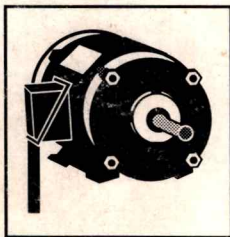


Guía de Estudio

Mantenimiento e Investigación  
de Averías en

# Motores Eléctricos



De la Serie de  
Entrenamiento en Mantenimiento Eléctrico  
de Tel-A-Train

**ENA**  
1995 EDICION  
ESPECIAL SENA



**TEL-A-TRAIN**  
A Westcott Company

621.46

M 292 m

Ej. 10

**Guía de Estudio**

**Mantenimiento e Investigación**  
**de Averías en**  
**MOTORES ELECTRICOS**

**TEL-A-TRAIN, INC.**

*A Westcott Company*

309 North Market Street, Chattanooga, TN 37405 USA

1-800-251-6018

Tel: 423-266-0113 ■ Fax: 423-267-2555



1995 EDICION ESPECIAL SENA  
© 1995 TEL-A-TRAIN, Inc.

**TEL-A-TRAIN, INC.**  
*A Westcott Company*

Derechos de Autor  
Todos Derechos Reservados

# INTRODUCCION

El curso sobre Motores Eléctricos se divide en seis video-lecciones, acompañadas por su respectivo capítulo incluido en esta guía de estudio.

La lección 1 describe la interacción magnética del rotor y del estator; define los conceptos de trabajo; la fuerza de torsión (también conocida como "momento de torsión" o "torque"); las RPM; la potencia o caballos de fuerza y la eficiencia; y explica en qué forma y por qué se sobrecalientan los motores.

La lección 2 se centra en la acción de conmutación de las escobillas y del colector (también conocido como "conmutador") en un motor de C.D. y en la producción de la fuerza contra-electromotriz. Se describen las diferentes clases de motores de C.D. (en serie, en derivación, compuestos y de imán permanente) así como las técnicas de control de los motores de C.D.

La lección 3 explica cómo la corriente alterna produce un campo magnético giratorio en los motores trifásicos de C.A. y cómo se producen las corrientes y los polos del rotor en los motores sincrónicos y de inducción. Se examinan, también, los tipos comunes de motores monofásicos, haciendo énfasis en sus circuitos de arranque.

La lección 4 explica las especificaciones y los términos que aparecen en las placas que los fabricantes colocan en los motores. Se suministra la información necesaria con el fin de asegurarse de que un motor es el indicado para una aplicación determinada y, también, se incluyen las instrucciones para instalar correctamente un motor.

La lección 5 habla del mantenimiento de los motores y más concretamente de lo relacionado con las rutinas de funcionamiento y los elementos de mantenimiento preventivo y predictivo. Incluye además los aspectos de lubricación, inspección y limpieza de un motor, el servicio del colector (conmutador) y de las escobillas, la utilización de un megóhmetro y la verificación de los cojinetes del motor.

La lección 6 sintetiza las lecciones anteriores. Su propósito es el de proveer un método sistemático de detección de fallas de motores y dar ejemplos de su utilización, para reparar motores bajo las condiciones usuales que puede encontrar la persona encargada de llevar a cabo dicho trabajo. La lección incluye información práctica sobre el significado de algunos de los síntomas que puede presentar un motor y las pruebas para determinar cuáles pueden ser las causas.

Para aprovechar al máximo este curso, conviene ver, primero, la video-lección donde se introduce y demuestra el tema. Después, se debe leer el material que, en este manual, corresponde a cada lección. Los ejemplos y la explicación adicional del manual le ayudarán a entender mejor el tema.

Los Ejercicios de Práctica de cada lección están diseñados para ayudarle a estudiar el material. Haga los ejercicios y, después, verifique sus respuestas con las que se encuentran al final de la lección.

En algunos casos conviene ver, nuevamente, la video-lección para aclarar algunos puntos que, quizás, no hayan quedado suficientemente claros en la primera proyección.

Después de que usted sienta que entiende el tema, conteste el cuestionario de Repaso Final que se encuentra al final de cada lección.

# LECCION 1

## INTRODUCCION A LOS MOTORES

### INTRODUCCION

En la introducción se describe cómo funcionan los motores de C.A. y de C.D. y cómo son construídos. Se explican las características de funcionamiento, tales como la torsión (momento de torsión), la potencia (caballos de fuerza) y la eficiencia del motor. También se estudia el funcionamiento de los motores cuando se encuentran bajo carga.

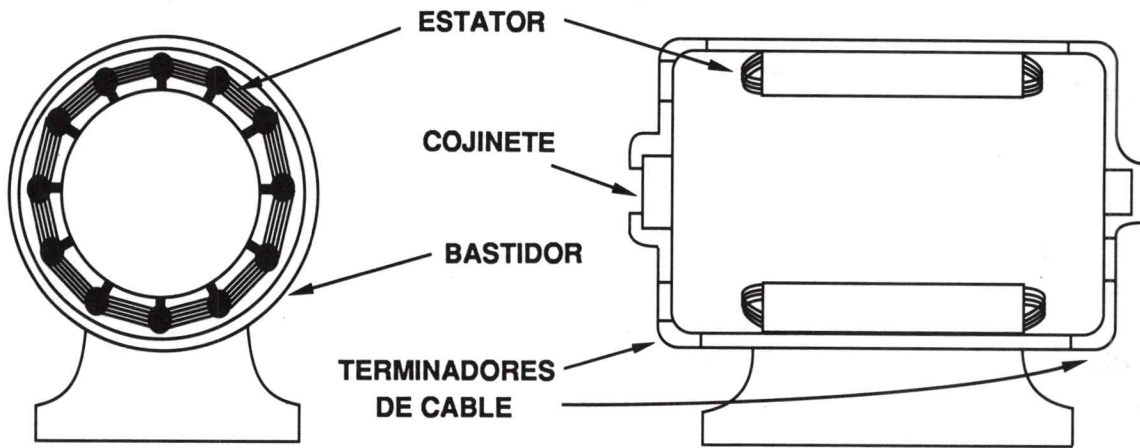
### OBJETIVOS

Al terminar esta lección, usted debe ser capaz de:

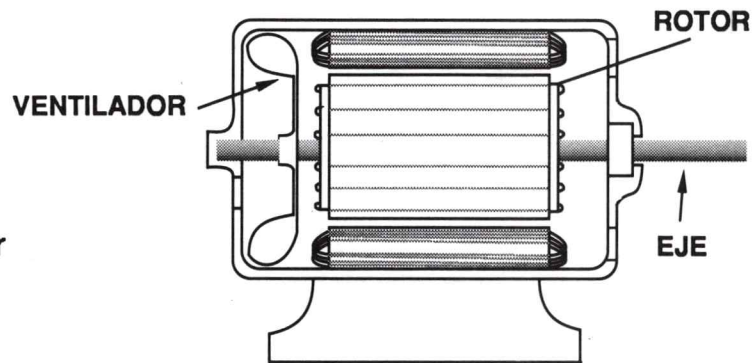
- Describir cómo funciona un motor eléctrico.
- Describir la construcción básica de un motor eléctrico.
- Definir el trabajo, la potencia, la torsión, las RPM y la eficiencia de un motor.
- Explicar cómo funciona un motor bajo condiciones de carga.
- Explicar las razones del sobrecalentamiento de un motor.

## CONSTRUCCION DE UN MOTOR

Los motores eléctricos tienen dos partes principales: el estator y el rotor. Ambos producen campos magnéticos que interactúan para producir fuerzas que hacen girar el eje del motor.

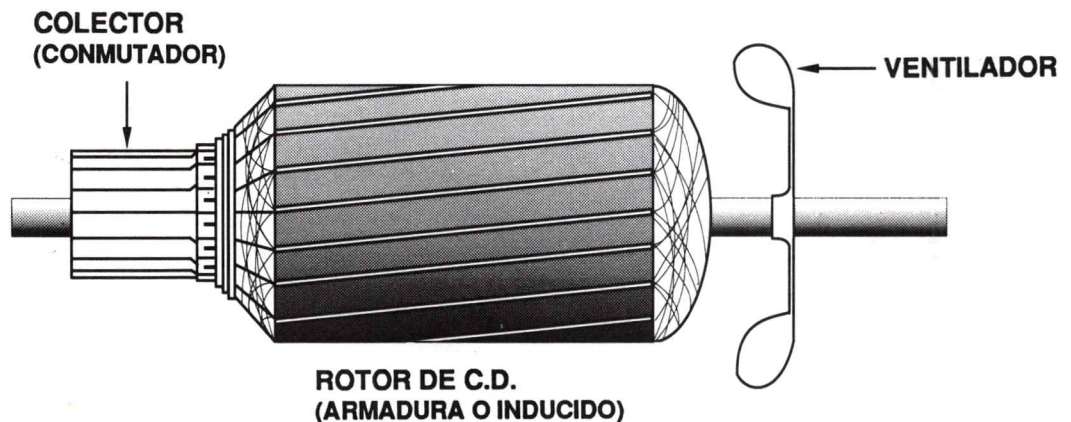


El **estator** está fijo. No gira. Otros componentes fijos incluyen el bastidor (carcasa o "frame"), dos terminadores de cable ("end bells") y los cojinetes montados en dichos terminadores de cable.



El **rotor** está montado en el eje del motor y gira con él. Otras partes giratorias pueden incluir un colector (conmutador) o un juego de anillos rozantes o de fricción en el eje. Muchos motores también tienen un ventilador.

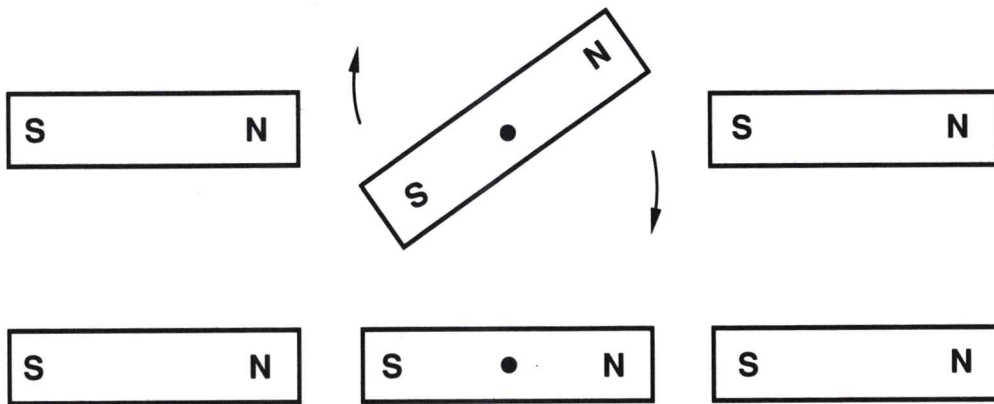
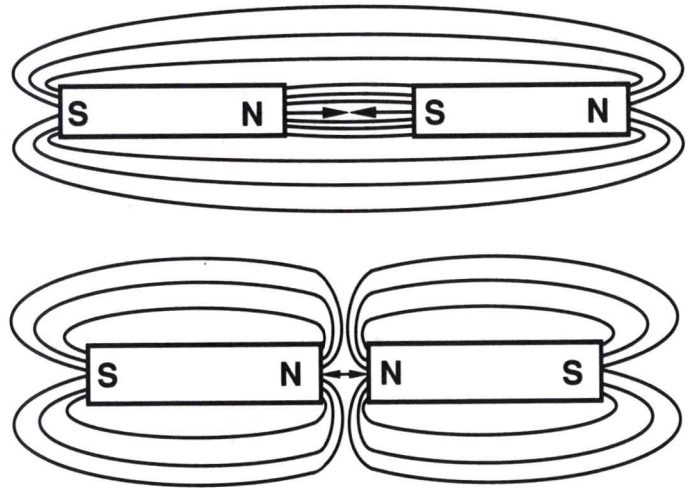
MOTOR DE C.A.



ROTOR DE C.D.  
(ARMADURA O INDUCIDO)

## FUERZAS Y CAMPOS MAGNETICOS EN UN MOTOR

Un campo magnético puede visualizarse como líneas de fuerza o flujo. Las líneas forman circuitos continuos que van de un polo magnético al otro. Cuando dos imanes se acercan, las líneas de fuerza interactúan de tal modo que los polos magnéticos iguales (norte-norte y sur-sur) se repelen y los polos contrarios (norte-sur) se atraen.



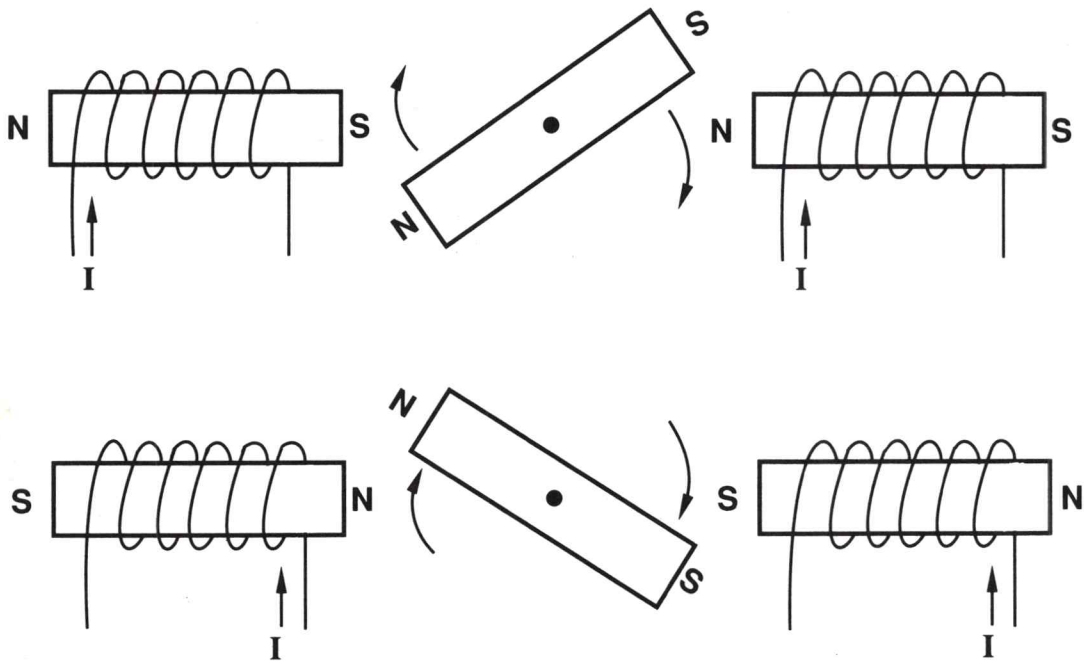
Las propiedades de repulsión y atracción de los imanes se pueden utilizar para hacer girar un eje. Si se coloca un imán de rotor pivotado entre dos imanes de estator fijos,

- la atracción entre los polos iguales y la repulsión de los polos contrarios producirá
- una fuerza giratoria que va a hacer girar el imán pivotado hasta que éste
- se alinee con los imanes fijos.

Sin embargo, la barra del imán pivotado girará sólo hasta que se alineen los polos contrarios de los imanes.

## ELECTROMAGNETOS

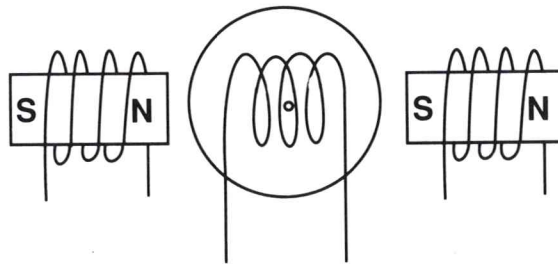
Para que la rotación sea continua, los polos de los imanes fijos y giratorios deben invertirse en el momento exacto en que se alineen. Esto hace que los polos contrarios, que se han estado atrayendo, se conviertan en polos iguales que se repelen.



