. AEROPUERTO  
LEÓN 37545, GUANAJUATO, MÉXICO  
PHONE: +52 477 761 2030  
FAX: +52 477 761 2010

### MIDDLE EAST & NORTH AFRICA

VSE INTERNATIONAL CORP.  
P. O. BOX 5618  
BUFFALO GROVE, IL 60089-5618  
PHONE: 847 590 5547  
FAX: 847 590 5587

### PANAMA

AVE. RICARDO J. ALFARO  
EDIFICIO SUN TOWERS MALL  
PISO 2, LOCAL 55  
CIUDAD DE PANAMÁ, PANAMÁ  
PHONE: +507 236-5155  
FAX: +507 236-0591

### SINGAPORE

18 KAKI BUKIT ROAD 3, #03-09  
ENTREPRENEUR BUSINESS CENTRE  
SINGAPORE 415978  
PHONE: (65) 6744 2572  
FAX: (65) 6747 1708

### SWITZERLAND

POSTFACH 73  
SCHUTZENSTRASSE 59  
CH-8245 FEUERTHALEN  
SWITZERLAND  
PHONE: +41 52 647 4700  
FAX: +41 52 659 2394

### TAIWAN

1F, NO 126 WENSHAN 3RD STREET,  
NANTUN DISTRICT,  
TAICHUNG CITY 408  
TAIWAN R.O.C  
MAHARASHTRA, INDIA  
PHONE: +91 20 25 45 27 17 / 18  
FAX: +91 20 25 45 27 19

### UNITED KINGDOM

6 BRISTOL DISTRIBUTION PARK  
HAWKLEY DRIVE  
BRISTOL BS32 0BF U.K.  
PHONE: +44 1454 850000  
FAX: +44 1454 859001

### VENEZUELA

AV. ROMA, OTA EL MILAGRO, URB.  
CALIFORNIA NORTE  
CARACAS, 1070  
VENEZUELA  
PHONE/FAX: +58 212 272 7343  
MOBILE: +58 414 114 8623

# BALDOR

**BALDOR ELECTRIC COMPANY**

Casa Matriz Mundial • P.O. Box 2400 • Fort Smith, AR 72902-2400 U.S.A.

Tel. (479) 646-4711 • Fax (479) 648-5792 • Fax Internacional (479) 648-5895 • www.baldor.com