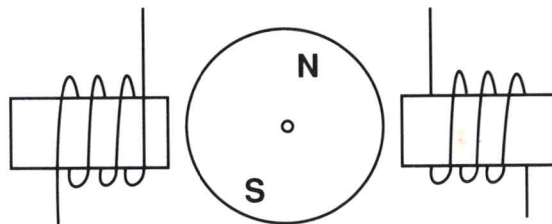
La inversión de polos es posible en el caso de los electromagnetos. Un electromagneto es una bobina de alambre que lleva corriente. La corriente produce un campo magnético semejante al campo alrededor de un imán permanente. En general, la bobina se enrolla en un núcleo de acero porque el acero transporta las líneas de flujo mucho mejor que el aire y permite que se establezca un campo más potente con una corriente determinada.

Si se cambia la dirección del flujo de la corriente, cambia la polaridad del imán; el polo norte se vuelve sur y el sur, norte. La clave para mantener girando el rotor de un motor eléctrico consiste en invertir la corriente, ya sea en los electromagnetos del rotor o en los electromagnetos del estator, en el instante preciso.

En un motor de C.D., la corriente se invierte en las bobinas enrolladas en el rotor; en un motor de C.A., esto se conoce, generalmente, como armadura o inducido. El estator, comúnmente denominado "campo" en un motor de C.D., también tiene bobinas de alambre, pero la corriente en ellas no cambia. En algunos motores de C.D., los polos del campo son imanes permanentes, aún cuando la mayoría utilizan electromagnetos.



En la mayoría de los motores de C.A., las líneas de energía solamente se conectan a los devanados del estator. Los polos del estator se invierten automáticamente cuando la corriente se alterna. Algunos motores de C.A. utilizan un rotor de imán permanente, pero la mayoría de los rotores de C.A. tienen devanados o una sola jaula conductora de barras conectadas con anillos terminales.



Las lecciones 2 y 3 hablan con mayor detalle de la construcción y del funcionamiento de los diferentes tipos de motores de C.A. y C.D.

### **EJERCICIO DE PRACTICA I**

Para mantener un motor en funcionamiento, debe invertirse periódicamente la corriente, ya sea en el estator o en el rotor. ¿Qué pasaría si la corriente se invirtiera tanto en el rotor, como en el estator, al mismo tiempo? El motor:

- a) marcharía en reversa.
- b) se convertiría en un generador.
- c) marcharía normalmente.
- d) giraría sólo media vuelta y se detendría.

## SALIDA DEL MOTOR ELECTRICO

### Potencia (Caballos de Fuerza)

La potencia ("horsepower" o "HP") es una medida que indica la velocidad con que se está realizando un trabajo. El trabajo es igual a la fuerza multiplicada por la distancia. En otras palabras, el trabajo que toma realizar una labor determinada se mide en términos de la fuerza ejercida para mover algo y la distancia desplazada.

Supongamos que la tarea consiste en levantar un peso de 300 libras desde el piso hasta un muelle de carga a 5 pies de altura. El trabajo que se requiere es de 300 libras por 5 pies o sea 1,500 libras-piés.

No es necesario que la fuerza levante un peso para realizar un trabajo. El empujar algo para hacerlo rodar o deslizarse a través del suelo también es trabajo. Cualquier acción de una máquina que recibe la fuerza en alguna forma (como tensión, presión, empuje, tracción o torsión) y logra mover algo con esa fuerza está realizando un trabajo.

Un motor potente girará más rápido y/o ejercerá mayor fuerza que un motor pequeño. Como consecuencia, puede hacer más trabajo en un tiempo determinado. Así, si un motor realiza un trabajo en diez minutos, un motor dos veces más potente hará el mismo trabajo en 5 minutos.

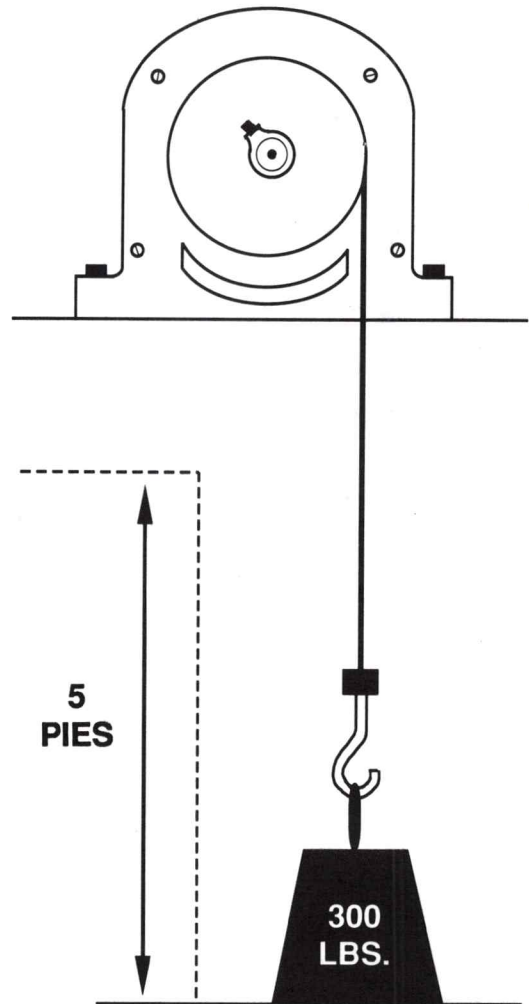
Un caballo de fuerza se define como 33,000 libras-piés de trabajo en un minuto. En un segundo, un caballo de fuerza realizará:

$$\frac{33,000 \text{ libras-piés}}{60 \text{ segundos}} = 550 \text{ libras-piés de trabajo en un segundo.}$$

Por ejemplo, para levantar en un segundo el peso de 300 libras hasta los 5 pies del muelle de carga, se requerirían 1,500 libras-piés de trabajo por segundo. Un motor de 1 HP solamente puede producir 550 libras-piés de trabajo en un segundo, de modo que se necesitaría un motor de:

$$\frac{1,500 \text{ libras-piés}}{550 \text{ libras-piés}} = 2.7 \text{ HP para realizar el trabajo a esta velocidad.}$$

Para levantar el peso con un motor de 1 HP se necesitarían 2.7 segundos.



## Velocidad y Torsión

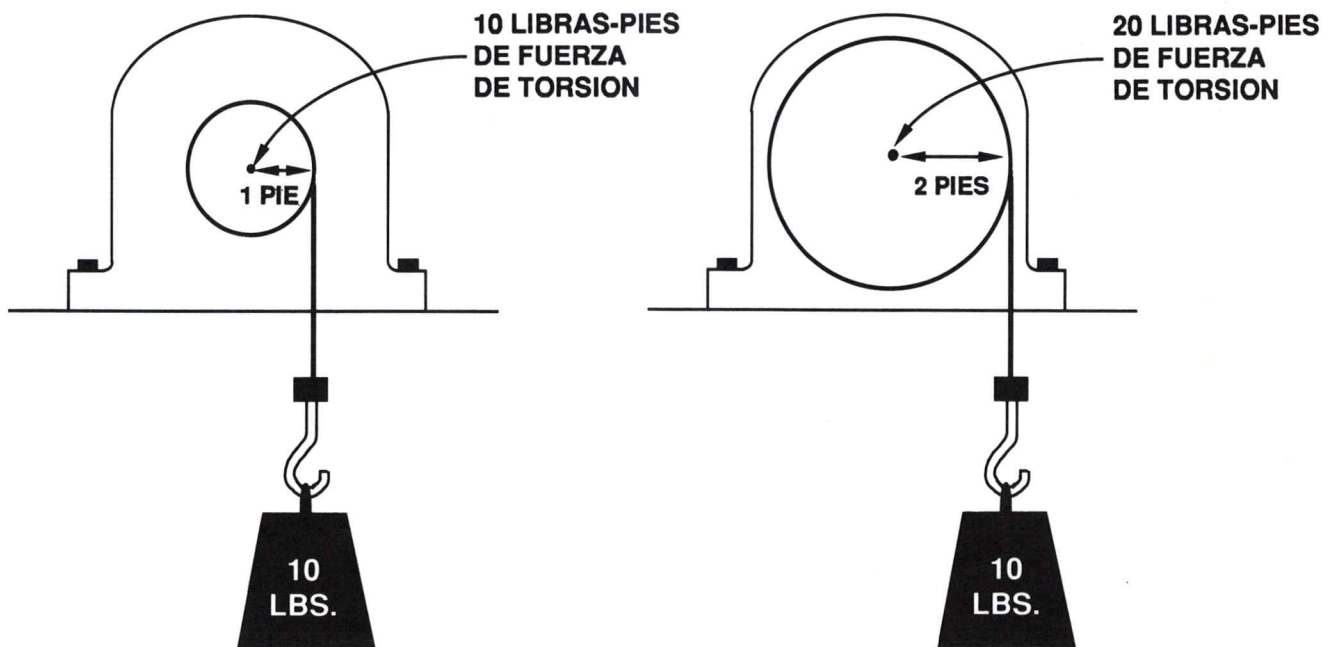
La potencia (HP) producida por un motor depende de: 1) cuán rápido gira su eje y 2) cuánta fuerza puede ejercer para realizar el trabajo.

- 1) La velocidad del eje se mide en revoluciones por minuto o **RPM**. La mayoría de los motores eléctricos utilizados en la industria funcionan a una velocidad que fluctúa entre 500 RPM y 3,600 RPM.

Muchos motores eléctricos se conectan a un equipo que se mueve en línea recta, tal como una banda o correa transportadora o el gancho de un winche (torno de levantar pesos). La rapidez del movimiento del equipo depende de la velocidad del eje y de la circunferencia de la polea del transportador o del tambor del winche. La circunferencia es igual al diámetro multiplicado por 3.1416. Entre más grande es la polea o el tambor, más rápido se mueve el equipo.

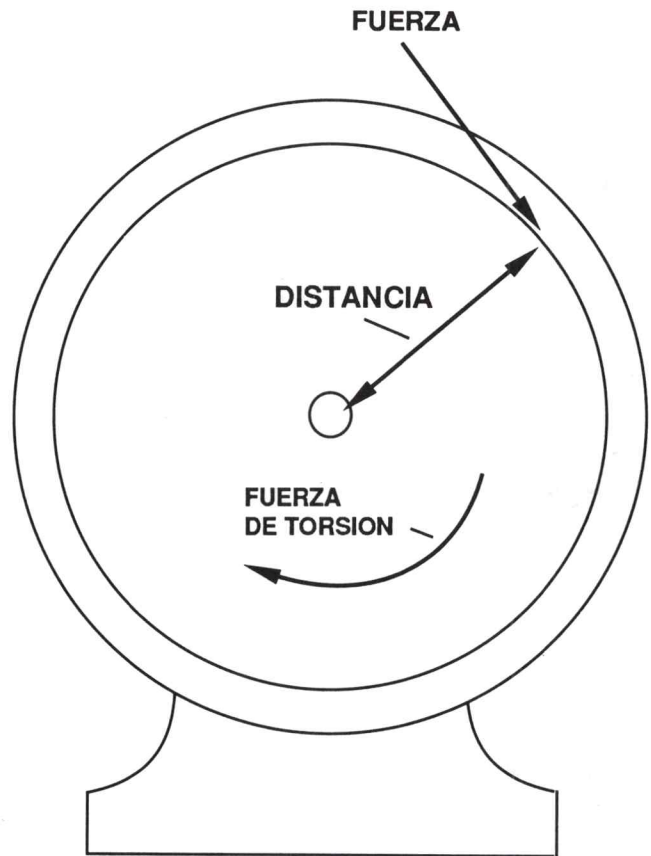
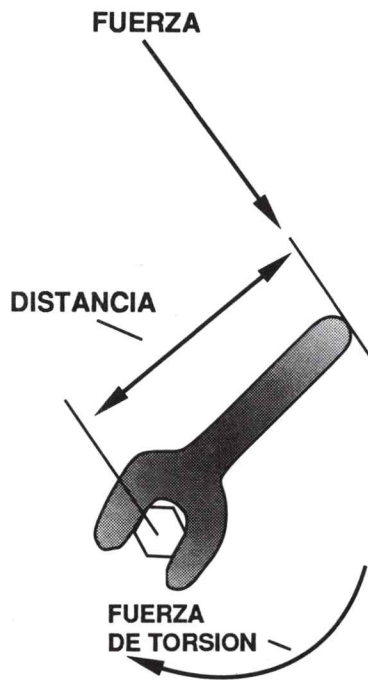
- 2) La fuerza producida por un motor depende de la **fuerza o momento de torsión** que ejerce su eje. La fuerza de torsión es la fuerza de giro producida por la atracción magnética y la repulsión en el interior del motor.

La fuerza de torsión se estima con base en dos medidas: libras para medir la fuerza en línea recta y pies para medir la distancia entre el centro del eje y el punto en donde se mide esa fuerza. Un motor que está produciendo una fuerza determinada a través de una distancia corta, necesitará ejercer una fuerza de torsión mayor para producir la misma fuerza a través de una distancia mayor. En otras palabras, mientras más grande es la polea o el tambor, mayor será la torsión que un motor tendrá que producir para mover una carga.



Un motor que está levantando un peso de 10 libras, a través de una distancia de un pie desde el eje, está ejerciendo una fuerza o momento de torsión de 10 libras-piés. Si el tamaño de la polea o tambor se duplica, de tal modo que la distancia desde el eje hasta el borde es de 2 pies, el motor tiene que ejercer 20 libras-piés de momento o fuerza de torsión para levantar las mismas 10 libras de peso.

En general, los motores grandes producen mayor fuerza de torsión que los motores pequeños porque hay una distancia mayor entre el eje y los polos magnéticos de atracción y repulsión. El principio es el mismo que se aplica al utilizar una manija larga en una llave inglesa para aplicar una mayor fuerza de torsión a una tuerca.



Los motores más grandes también tienen mayor espacio para bobinas de alambre más largas. Estas bobinas pueden transportar más corriente y producir campos magnéticos más fuertes que producen un mayor momento o fuerza de torsión.

## **EJERCICIO DE PRACTICA II**

1. ¿Cuánta fuerza de torsión sería necesaria para romper el hilo de 20 libras de una caña de pescar si el carrete tuviera 2 pulgadas de diámetro? Expresé la respuesta en las unidades convenientes. \_\_\_\_\_
2. Si el carrete tuviera una manija o manivela de transmisión directa de 4 pulgadas de largo, ¿Cuántas libras de fuerza se tendrían que ejercer en aquélla para romper el hilo de 20 libras? \_\_\_\_\_

## FUERZA O MOMENTO DE TORSION, VELOCIDAD Y POTENCIA (CABALLOS DE FUERZA): UN EJERCICIO DE MUESTRA

*Problema:* Un motor que gira a 1,750 RPM ejerce una fuerza de torsión de 3 libras-piés. ¿Cuántos caballos de fuerza está produciendo?

*Solución:* Considere una polea con un diámetro adecuado de, digamos, unos 2 pies y calcule, primero, qué tan rápido se mueve la carga y, después, la fuerza que se le aplica.

- a) La distancia alrededor de una polea de 2 pies es de  $3.1416 \times 2 = 6.283$  pies. Cada revolución del eje moverá la carga a través de esa distancia. Por ejemplo, 1,750 revoluciones por minuto moverán la carga:

$$6.283 \times 1,750 \text{ RPM} = 10,995.25 \text{ pies por minuto.}$$

- b) La fuerza ejercida en la carga es la fuerza de torsión de 3 libras-piés divididas entre la distancia entre el eje y el borde de la polea. Con una polea de 2 pies, esa distancia es igual a 1 pie. De tal modo que el motor está ejerciendo una fuerza de  $3/1 = 3$  libras en la carga.

La fuerza aplicada multiplicada por la distancia recorrida en un minuto es igual al trabajo realizado en un minuto.

- c)  $3 \text{ libras} \times 10,995.25 \text{ pies por minuto} = 32,986 \text{ libras-piés por minuto.}$

Debido a que un caballo de fuerza es igual a 33,000 libras-piés por minuto, el motor está produciendo casi 1 caballo de fuerza.

NOTA: El cálculo daría el mismo resultado sin importar el diámetro de la polea utilizado. Con una polea más larga la velocidad sería mayor, pero la fuerza aplicada sería menor en el mismo porcentaje.

Una fórmula más sencilla que combina los cálculos anteriores es:

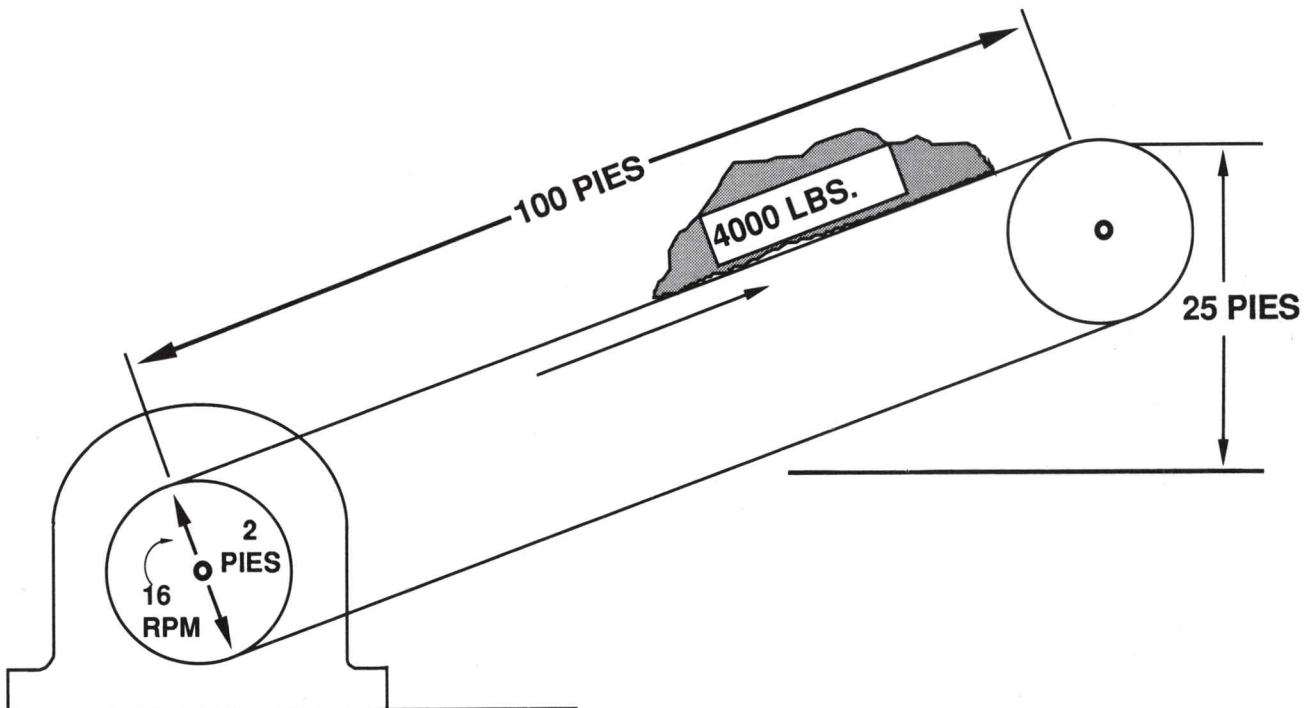
$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{RPM} \times \text{Torsión}}{5,252}$$

$$\text{El factor de conversión, } 5,252, \text{ es igual a } \frac{33,000}{(2 \times 3.1416)}$$

### EJERCICIO PRACTICO III

Una banda transportadora inclinada de 100 pies de largo levanta 2 toneladas (4,000 libras) de roca a razón de 25 pies por minuto. La correa o banda transportadora es accionada por un motor a través de la caja de cambios (engranajes) de reducción de velocidad. El eje de salida de la caja de cambios gira a 16 RPM y la polea de transmisión tiene un diámetro de 2 pies. Suponga que la banda no tiene fricción y que, como consecuencia, no requiere de fuerza alguna para mover la roca, a condición de que la banda se encuentre en posición horizontal.

- ¿Cuánto tiempo le tomaría a una roca colocada en un extremo de la banda transportadora para llegar al otro extremo? \_\_\_\_\_
- Sin considerar las pérdidas de la caja de cambios, ¿Cuántos caballos de fuerza tendrá que estar produciendo el motor? \_\_\_\_\_



## **CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR**

Cuando se aplica un voltaje constante a un motor, hay variaciones en la fuerza de torsión que se ejerce en la velocidad del eje, en los caballos de fuerza que produce y en la energía eléctrica y la corriente que obtiene de las líneas, que dependerán de la carga que transporta.

### **1. Carga, Momento o Fuerza de Torsión y Velocidad**

Si un motor está funcionando a una velocidad constante, estará produciendo tanta fuerza de torsión como lo requiere la carga para girar a esa velocidad. La fuerza de torsión de la carga y la fuerza de torsión del motor han alcanzado el equilibrio y son iguales y opuestas.

Existen algunas excepciones pero, en general, la fuerza de torsión aumenta a medida que el motor disminuye la velocidad. Si la carga en un motor aumenta, su velocidad disminuirá hasta producir la suficiente fuerza de torsión para manejar la carga más grande. Si la carga en un motor disminuye, el motor aumentará su velocidad.

Algunos motores tienen que disminuir mucho su velocidad para proveer la fuerza de torsión adicional necesaria cuando aumenta la carga. Se dice que tienen una regulación de velocidad deficiente. Esto no es necesariamente una desventaja. Por ejemplo, una broca o taladro deberá disminuir su velocidad cuando el material que se está taladrando es duro o la presión es alta.

Otros motores, aquéllos que sí poseen una buena regulación de velocidad, mantienen una velocidad casi constante a medida que la carga cambia. Esto es de desear en muchas aplicaciones industriales.

### **2. Corriente y Torsión**

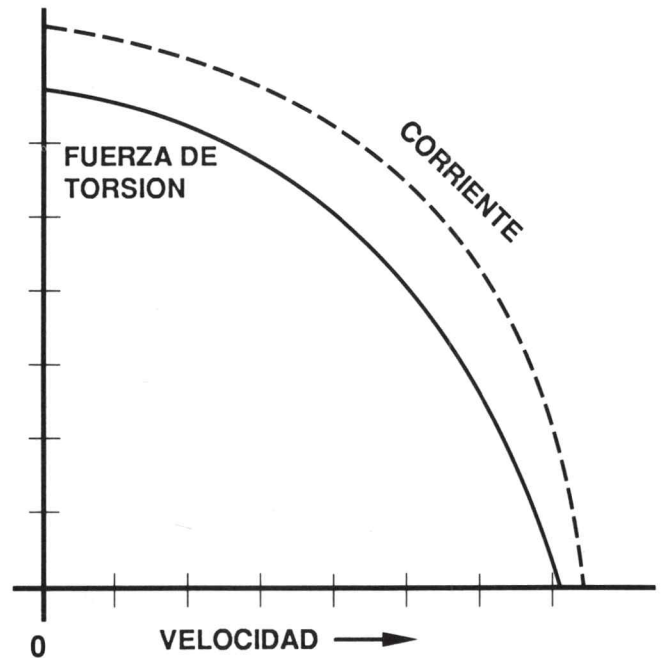
La fuerza de torsión que ejerce un motor y la corriente que consume están íntimamente relacionadas. La corriente produce la atracción magnética y las fuerzas de repulsión que generan el momento de torsión en el interior del motor. Por lo tanto, cuando aumenta la carga en un motor, éste requiere de más corriente para producir una fuerza de torsión adicional.

Cuando no hay carga en un motor, no se ejerce fuerza de torsión alguna en el eje. Sin embargo, se sigue requiriendo alguna corriente para producir la suficiente fuerza de torsión interna, con el fin de superar la fricción de los cojinetes y la resistencia al viento de su rotor giratorio y del ventilador.

La relación entre la velocidad, la corriente y la fuerza de torsión, en el caso de cualquier motor que funcione a un voltaje fijo, puede ser graficada.

Los diversos tipos de motores tienen diferentes curvas pero, a cualquier velocidad particular, todo motor demandará una determinada corriente y ejercerá una cierta fuerza de torsión. A una velocidad menor, generalmente demandará más corriente y ejercerá más fuerza de torsión. A una velocidad superior, demandará menos corriente y ejercerá menos fuerza de torsión.

Un motor con el tipo de curva que se muestra aquí, demanda una corriente máxima y ejerce una fuerza de torsión máxima cuando el rotor no está girando. Esta es la situación en el arranque, cuando se enciende el motor por primera vez o en el momento de parada o ahogamiento, cuando la fuerza de torsión necesaria para hacer girar la carga es superior a la que puede producir el motor.

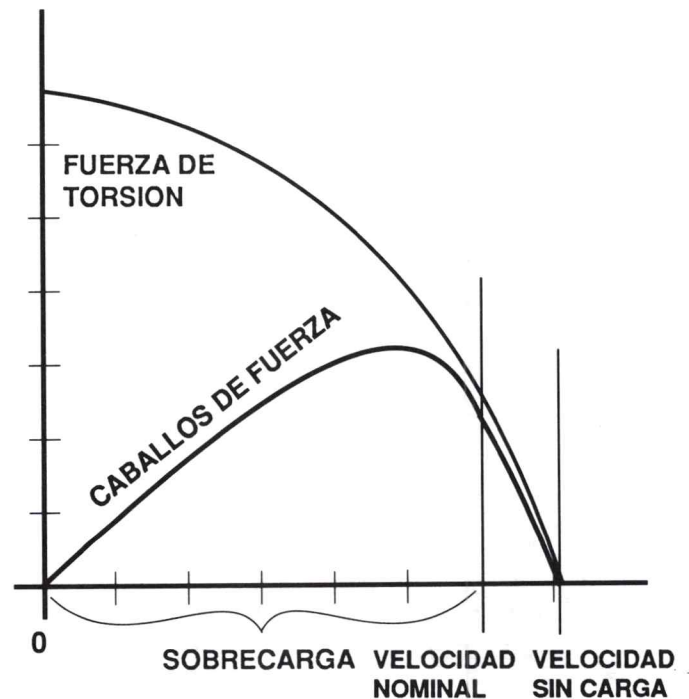


### 3. Fuerza o Momento de Torsión, Velocidad y Potencia (caballos de fuerza)

La potencia (caballos de fuerza) depende de la fuerza o momento de torsión y de la velocidad. A cualquier velocidad, un motor producirá una cierta potencia (HP).

Cuando no hay carga, el eje del motor no está ejerciendo fuerza de torsión y la salida de potencia es igual a 0 (cero). En el arranque o en la parada, aún cuando el motor ejerza fuerza de torsión, el eje no estará girando, de modo que la producción de caballos de fuerza también es igual a cero. En ningún caso se está realizando trabajo alguno.

Entre la velocidad cero y la velocidad sin carga, la potencia (HP) llega a un máximo, el cual es un tanto superior a la potencia nominal del motor. Por consiguiente, un motor producirá más de su potencia nominal bajo condiciones de sobrecarga.



## IMPEDANCIA DE ENTRADA DEL MOTOR

La impedancia de un motor incluye su resistencia y cualquier otro tipo de oposición a la corriente. Si la impedancia es baja, un voltaje determinado provocará un flujo de corriente alta.

Para encontrar la impedancia, (Z), divida el voltaje medido, (V), entre la corriente medida, (I).

$$Z = V/I$$

Esta relación es una de las formas de la ley de Ohm,  $V = I \times R$ . La impedancia, (Z), ocupa el lugar de la Resistencia (R).

La impedancia de un motor depende de su velocidad.

Cuando se para o atasca un motor de C.D. o antes de que comience a funcionar, su impedancia es simplemente igual a la resistencia de sus devanados y escobillas. La impedancia de un motor de C.A. atascado, en relación con la corriente alterna, incluye la resistencia y la reactancia inductiva de los devanados. En ambos casos, la impedancia es baja -- generalmente no más de unos pocos ohms; por esta razón, un motor consume una corriente alta cuando se para o atasca o en el momento en que arranca.

A medida que la velocidad aumenta, la inducción electromagnética hace que aumente la impedancia del motor. El voltaje es inducido en cualquier conductor que se mueve en relación con un campo magnético. Entre más rápido es su movimiento, más alto será su voltaje. En un motor giratorio, los conductores y los campos se mueven respecto a cada uno y los voltajes son inducidos o generados en oposición al voltaje aplicado. Esto hace crecer la impedancia total. La lección 2 explica con mayor profundidad cómo ocurre esto en los motores de C.D.

## VATIOS

Un motor realiza trabajo al transformar la energía eléctrica de entrada en energía mecánica de salida. La energía eléctrica se mide en vatios (w).

$$\text{VATIOS} = \text{VOLTAJE} \times \text{CORRIENTE} \text{ (x factor de potencia)}$$

Los vatios de energía de C.D. son iguales a la corriente multiplicada por el voltaje. Los vatios de energía de C.A. son iguales a la corriente multiplicada por el voltaje, multiplicada, a su vez, por el factor de potencia\* del motor, cuando está generando energía para una carga específica.

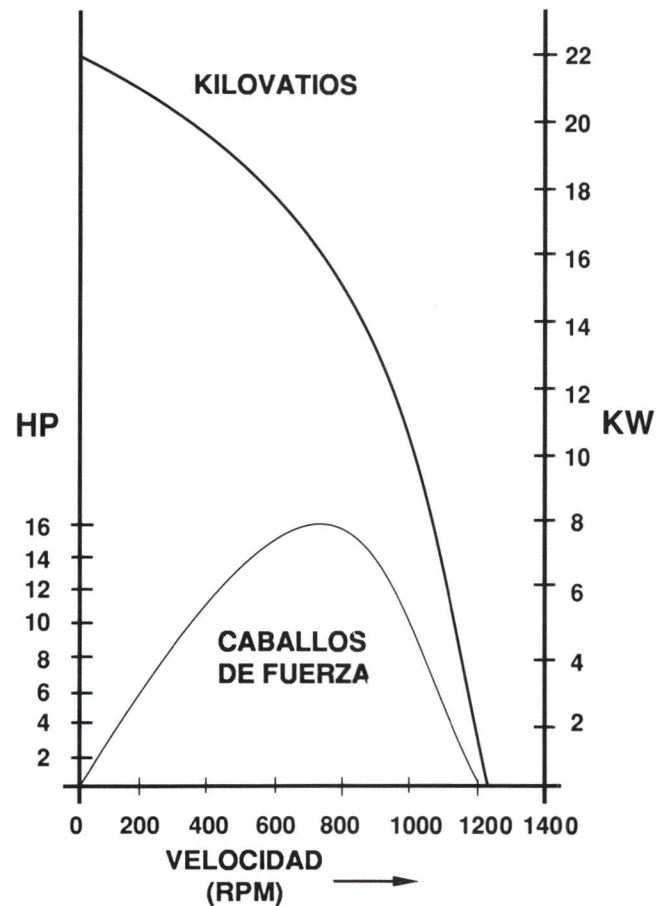
Debido a que, por lo general, el voltaje es constante, la cantidad de vatios que consume un motor depende, en gran parte, de la corriente que demanda y, por lo tanto, de la fuerza de torsión que ejerce. Por lo tanto, en el caso de muchos motores, la curva de vatios se asemeja bastante a la curva de la fuerza de torsión.

## EJERCICIO DE PRACTICA IV

Utilizando la gráfica determine:

- Cuántos caballos de fuerza (potencia) producirá el motor a 1,000 RPM.
- Cuántos vatios consume a 1,000 RPM.
- Velocidad sin carga en RPM.
- La potencia (HP) máxima y la velocidad a la que esto ocurre.
- El vatiage máximo y la velocidad a la que ocurre.

\* El factor de potencia de un motor mide la cantidad de corriente alterna que, en un motor, está en fase con el voltaje en el motor. Si la corriente y el voltaje se encuentran exactamente en fase, el factor de potencia es igual a 1 y los vatios de energía que llegan al motor son iguales al voltaje multiplicado por la corriente. Si la corriente no está en fase con el voltaje, el factor de potencia es inferior a 1 y los vatios de energía que llegan al motor son menores que el voltaje multiplicado por la corriente.



## EFICIENCIA DEL MOTOR

La eficiencia de un motor es la relación que existe entre la cantidad de potencia mecánica que produce y la energía eléctrica que consume. Se expresa en forma de porcentaje de la potencia de entrada.

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{\text{POTENCIA DE SALIDA}}{\text{POTENCIA DE ENTRADA}} \times 100$$

La potencia de salida generalmente se mide en caballos de fuerza. La potencia de entrada se mide en vatios. Para determinar la eficiencia de un motor, tanto la potencia de salida como la potencia de entrada, tienen que convertirse a las mismas unidades.

$$1 \text{ CABALLO DE FUERZA} = 746 \text{ VATIOS}$$

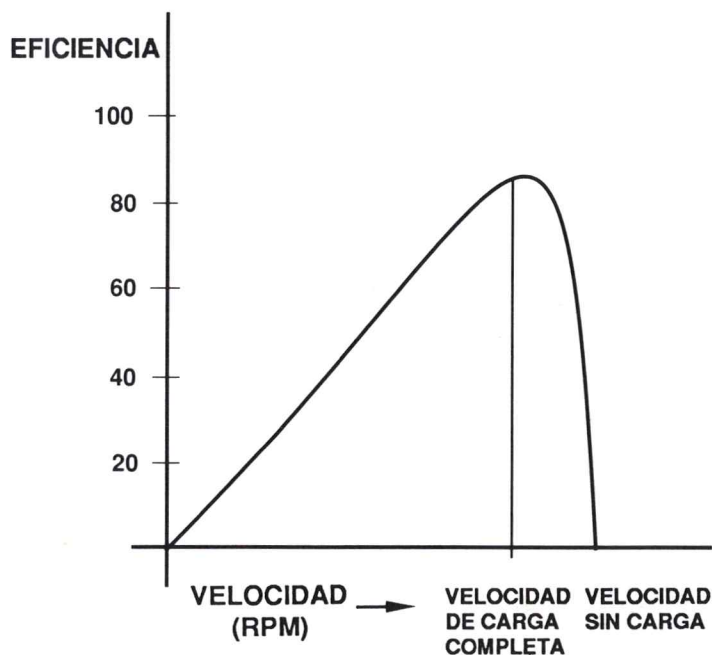
Para convertir los caballos de fuerza en vatios, multiplique por 746. Para convertir vatios en caballos de fuerza, divida entre 746.

Un motor totalmente eficiente convertirá 746 vatios de energía eléctrica en 1 caballo de fuerza de potencia mecánica.

Un motor nunca convierte todos los vatios que consume en caballos de fuerza. Ningún motor es 100% eficiente. Siempre consume algo más de 746 vatios para producir un caballo de fuerza. Entre más vatios consuma para producir un caballo de fuerza, menos eficiente será el motor.

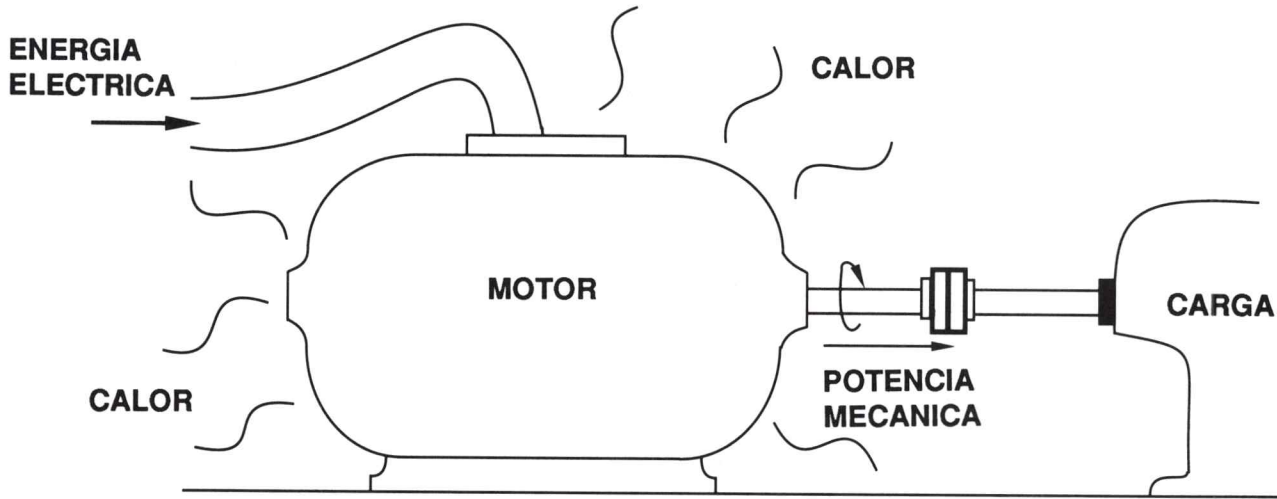
La eficiencia de un motor depende de las condiciones de funcionamiento. Los motores generalmente funcionan con mayor eficiencia entre tres cuartos y la máxima potencia (caballos de fuerza) nominal posible. La eficiencia disminuye tanto con una carga más pesada como con una carga más liviana.

En el arranque y cuando funciona sin carga, un motor tiene una eficiencia igual a 0 porque no está produciendo caballo de fuerza alguno.



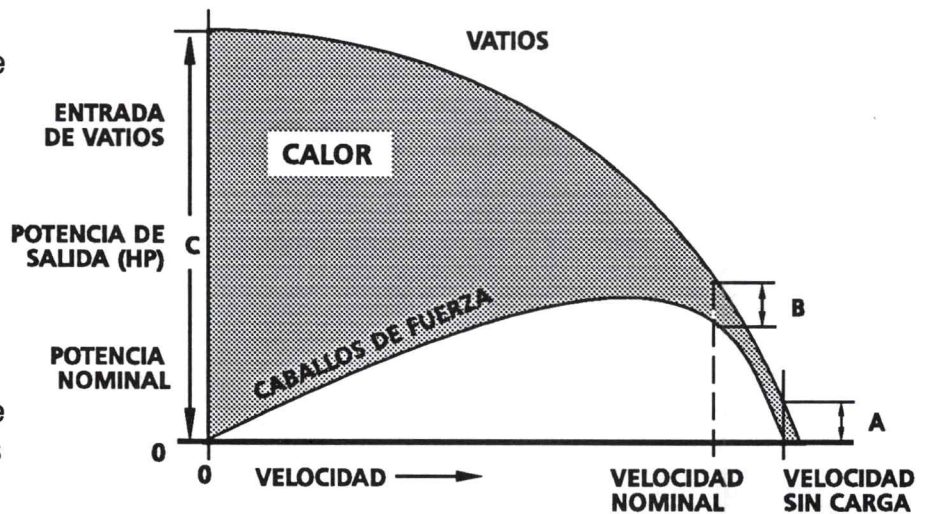
# CALOR

La energía eléctrica que no es convertida por el motor en caballos de fuerza se transforma en calor.



Cuando un motor está funcionando sin carga, todos los vatios que le llegan se convierten en calor debido a la fricción de los cojinetes, la resistencia del aire y las pérdidas de núcleo (A). Sin embargo, como el motor no está produciendo caballo de fuerza alguno, el vatiage general es bastante pequeño y el motor se calienta poco.

A la velocidad y potencia de salida nominales, el vatiage es mucho mayor, lo mismo que los caballos de fuerza. La diferencia entre los vatios de entrada y los caballos de fuerza de salida es moderada (B). El motor se calienta un poco, pero el calor se disipa con facilidad.



Sin embargo, cuando el motor funciona debajo de su velocidad nominal, la diferencia es grande entre los vatios que entran y los caballos de fuerza que salen. El motor puede sobrecalentarse y su aislamiento puede resultar dañado. La situación es todavía peor en la parada o atascamiento (C). Los caballos de fuerza (potencia) de salida son iguales a cero, de modo que todos los vatios que entran se convierten en calor y el vatiage es alto porque la corriente es alta.

Un motor pierde calor porque está más caliente que su entorno (el medio ambiente a su alrededor). La proporción de calor perdido depende de la diferencia entre la temperatura del motor y su entorno. Entre más caliente es su entorno, más caliente funcionará un motor.

Además, cualquier cosa que interfiera con la pérdida de calor incrementará la temperatura del motor. Si el ventilador no está funcionando o está dañado, la temperatura del motor aumentará. La mugre, que puede aislar un motor y restringir el paso del aire a través de él, también aumentará la temperatura de operación del motor.

El calor daña los materiales de aislamiento de un motor y esto produce cortos y hace que el motor se "queme".

## **COMO MANEJAR CORRECTAMENTE LOS MOTORES**

Para que un motor dure largo tiempo, no debe permitirse que funcione caliente. Para prevenir un funcionamiento caliente, el motor

- a) no debe sobrecargarse. Los motores sobrecargados requieren demasiada corriente. La mayoría de los motores industriales están protegidos con disyuntores de sobrecarga ("over load breakers" o "OLs") que se disparan y abren las líneas que llegan al motor cuando éste demanda demasiada corriente durante largo tiempo. Sin embargo, los disyuntores de protección contra sobrecarga, aún cuando estén debidamente seleccionados y ajustados no podrán evitar que un motor se sobrecaliente debido a la sobrecarga. Por esto, es necesario prevenir las condiciones que pueden causar las sobrecargas.
- b) debe tener un mantenimiento apropiado. Los motores tienen que mantenerse limpios, sus cojinetes deben ser lubricados adecuadamente y los componentes tales como las escobillas e interruptores ("switches"), deben mantenerse en buenas condiciones de trabajo. Prácticamente cualquier cosa que aumente la fricción o disminuya la eficiencia hará que el motor se caliente.

## **EJERCICIO DE PRACTICA V**

Un motor con bomba de irrigación con un régimen de 15 caballos de fuerza está funcionando a 1,700 RPM y está levantando 20,000 libras de agua por minuto, desde un lago hasta una zanja situada a 30 pies arriba del nivel del lago.

- a) Suponiendo que no hay pérdidas en la bomba, ni en la tubería, ¿Está el motor sobrecargado o subcargado? \_\_\_\_\_
- b) Si el motor está consumiendo 17 kilovatios (kw), ¿Cuál es su eficiencia y cuántos vatios se están convirtiendo en calor? \_\_\_\_\_

## RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS DE PRACTICA:

### Respuesta al Ejercicio de Práctica I

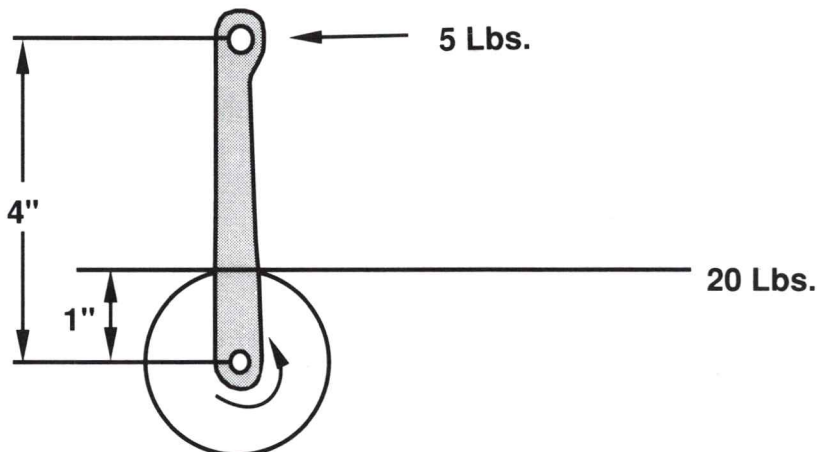
d) El motor sólo girará media vuelta y se detendrá.

Un rotor gira porque sus polos son atraídos primero hacia los polos del estator y, después, son repelidos al pasar por los polos del estator. Para que esto suceda, los polos contrarios que se atraen deben convertirse en polos iguales que se repelen cuando los rotores se alinean. Uno de los polos, ya sea los del estator o los del rotor, tiene que cambiar su polaridad. Si tanto los polos del rotor, como los del estator son invertidos cuando el rotor se alinea, seguirán siendo opuestos en polaridad y continuarán atrayéndose. El motor se comportará como si no se hubiera presentado inversión alguna de los polos.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica II

1. La distancia del centro del carrete al borde de un carrete de 2 pulgadas de ancho es igual a 1 pulgada. Para romper el hilo se requieren 20 libras; y la fuerza de torsión que producirá 20 libras de tracción a través de una distancia de 1 pulgada es igual a 20 libras-pulgada. Las unidades más adecuadas son las pulgadas por libras, pero la respuesta también podría expresarse en libras-piés así:  $20/12 = 1.67$  libras-piés, en Newton-metros o en cualquier unidad que combine una fuerza con una distancia.
2. Para producir 20 libras-pulgada con una manivela de 4 pulgadas de largo se necesitarían  $20/4 = 5$  libras.

$$\frac{20 \text{ libras-pulgada}}{4 \text{ pulgadas}} = 5 \text{ libras}$$



### Respuesta al Ejercicio de Práctica III

- a) La circunferencia de la polea de transmisión del transportador es:

$$2 \times 3.1416 = 6.2832 \text{ pies.}$$

Cada vez que el eje gira, la roca que se encuentra en la banda transportadora se desplazará a través de esa distancia. El eje gira a 16 RPM, de modo que cualquier cosa que esté en la banda transportadora se moverá a:

$$6.2832 \times 16 = 100 \text{ pies por minuto.}$$

Debido a que la banda tiene 100 pies de largo, una roca colocada en un extremo llegará al otro extremo en 1 minuto.

- b) Como en el equipo transportador no ocurre la fricción, la única fuerza que se requiere es aquella que levanta las 4,000 libras de roca a 25 pies. De manera que el trabajo realizado es igual a:

$$4,000 \times 25 = 100,000 \text{ libras-piés de trabajo por minuto.}$$

Un caballo de fuerza equivale a 33,000 libras-piés de trabajo por minuto, de modo que el motor está efectuando:

$$\frac{100,000}{33,000} = 3 \text{ caballos de fuerza.}$$

### Respuesta al Ejercicio de Práctica IV

- a) Localice 1,000 RPM en el eje horizontal. La curva de potencia (caballos de fuerza) ubicada exactamente encima de ese punto, tiene una altura de cerca de 10 unidades en la escala vertical de caballos de fuerza.
- b) La curva de kilovatios exactamente encima de 1,000 RPM tiene una altura de, aproximadamente, 11 unidades en la escala vertical de los kilovatios; 11 kilovatios equivalen a 11,000 vatios.
- c) La curva de caballos de fuerza cruza el eje horizontal a 1,200 RPM. El motor no produce salida de potencia a esa velocidad.
- d) La altura máxima de la curva de caballos de fuerza corresponde aproximadamente a 16 caballos de fuerza. Esto sucede a unas 700 RPM.
- e) El punto más alto en la curva de los kilovatios corresponde aproximadamente a los 22 kilovatios y ocurre en el eje vertical o a la velocidad cero.

## Respuesta al Ejercicio de Práctica V

- a) 15 caballos de fuerza equivalen a  $33,000 \times 15 = 495,000$  libras-piés de trabajo por minuto. El motor está realizando 30 pies por 20,000 libras = 600,000 libras-piés de trabajo por minuto o sea 18.18 caballos de fuerza ( $600,000/33,000 = 18.18$ ). El motor está sobrecargado y se calentará.
- b) 17 kw equivalen a 17,000 vatios. 746 vatios equivalen a 1 caballo de fuerza, de modo que el motor está consumiendo una energía equivalente a:

$$\frac{17,000}{746} = 22.788 \text{ caballos de fuerza.}$$

Debido a que está produciendo 18.18 caballos de fuerza, su eficiencia es igual a:

$$\frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Entrada}} \times 100 = \frac{18.18}{22.788} \times 100 = 80\%$$

18.18 caballos de fuerza son equivalentes a  $18.18 \times 746$  vatios o sea 13,562 vatios. Si el motor fuera perfectamente eficiente, consumiría solamente 13,562 vatios; pero consume 17kw.

$$17,000\text{v} - 13,5562\text{v} = 3,438 \text{ vatios que están siendo convertidos en calor.}$$

## REPASO FINAL

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los enunciados presentados a continuación.

1. Todos los motores incluyen:

- A. un rotor y un estator.
- B. escobillas y colector (conmutador).
- C. imanes permanentes y electromagnetos.
- D. una forma de invertir los polos de campo y de la armadura (inducido).

2. La potencia (HP) nominal de un motor es la energía que produce:

- A. justo antes del ahogamiento o de la parada.
- B. a cualquier velocidad entre 0 y la velocidad sin carga.
- C. cuando la fuerza de torsión del motor es máxima.
- D. cuando está funcionando con una carga completa.

3. Un motor hace girar un tambor de winche de 3 metros de diámetro y tira de una carga con una fuerza de 60 libras.

- A. ¿Cuánta fuerza de torsión está ejerciendo el motor? \_\_\_\_\_
- B. Si el eje gira a 700 RPM ¿Cuántos caballos de fuerza está liberando el motor? \_\_\_\_\_  
(La circunferencia de un círculo es 3.1416 multiplicado por el diámetro.)

4. Si un motor fuera 100% eficiente, produciría 1 caballo de fuerza por cada \_\_\_\_\_ vatios.
- A. 473
  - B. 480
  - C. 746
  - D. 647
5. Un rotor ejerce una fuerza de torsión máxima cuando sus polos están:
- A. entre los polos del estator.
  - B. alineados N-N y S-S con los polos del estator.
  - C. alineados N-S y S-N con los polos del estator.
  - D. pasando los polos del estator.
6. Un motor se sobrecalentará con mayor rapidez cuando:
- A. está funcionando a la velocidad máxima.
  - B. está produciendo su potencia nominal.
  - C. está atascado (ahogado).
  - D. está produciendo la fuerza de torsión mínima.
7. La fuerza de torsión de arranque de la mayoría de los motores es:
- A. mayor que la fuerza de torsión con carga completa.
  - B. 0 (cero).
  - C. mayor que la torsión de parada o atascamiento.
  - D. menor que la fuerza de torsión sin carga.
8. Las pérdidas del motor se hacen evidentes como:
- A. resistencia eléctrica.
  - B. fricción.
  - C. corrientes parásitas.
  - D. calor.

9. La mayoría de los motores funcionan a una eficiencia máxima:

- A. a la velocidad sin carga.
- B. con carga completa o cerca de ella.
- C. cuando están sobrecargados.
- D. al arrancar.

10. Los motores se queman cuando:

- A. se disparan los disyuntores de protección contra sobrecarga.
- B. la corriente es demasiado baja durante largo tiempo.
- C. funcionan demasiado rápido.
- D. están sobrecargados durante largos períodos.

# LECCION 2

## MOTORES DE C.D. (CORRIENTE CONTINUA)

### INTRODUCCION

Esta lección describe la construcción y el funcionamiento de los motores de C.D. También examina los diferentes tipos de motores de C.D.; explica sus características de funcionamiento y presenta los principios básicos para el control de estos motores.

### OBJETIVOS

Al terminar esta lección, usted debe ser capaz de:

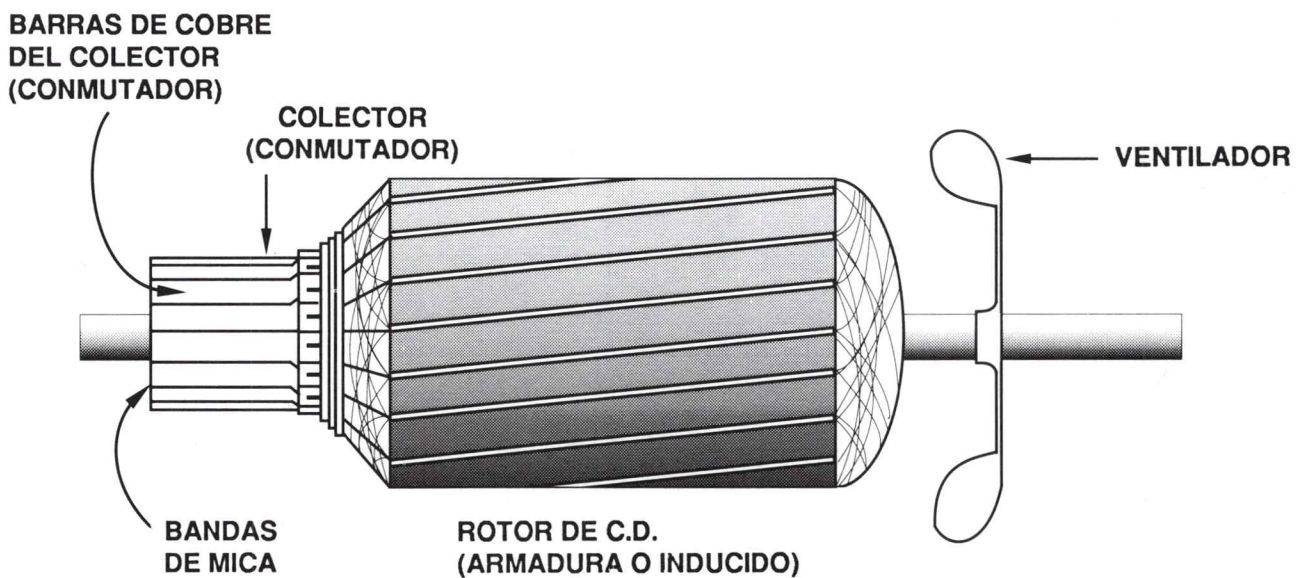
- Describir la construcción de los motores de C.D. y explicar el funcionamiento de sus componentes.
- Explicar la acción de conmutación de las escobillas y del colector (también conocido como conmutador).
- Explicar el efecto de la fuerza contraelectromotriz sobre las características del funcionamiento de los diferentes tipos de motores.
- Explicar cómo se conectan los motores en serie, aquéllos en derivación, los compuestos y los de imán permanente.
- Explicar cómo se controla la velocidad y la dirección de los motores de C.D.

## CONSTRUCCION DEL MOTOR

Los motores de C.D., al igual que todos los motores, se componen de dos ensambles: uno fijo (el estator) y otro giratorio (el rotor).

1. La parte rotatoria de un motor de C.D. incluye un núcleo de acero, los devanados de dicho núcleo y un colector (conmutador); estos componentes están montados sobre un eje. También se utiliza un ventilador generalmente montado en el eje, ya sea en el interior del motor, para impulsar el aire a través de él, o afuera, para soplar el aire por encima de él.

Por lo general, al conjunto del rotor -- el núcleo, los devanados y el colector (conmutador) -- se denomina, por lo usual, armadura (o inducido).



- a) El núcleo transporta el flujo producido por los imanes de campo y la corriente en los devanados de la armadura (inducido). Por lo general, se construye con muchas láminas delgadas que se presionan sobre el eje y se aíslan entre sí.
- b) Los devanados de la armadura conducen la corriente de esta última que crea los polos magnéticos de la armadura. Los devanados son instalados en las ranuras del núcleo y se conectan (juntos) en las barras del colector.
- c) El colector conduce la corriente hacia y desde los devanados de la armadura. El colector (conmutador) está formado de barras de cobre paralelas al eje del motor y colocadas en fila alrededor del eje. Las barras están separadas entre sí por medio de unas bandas delgadas de aisladores de mica. Por lo general, existen tantas barras de colector como devanados de armadura.

2. Las partes fijas incluyen los imanes de campo y el bastidor (carcasa o "frame"). La mayoría de los motores de C.D. tienen, también, interpolos. Las partes fijas de un motor de C.D. se denominan, comúnmente, **campo** ("field").

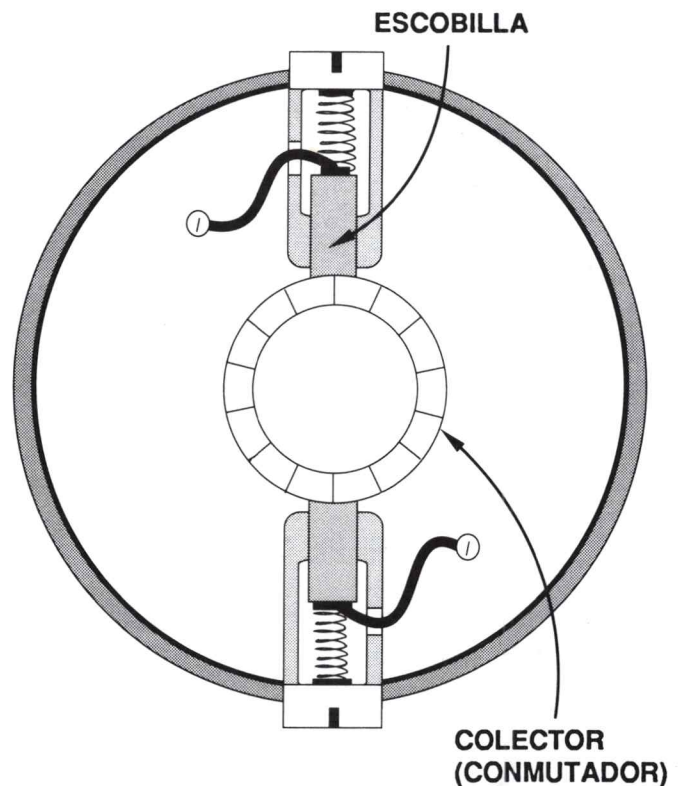


- Los imanes de campo producen el flujo magnético en el interior del motor. Algunos motores utilizan imanes de campo permanentes, pero la mayoría utilizan electroimanes -- bobinas de alambre enrolladas en zapatas de polos que están firmemente unidos a la carcasa del motor o forman parte de ella. Siempre existe un número par de imanes de campo. La mayoría de los motores de C.D. tienen entre dos y seis.
- En la mayoría de los motores de C.D., cuya potencia es superior a 1 caballo de fuerza, también hay dos o más interpolos unidos a la carcasa entre los imanes de campo. Los interpolos son más estrechos que los principales imanes de campo. Sus bobinas están conectadas en serie con la armadura (inducido) y se enrollan con alambre pesado para transportar la corriente alta de la armadura. La corriente en los interpolos mantiene el patrón de flujo apropiado a través del motor conforme la carga varía. Esto ayuda a evitar las chispas en las escobillas.
- El bastidor (carcasa) mantiene los imanes de campos y los interpolos firmemente en su posición. También transporta el flujo entre los imanes de campo.

- d) Los terminadores de cable sostienen los cojinetes del eje firmemente en su lugar con el fin de mantener correctamente el vacío o espacio de aire entre la armadura y el campo. Algunos terminadores de cables tienen respiraderos de aire.
- e) Las escobillas y los soportes de escobillas proporcionan corriente a las bobinas de la armadura a través de las barras del colector (conmutador).

Las escobillas son bloques de carbón o de un material compuesto de carbón y cobre. Por lo general, un extremo de un cable de alambre flexible se empotra en la escobilla para darle corriente.

Los soportes de la escobilla incluyen portaescobillas y resortes. Los portaescobillas, montados en el bastidor del motor o en uno de los terminadores de cable, colocan las escobillas de tal modo que hagan contacto apropiadamente con las barras del colector. Los resortes de las escobillas presionan las escobillas contra el colector con la fuerza adecuada para obtener un buen contacto eléctrico y un mínimo de desgaste. Los dispositivos de soporte también incluyen aisladores, anillos, pernos (tornillos), pernos de orejas y otras partes que sujetan los portaescobillas firmemente en su lugar.



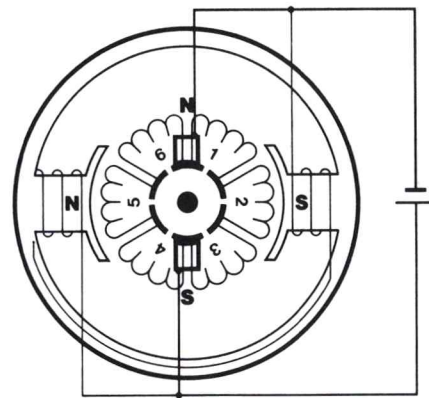
- f) Los motores grandes de C.D. y los destinados a funcionar durante largos períodos a baja velocidad tienen, comúnmente, un ventilador exterior accionado por motor para el enfriamiento; el ventilador accionado por eje es ineficaz a bajas velocidades. Algunos motores muy grandes, diseñados para una aplicación particular, son enfriados con líquido y tienen conductos para recibir el agua y hacerla pasar a través de ellos.
- g) Por lo general, los motores tienen una caja de empalmes en su interior o exterior. Los alambres de los devanados de campo y las conexiones de escobillas, se introducen en el interior de dicha caja y se marcan con una "F" (que equivale a "field" = campo) o con una "A" (que equivale a armadura). En algunos motores existen más de dos alambres "F" y dos alambres "A".

## FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE C.D.

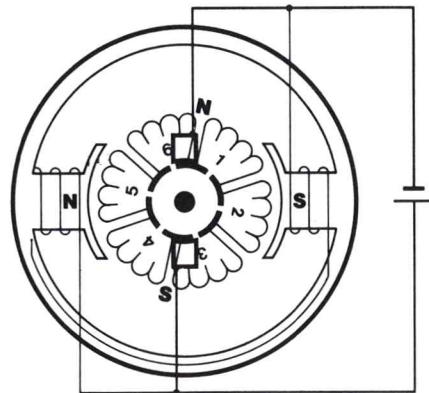
La mayoría de los inducidos tienen muchos devanados. Los polos magnéticos producidos por la corriente en cada devanado se combinan. Debido a esto, las armaduras (inducidos) generalmente tienen menos polos que los devanados.

Para mantener los polos de la armadura en la mejor posición, para ser rechazados o atraídos por los polos de campo, el colector (conmutador) y las escobillas cambian la corriente en uno de los devanados de la armadura a la vez, a medida que gira la armadura. Esto da como resultado que los polos de la armadura se mantengan casi fijos entre los polos de campo, mientras la armadura gira y el motor ejerce una torsión suave. Los diagramas esquemáticos ilustran la forma en que esto sucede.

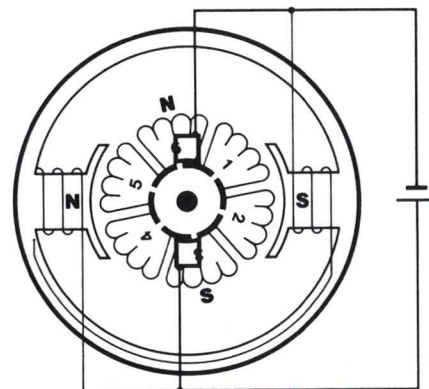
1. La corriente pasa a través de todas las bobinas de la armadura, produciendo polos Norte y polos Sur en cada una. Los polos se combinan para producir un polo de armadura norte y un polo de armadura sur.



2. Los polos de la armadura giran con la armadura.



3. Ambas escobillas se ponen en contacto con dos barras del colector (conmutador). Dos bobinas de armadura se cortocircuitan de tal modo que no pase corriente a través de ellas. Sin embargo, la corriente atraviesa las otras haciendo que retrocedan un poco los polos de la armadura que giraron; no obstante, mantienen la posición necesaria para ser rechazados o atraídos por los polos de campo.



## **EJERCICIO DE PRACTICA I**

Si, en el motor que acabamos de mostrar, estuviera abierta la bobina de una armadura (inducido), el motor:

- a) quizás funcionaría, pero le faltaría potencia.
- b) giraría menos de una revolución y se detendría, quedando siempre en la misma posición.
- c) giraría hacia atrás y hacia adelante.
- d) no consumiría corriente alguna de armadura y no funcionaría en absoluto.

## **PROBLEMAS EN EL COLECTOR (CONMUTADOR) Y CON LAS ESCOBILLAS**

Los problemas relacionados con el colector (conmutador) y con las escobillas son los más comunes en el caso de los motores de C.D. Por lo general, las chispas de las escobillas indican un problema. El desgaste excesivo y la quemadura del colector y de las escobillas se derivan de un contacto deficiente entre el colector y las escobillas que puede ser ocasionado por:

- Escobillas rotas o astilladas.
- Resortes de escobilla débiles.
- Escobillas desgastadas y cortas.
- Alambres de escobillas sueltos o apretados.
- Portaescobillas volteados, apretados, rotos o mal colocados.
- Un colector (conmutador) desgastado o sucio.

La posición incorrecta de las escobillas alrededor del motor también causará daños. Las bobinas que tienen cortos circuitos, cuando la escobilla hace contacto con dos barras de colector adyacentes, deben estar exactamente perpendiculares al flujo que existe a través del motor. De lo contrario, cortarán algunas líneas de flujo a medida que la armadura gire, se inducirá un voltaje y las escobillas producirán chispas.

## **FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ DE LA ARMADURA (INDUCIDO)**

A medida que gira la armadura (inducido), se produce un voltaje en sus bobinas debido a que éstas están cortando las líneas de flujo producidas por los imanes de campo. El voltaje inducido se denomina **fuerza contraelectromotriz** porque se opone al voltaje aplicado.

La fuerza contraelectromotriz inducida en la armadura depende del número de líneas de flujo que las bobinas de la armadura cortan por segundo y esto, a su vez, depende de:

- a) las RPM de la armadura. La fuerza contraelectromotriz aumenta a medida que la velocidad del motor es incrementada.
- b) la intensidad del flujo de campo. La fuerza contraelectromotriz también aumenta cuando se incrementa la corriente del campo.

El voltaje efectivo en la armadura es el voltaje de alimentación primaria aplicado al inducido, menos la fuerza coantraelectromotriz. Por lo tanto, es común que entre más rápido gira la armadura y más alta es la corriente de campo, más bajo es el voltaje efectivo y menor la corriente que hay en la armadura.

### **EJERCICIO DE PRACTICA II**

La armadura (inducido) de un motor de C.D. que opera sin carga, consume 2 amperios. El voltaje de alimentación es igual a 90 voltios. Si la resistencia de la armadura es de 3 ohms:

- a) ¿Cuál sería el voltaje efectivo en la armadura? \_\_\_\_\_
- b) ¿Cuál sería la fuerza contraelectromotriz generada en la armadura? \_\_\_\_\_
- c) ¿Cuánta corriente consumiría la armadura en el arranque? \_\_\_\_\_

### **EJERCICIO DE PRACTICA III**

Un voltímetro conectado a través de las terminales de la armadura (inducido) de un motor de C.D. en movimiento medirá:

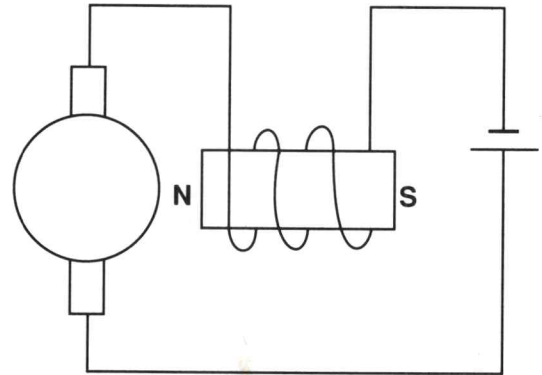
- a) el voltaje de alimentación de la armadura.
- b) el voltaje efectivo que empuja la corriente a través de la armadura.
- c) la fuerza contraelectromotriz.
- d) el voltaje de alimentación menos la fuerza contraelectromotriz.

## TIPOS DE MOTORES DE C.D.

Existen cuatro tipos principales de motores de C.D.: los motores en serie, los motores en derivación, los motores compuestos y los motores de imán permanente. Dichos motores tienen diferentes características de funcionamiento y son adecuados para diferentes aplicaciones.

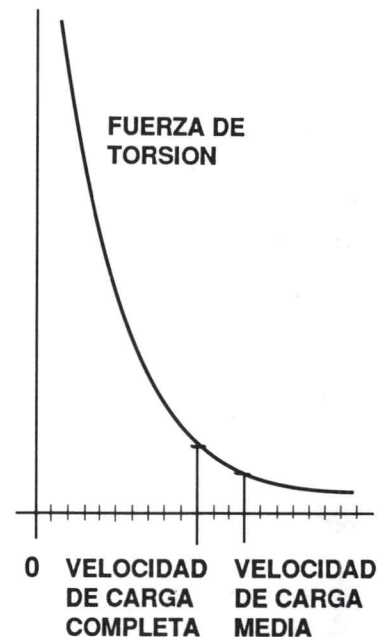
### 1. Motores en serie

En un motor en serie, el campo y la armadura están conectados en serie; es decir, que la misma corriente que produce los polos de la armadura produce, también, los polos de campo. Ambos grupos de bobinas son devanados con alambre grande cuya resistencia es baja y puede transportar corriente alta. Tanto en las bobinas de campo, como en las de la armadura, la corriente se ve limitada sólo por la fuerza contraelectromotriz.



#### Características:

- En el arranque y a baja velocidad, la fuerza contraelectromotriz es baja; por lo tanto, la corriente de las bobinas de campo y de la armadura es alta. El flujo fuerte produce una torsión alta.
- A velocidades moderadas y altas, la regulación es deficiente. Los cambios de carga afectan la velocidad considerablemente. En la gráfica, la velocidad de media carga es 30% superior a la velocidad de carga completa.
- No existe una velocidad con un límite superior fijo o sin carga. La velocidad de los motores en serie, sin carga, puede ser excesiva y causar la destrucción de los motores cuando la armadura se desintegra debido a la fuerza centrífuga.

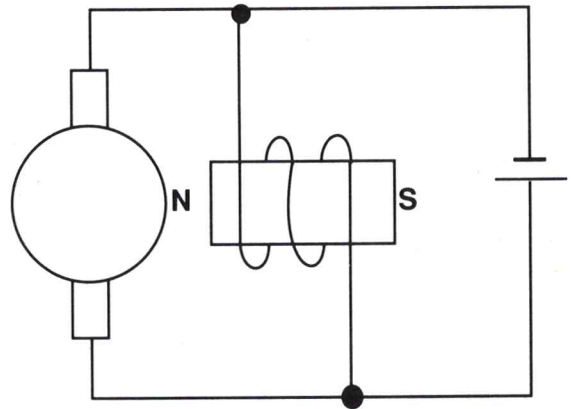


#### Aplicaciones:

Los motores en serie se utilizan cuando se requiere una fuerza o momento de torsión alto en el arranque y un momento de torsión de baja velocidad como, por ejemplo, en el caso de los tranvías, de las horquillas elevadoras, de los carros de las minas y de los montacargas. El mecanismo de transmisión no debe permitir que el motor funcione sin carga. Por lo tanto, generalmente, se utilizan los engranajes (cambios) o el acoplamiento directo. La fricción de las escobillas y cojinetes impide que los motores en serie pequeños se desboquen a grandes velocidades.

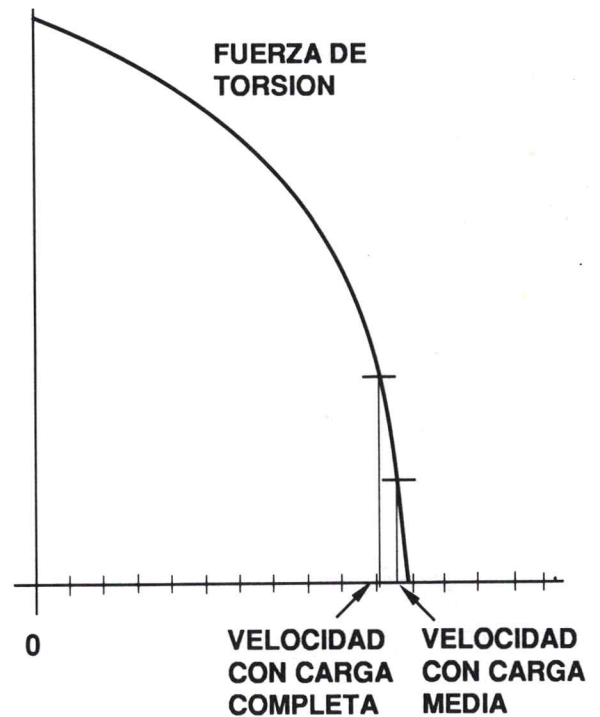
## 2. Motores en derivación

En un motor en derivación, el campo y la armadura están conectados en paralelo. Debido a que las bobinas del campo son independientes de los devanados del inducido, la fuerza contraelectromotriz no limita la corriente del campo. Las bobinas deben presentar suficiente resistencia para limitar la corriente en ellas y, por esta razón, se enrollan con varias vueltas de alambre fino. Independientemente de la velocidad, la corriente de la bobina de campo es constante.



### Características:

- En el arranque y a baja velocidad, la corriente y la torsión son mucho mayores que a la velocidad de operación normal; sin embargo, no son tan elevadas como en los motores en serie.
- La regulación de la velocidad es muy buena a la velocidad de operación nominal. Los motores en derivación son, básicamente, dispositivos de velocidad constante. Una velocidad de media carga, en la curva de torsión mostrada, es solamente un 5% más alta que la velocidad de carga completa.
- Existe una velocidad límite superior fija. Los motores en derivación no sobrepasarán su velocidad si no tienen carga.

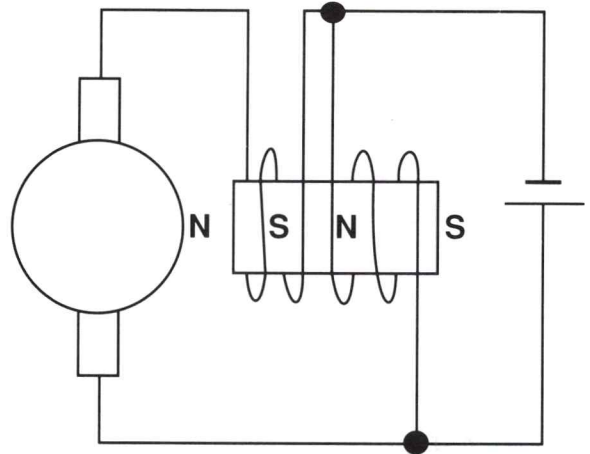


### Aplicaciones:

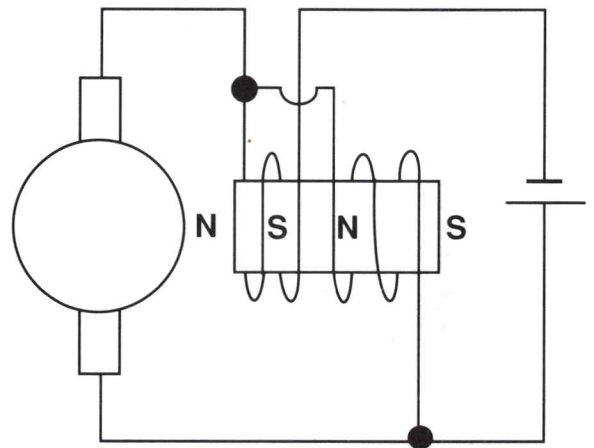
Los motores en derivación se utilizan, a menudo, en tamaños pequeños y medianos para activar diferentes tipos de equipo transportador de velocidad variable y otro equipo de manejo de materiales o de procesamiento. Estos motores permiten un control de velocidad adecuado a través de un amplio rango de velocidad y una buena regulación de la velocidad en cada ajuste de esta última.

### 3. Motores Compuestos

Los motores compuestos tienen bobinas de campo tanto en serie como en derivación, enrolladas en las mismas piezas de hierro de los polos. En la conexión de Derivación Larga, las bobinas en derivación se conectan directamente a través de las líneas de energía.

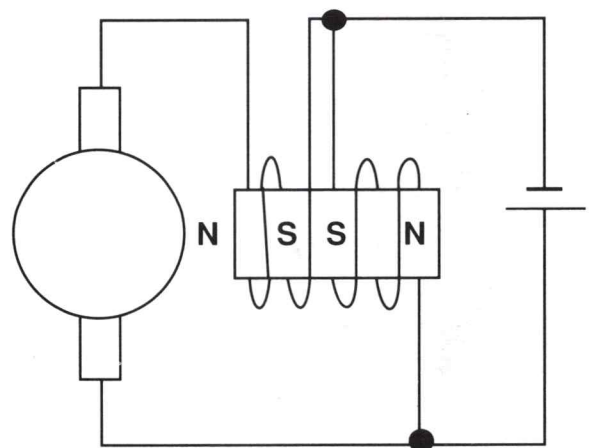


En la conexión en Derivación Corta, las bobinas en derivación solamente se conectan a través de la armadura.



La mayoría de los motores compuestos son "acumulativamente compuestos". Las bobinas de campo en serie y en derivación se conectan de la misma forma, de tal modo que los campos producidos por ellas se van adicionando.

Algunos motores compuestos tienen devanados diferenciales. Las bobinas de campo en serie y en derivación se oponen entre sí. Es decir, las bobinas en serie producen un polo norte, mientras que las bobinas en derivación producen un polo sur y viceversa.



### Características:

En general, los motores compuestos tienen características que se observan tanto en los motores en serie como en los motores en derivación; poseen más torsión de arranque que un motor en derivación, una mejor regulación de la velocidad y una mayor estabilidad a alta velocidad que un motor en serie.

Las características de operación de un motor compuesto pueden modificarse variando el grado de composición. A la velocidad y carga nominales, un motor compuesto al 50%, obtiene más o menos la mitad de su flujo de campo de las bobinas en serie y la otra mitad de sus bobinas en derivación. Cuando se obtiene más del flujo total de un motor a partir de las bobinas en derivación, el motor se comporta más como un motor en derivación. Si la mayor parte del flujo proviene de las bobinas en serie, un motor compuesto se comporta más como un motor en serie.

Las conexiones acumulativas y diferenciales también ofrecen diferentes características. Una conexión diferencial puede suministrar una regulación de velocidad excepcional e, inclusive, una regulación de velocidad negativa, de tal forma que la velocidad del motor aumenta a medida que la carga se incrementa. Sin embargo, los motores de conexión acumulativa son más estables a través de un amplio rango de velocidades.

### Aplicaciones:

Muchos motores de C.D., de gran tamaño y usos múltiples, tienen devanados compuestos.

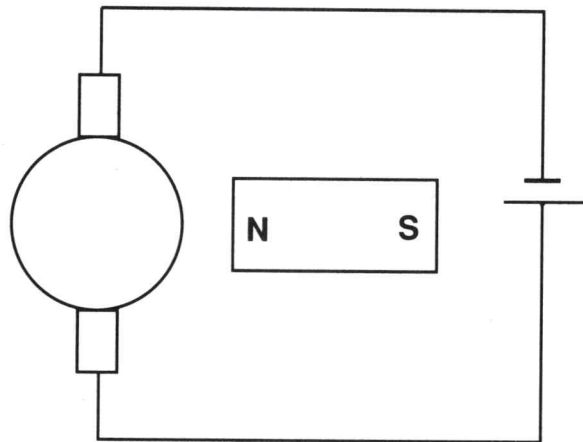
## **EJERCICIO DE PRACTICA IV**

Si se quema el devanado en derivación de un motor compuesto acumulativo, el motor:

- a) no funcionará.
- b) arrancará en reversa.
- c) consumirá una corriente de parada más alta.
- d) tenderá a desbocarse o a elevar excesivamente la velocidad.

#### 4. Motores de Imán Permanente

Los motores de imán permanente son muy sencillos porque no tienen devanados de bobina de campo. La única conexión eléctrica llega a la armadura a través de las escobillas. Los imanes permanentes proveen polos de campo constantes, sin importar si el motor está, o no, en marcha.



En general, la torsión disminuye en una línea recta a medida que la velocidad se incrementa; los caballos de fuerza se mantienen más o menos constantes y la torsión de arranque es bastante alta. El motor tiene una velocidad sin carga constante.



#### Aplicaciones:

Los motores de imán permanente pueden encontrarse en tamaños pequeños y medianos para aplicaciones generales. Se les utiliza, especialmente, en devanadores de carretes y en máquinas herramientas.

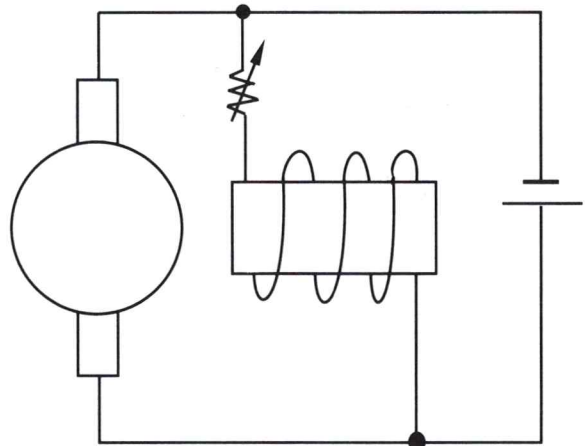
Algunos motores de imán permanente no deben utilizarse en aplicaciones que requieran la inversión súbita de la dirección de un motor. Las corrientes de armadura muy altas, que tienen lugar en este proceso, pueden algunas veces desmagnetizar parcialmente los imanes de campo.

## CONTROL DEL MOTOR

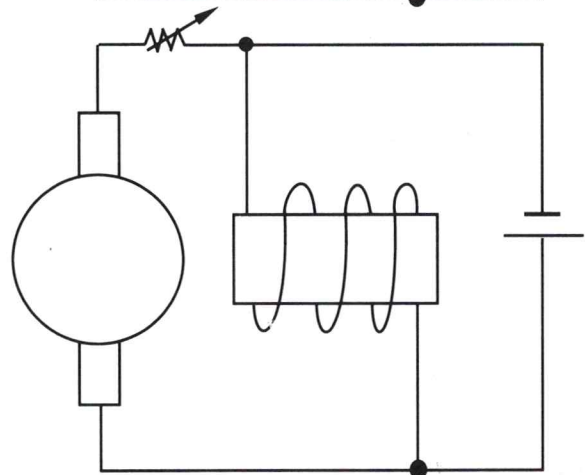
1. *Control de la velocidad.* Los controladores de motores de C.D. cambian la velocidad del motor variando el voltaje de la armadura o del campo.
  - a) La reducción del voltaje de la armadura disminuye la velocidad del motor, hace menor la corriente que va hacia la armadura, debilita los polos de la armadura y tiende a disminuir la torsión del motor y a bajar la velocidad de este último.
  - b) Al reducir el voltaje de campo se incrementa la velocidad del motor. Esto reduce la corriente de campo, debilita el flujo en el motor y tiende a reducir la torsión del motor. Sin embargo, el debilitamiento del flujo de campo provoca la caída de la fuerza contraelectromotriz inducida en la armadura; la armadura consume más corriente y el motor, en estas condiciones, produce mayor torsión que antes y aumenta su velocidad.

El voltaje puede reducirse colocando un resistor en el campo del motor o en los circuitos de la armadura.

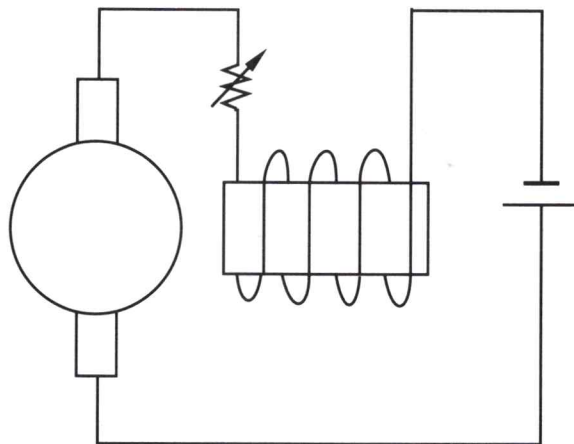
En un motor **en derivación**, se puede ajustar el voltaje de campo y la corriente con un resistor variable en serie con las bobinas de campo. La corriente de campo es baja y la pérdida de energía eléctrica en el resistor es ligera.



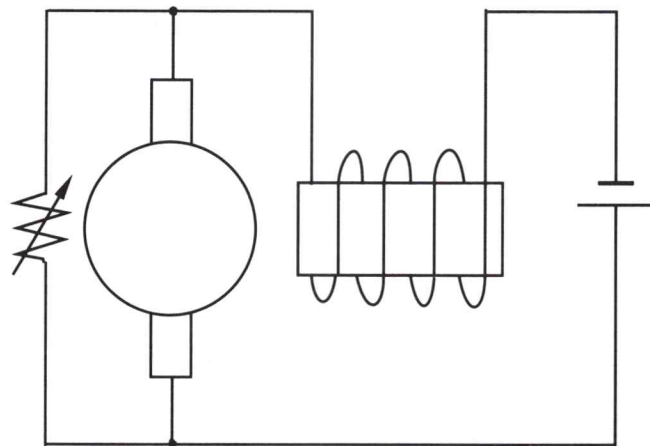
El voltaje y la corriente de la armadura también pueden reducirse conectando un resistor en serie con la armadura. Sin embargo, esto produce un desperdicio considerable de energía eléctrica, en forma de calor, debido a que la corriente de la armadura es comparativamente grande. Además, la regulación de la velocidad no es tan buena cuando existe una resistencia en el circuito de la armadura.



En un motor **en serie**, la corriente de la armadura es la misma que la corriente de campo. Por esta razón, un resistor conectado en serie con la armadura reduce la corriente tanto en el campo como en la propia armadura. Ambos campos se debilitan y el motor disminuye su velocidad. Algunas veces se controla de este modo la velocidad en los motores en serie pequeños, pero la regulación de la velocidad y la eficiencia dejan mucho que desear.



Un resistor en paralelo solamente con la armadura tiene un efecto más pronunciado debido a que reduce la corriente de la armadura e **incrementa** la corriente de campo. Ambas consecuencias tienden a disminuir la velocidad del motor. Sin embargo, debido a que la corriente del resistor es elevada, la eficiencia sigue siendo mala.



Debido a la baja eficiencia de cualquier control de velocidad que usa resistores, los motores de C.D. modernos utilizan rectificadores controlados de silicio (SCRs) para suministrar un voltaje ajustable a la armadura así como para rectificar la línea de voltaje de C.A. a C.D. Las pérdidas de energía son pequeñas y la circuitería de retroalimentación puede proporcionar una regulación de velocidad muy precisa.

2. *Arranque.* Debido a que la resistencia de los motores de C.D. es muy baja, éstos tienen que arrancarse, por lo general, a un voltaje reducido para limitar la corriente tomada de la fuente. Los arrancadores de los motores de C.D. proporcionan un voltaje que se incrementa suavemente o por etapas a medida que el motor aumenta su velocidad. Los resistores pueden utilizarse para realizar lo anterior; sin embargo, como en el caso del control de velocidad, la mayoría de los motores modernos utilizan circuitos con rectificadores controlados de silicio para el arranque.
3. *Inversión.* Si se invierten los polos magnéticos del campo o de la armadura, el motor funciona en reversa. Los controladores que invierten la marcha de los motores de C.D. casi siempre invierten la corriente de la armadura.

4. **Frenaje.** Para que un motor funcione como un freno, éste debe ejercer una torsión en dirección contraria a la rotación.

Para producir la reversa o la torsión de frenaje, la corriente en la armadura se invierte de tal modo que sus polos se inviertan. Existen tres situaciones en la que puede suceder esto:

- a) **Paro del motor invirtiendo la rotación** (poner el motor en reversa cuando está caminando hacia adelante). La fuerza contraelectromotriz producida en la armadura de un motor se opone al voltaje de alimentación primaria. Sin embargo, cuando un motor en marcha se cambia a reversa, se invierte la polaridad del voltaje de la armadura. El resultado es que el voltaje de alimentación primaria y la fuerza contraelectromotriz se suman, de tal modo que la corriente de la armadura es muy alta, más que la corriente de arranque, y la torsión de frenaje es muy fuerte. Solamente los motores para servicio pesado pueden tolerar los altos esfuerzos que implica el cambio súbito de la dirección de rotación.

Para impedir que un motor que avanza súbitamente marche en reversa, un interruptor debe cortar la energía cuando el motor se detenga. El interruptor puede abrirse por medio de un "timer" (sincronizador) automático después de determinado retardo o por medio de un mecanismo centrífugo que detecte el paro del eje.

- b) **Frenaje dinámico.** El voltaje de alimentación primaria se desconecta de la armadura y, en su lugar, se conecta una resistencia. La fuerza contraelectromotriz generará una corriente inversa en la armadura y el motor funcionará como un freno. Debido a que la fuerza contraelectromotriz disminuye a medida que el motor reduce la velocidad, la torsión de frenaje también disminuye y desaparece cuando el eje se detiene. No se necesita un interruptor para impedir la rotación en reversa.
- c) **Frenaje regenerativo.** En muchos motores no se hace necesaria la reconexión para detener una carga que embala o "afina" un motor que está funcionando mucho más rápido que si no tuviera carga. La fuerza contraelectromotriz se eleva más que el voltaje aplicado, de modo que el voltaje efectivo en la armadura se vuelve negativo. La corriente de la armadura se invertirá y limitará la velocidad de la carga. El efecto del frenaje se incrementa a medida que la velocidad aumenta.

El motor se ha convertido en un generador; en lugar de consumir corriente de la fuente de energía, la corriente inversa de la armadura fluye nuevamente hacia la fuente cargándola o volviéndola a generar.

## **EJERCICIO DE PRACTICA V**

Un motor en serie no proporciona, automáticamente, el frenaje regenerativo debido a que:

- a) no puede ser conectado para una torsión en reversa.
- b) la corriente de campo aumenta a medida que la velocidad aumenta.
- c) la corriente de la armadura desciende a cero a la velocidad del motor sin carga.
- d) la fuerza contraelectromotriz no puede aumentar por arriba del voltaje de alimentación primaria.

## **CONEXIONES PARA UNA TORSION INVERSA**

Cuando se conecta un motor de C.D. para que funcione en reversa, tiene que invertirse la corriente tanto en la armadura como en los interpolos. Por lo general, las terminales de la armadura en la caja de empalmes del motor, suministran corriente a la combinación en serie de interpolos/armadura de tal manera que si se invierten las conexiones de la armadura los interpolos también son invertidos.

Sin embargo, si los interpolos tienen alambres de conexión separados, hay que asegurarse de que los interpolos sean mantenidos en serie con la armadura y que la corriente a través de ambos, la armadura y los interpolos, sea invertida al mismo tiempo. El motor funcionará si la conexión de los interpolos está invertida, pero las escobillas producirán chispas.

Algunos motores grandes que deben funcionar bajo cargas y velocidades muy variables también tienen devanados de campo compensatorios en las ranuras de las caras de las zapatas principales de los polos. La corriente en ellas también debe invertirse cuando se invierte la corriente en la armadura.

## RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS PRACTICOS:

### Respuesta al Ejercicio de Práctica I

- a) Es posible que el motor opere; sin embargo, en la mayoría de las posiciones de la armadura solamente la mitad de las bobinas de la armadura tendrán corriente. La torsión del motor se reducirá considerablemente. Alguna corriente de la armadura fluirá en todas las posiciones de la armadura.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica II

- a) Según la ley de Ohm, el voltaje necesario para “empujar” 2 amperios de corriente a través de 3 Ohms de resistencia es igual a  $2 \times 3$  o sea 6 voltios.
- b) La fuerza contraelectromotriz es igual al voltaje de suministro, 90 voltios, menos el voltaje efectivo, 6 voltios; es decir, 84 voltios.
- c) A una velocidad 0 no hay fuerza contraelectromotriz. El voltaje total de alimentación primaria, de 90 voltios, empuja la corriente a través de la resistencia de la armadura de 3 Ohms y la corriente es  $90/3 = 30$  amperios.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica III

- a) El voltaje real medido a través de las terminales de la armadura de un motor de C.D, en marcha, es igual al voltaje suministrado por la armadura. Las líneas de energía eléctrica conectan las terminales de la armadura al voltaje de alimentación, de tal manera que la lectura mostrada en las terminales de la armadura es igual a la lectura en el suministro de voltaje.

Mientras el voltaje de alimentación esté conectado y el motor esté funcionando con su propia energía, no habrá manera de medir directamente la fuerza contraelectromotriz (c), ni el voltaje de alimentación menos la fuerza contraelectromotriz (d) que es el voltaje efectivo que empuja la corriente a través de la armadura (b). La fuerza contraelectromotriz generada en el motor tiene la misma polaridad que el voltaje de alimentación y es enmascarada por este último hasta que el motor está funcionando más rápido de lo que lo hace normalmente. Entonces, la fuerza contraelectromotriz excede el voltaje de alimentación y el voltaje medido en las terminales de la armadura es la fuerza contraelectromotriz.

## Respuesta al Ejercicio de Práctica IV

- d) El motor tenderá a desbocarse o a sobreacelerarse. Sin las bobinas de derivación, un motor compuesto se convierte en un motor en serie y pierde su estabilidad a altas velocidades.

La torsión de arranque de algún modo disminuirá, pero el motor seguirá caminando en la dirección normal. La corriente de parada que entra al motor será un poco menor debido a que no fluiría la poca corriente que demandaría el campo de derivación.

## Respuesta al Ejercicio de Práctica V

- d) En cualquier motor de C.D., la fuerza contraelectromotriz depende de la velocidad de la armadura y de la resistencia del campo. En un motor en serie, el campo se debilita a medida que aumenta la velocidad de la armadura, de tal modo que la fuerza contraelectromotriz no se incrementa demasiado a medida que la velocidad se eleva. El voltaje efectivo en la armadura (la diferencia entre el voltaje de alimentación primaria y la fuerza contraelectromotriz) no se reduce a cero y la corriente no se invierte para proporcionar torsión de frenaje.

Al igual que sucede en el caso de cualquier otro tipo de motor de C.D., un motor en serie puede conectarse para la inversión de torsión invirtiendo la polaridad de la armadura (a). Sin embargo, no suministrará una torsión inversa por encima de una velocidad fija (frenaje regenerativo) sin la reconexión.

En ningún motor la corriente de la armadura desciende a cero a una velocidad sin carga (c) debido a que se necesita algo de corriente para desarrollar la torsión interna y para superar la fricción de los cojinetes y la resistencia del viento. Sin embargo, en los motores de C.D. que no son en serie, la corriente de la armadura sí desciende a cero, ligeramente arriba de la velocidad sin carga y se invierte si la armadura está siendo accionada a una velocidad superior a la mencionada.

La corriente de campo es la misma que la corriente de la armadura y desciende gradualmente a medida que la velocidad aumenta (b).

## REPASO FINAL

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los enunciados presentados a continuación.

1. En un motor de C.D., al estator se denomina:
  - A. armadura (inducido).
  - B. colector (conmutador).
  - C. interpolo.
  - D. campo.
  
2. Las escobillas y el colector (conmutador) en un motor de C.D.:
  - A. conmutan la corriente a una bobina de campo a la vez.
  - B. cortocircuitan todas las bobinas de la armadura a la vez, con excepción de una.
  - C. invierten la corriente en una bobina de la armadura a la vez.
  - D. dividen la corriente entre las bobinas de campo y las bobinas de la armadura.
  
3. Las escobillas producirán chispas si:
  - A. no se asientan en la curva del colector (conmutador).
  - B. se ponen a funcionar en un colector (conmutador) de vidrio.
  - C. pueden deslizarse libremente en los portaescobillas.
  - D. están demasiado apretadas en el colector (conmutador).
  
4. La mayoría de los motores de C.D. tienen:
  - A. una escobilla para cada bobina de armadura.
  - B. tantas bobinas de campo como bobinas de armadura.
  - C. zapatas de bobina del campo magnético permanente.
  - D. dos, cuatro o seis polos de campo.
  
5. La corriente hacia la armadura de un motor de C.D. disminuye cuando:
  - A. aumenta la carga.
  - B. disminuye la corriente de campo.
  - C. aumenta la velocidad del motor.
  - D. disminuye la fuerza contraelectromotriz.
  
6. Los motores compuestos tienen tanto:
  - A. devanados de C.A. como de C.D.
  - B. imanes permanentes como electromagnetos.
  - C. devanados de interpolos como de campo en el mismo núcleo.
  - D. devanados de campo en serie como en paralelo.

7. ¿En qué clase de motor de C.D. es más deficiente la regulación de la velocidad?
- A. En el motor compuesto.
  - B. En el motor en serie.
  - C. En el motor de imán permanente.
  - D. En el motor en derivación.
8. Los motores de C.D. consumen una alta corriente de armadura en el arranque debido a que:
- A. están produciendo la máxima potencia (HP).
  - B. la corriente en las bobinas de campo es mínima.
  - C. la fuerza contraelectromotriz es 0.
  - D. la resistencia de las escobillas al colector (conmutador) es la más baja.
9. Las bobinas de campo en un motor en derivación:
- A. son devanadas (enrolladas) con muchas vueltas de alambre fino.
  - B. tienen una resistencia baja, igual que la armadura.
  - C. llevan corriente que depende de la fuerza contraelectromotriz.
  - D. producen polos que se oponen entre sí.
10. Cuando se elimina la carga en un motor de C.D. en serie:
- A. el motor reduce la velocidad.
  - B. la velocidad del eje puede tornarse peligrosamente alta.
  - C. tanto la corriente de la armadura como la de campo descienden a 0.
  - D. aumenta rápidamente la torsión del motor.
11. La reducción del voltaje de campo en un motor en derivación:
- A. reducirá la torsión.
  - B. reducirá la corriente de la armadura.
  - C. aumentará la velocidad del motor.
  - D. aumentará la fuerza contraelectromotriz.
12. Para invertir un motor de C.D., se debe invertir la polaridad de:
- A. los interpolos.
  - B. la corriente tanto del campo como de la armadura.
  - C. la fuerza contraelectromotriz.
  - D. la combinación de armadura/interpolos.

# LECCION 3

## MOTORES DE C.A. (CORRIENTE ALTERNA)

### INTRODUCCION

Esta lección explica la construcción y la operación de los motores de corriente alterna. Se examinan las diferentes clases de motores de C.A., se comentan las características de velocidad y de torsión, y se introducen los principios del control de un motor de C.A.

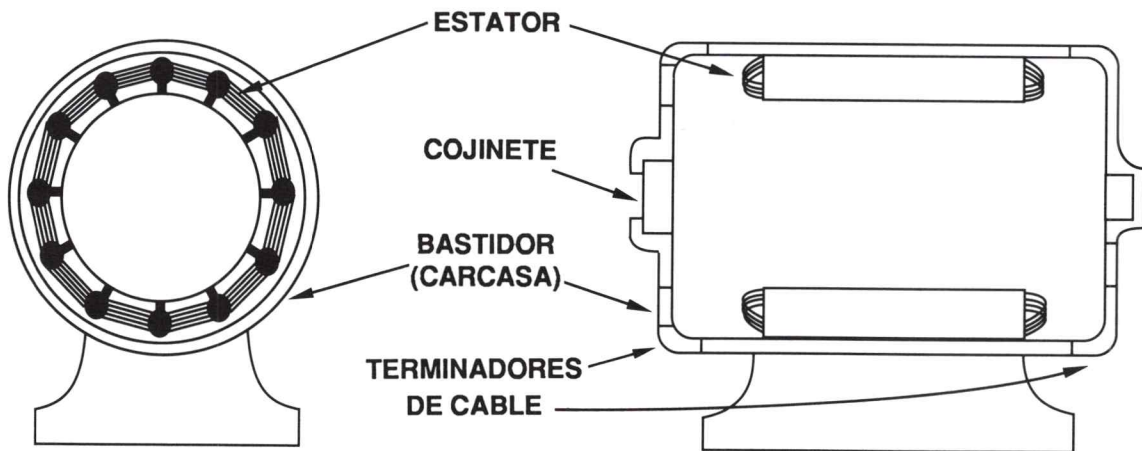
### OBJETIVO

Al terminar esta lección, usted debe ser capaz de:

- Describir la construcción de un motor de C.A. y explicar lo que hacen sus componentes.
- Explicar cómo se produce la torsión en un motor de C.A.
- Describir las características de velocidad y de torsión de las diferentes clases de motores de C.A.
- Definir la velocidad sincrónica, el momento máximo de torsión, el deslizamiento, la torsión con carga completa, la sobrecarga y el factor de potencia.
- Explicar cómo arrancan los diferentes tipos de motores monofásicos.
- Explicar cómo se invierte la marcha de los motores de C.A. y cómo es controlada su velocidad.

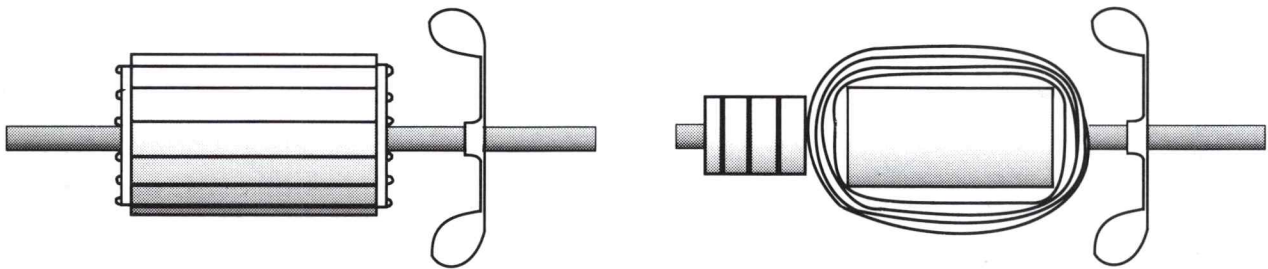
## CONSTRUCCION DE UN MOTOR DE C.A.

1. Las partes estacionarias de un motor de C.A. incluyen dos terminadores de cable ("end bells") en los que se montan los cojinetes, un bastidor (carcasa o "frame") y el estator.



El núcleo del estator, hecho de hierro laminado, es contínuo alrededor del motor en el interior del bastidor (carcasa). Los devanados son instalados en las ranuras cortadas en el estator y son conectados para 2, 4, 6 o más polos y para la corriente monofásica o trifásica.

2. El rotor de un motor de C.A. incluye un núcleo que, normalmente, consta de un cilindro de hierro laminado en un eje y conductores. Los conductores pueden ser, ya sea:



a) devanados, o

b) una jaula de anillos terminales en el núcleo del rotor conectados por barras de conductor en las ranuras u orificios que hay a través del núcleo.

Los rotores de C.A., con devanados, normalmente tienen anillos rozantes o de fricción o un colector para conducir corriente hacia o desde los devanados. Las escobillas están montadas sobre los anillos rozantes o de fricción o sobre el colector (conmutador).

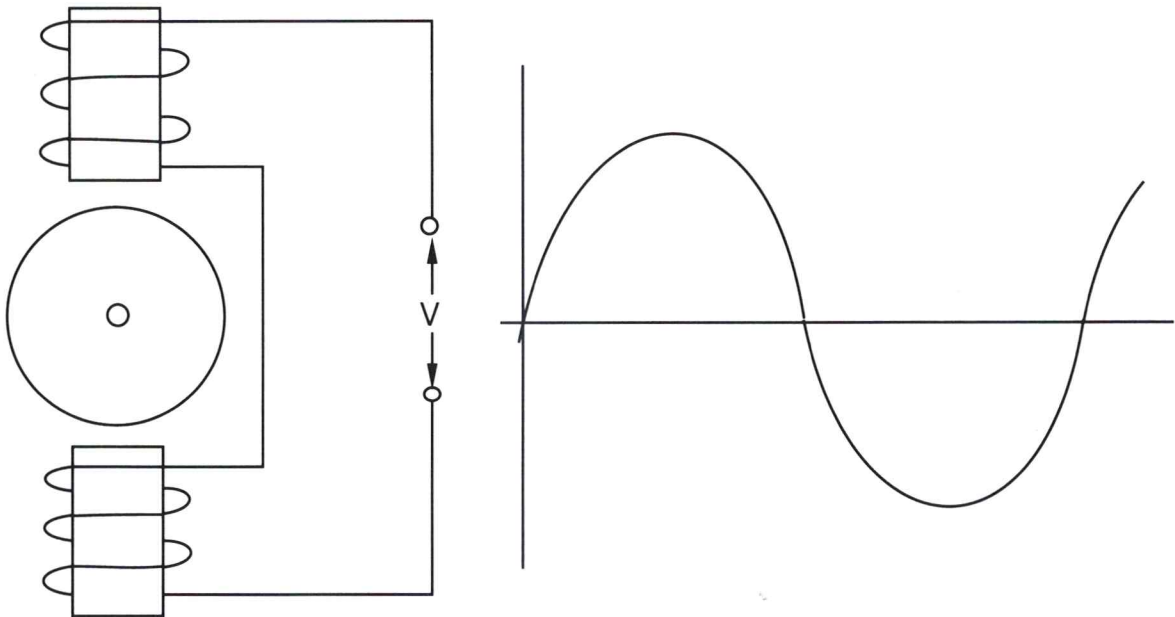
## OPERACION DE UN MOTOR DE C.A.

Algunos motores de C.A., conocidos como motores de CA - CD o Universales, son prácticamente motores de C.D. de devanado en serie y operan en la misma forma. El hecho de que la corriente se alterne tanto en el campo como en la armadura (inducido) al mismo tiempo, no afecta la operación. Sin embargo en los motores rectificadores de C.A. los principios de operación son bastante diferentes.

### Polos del Estator

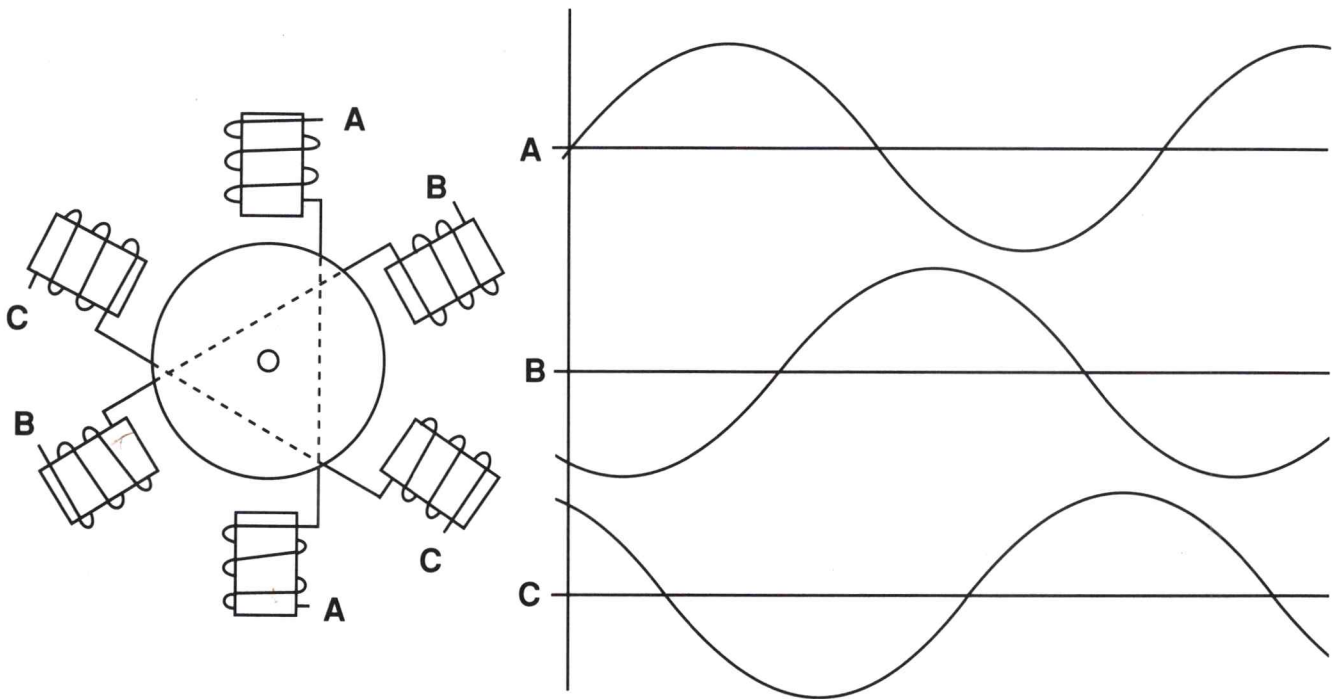
En todos los motores de C.A., los devanados del estator están conectados a la corriente alterna en las líneas de energía. Debido a que la corriente se alterna, normalmente 50 ó 60 veces por segundo, cada polo de estator alterna la polaridad a la misma frecuencia.

- a) Cuando la energía es una corriente alterna monofásica, todos los devanados de polos alternan la polaridad al mismo tiempo. En un motor de dos polos, hay dos devanados principales. Un devanado alterna de norte a sur a norte, mientras que el otro alterna de sur a norte a sur.



- b) Cuando la energía es una corriente alterna trifásica, cada fase está conectada a su propio grupo de devanados de polo. En un motor trifásico de dos polos, cada fase está conectada a dos devanados; en un motor de cuatro polos, cada fase está conectada a cuatro devanados y así sucesivamente.

Las corrientes en las tres fases no se alternan al mismo tiempo. Los devanados de polo de la fase A cambian su polaridad antes que los de la fase B y los devanados de polos de la fase B cambian su polaridad antes que los de la fase C. Debido a que los grupos de devanados de polos están espaciados alrededor del motor, las corrientes fuera de fase producen polos magnéticos que giran alrededor del motor.



### **EJERCICIO DE PRACTICA I**

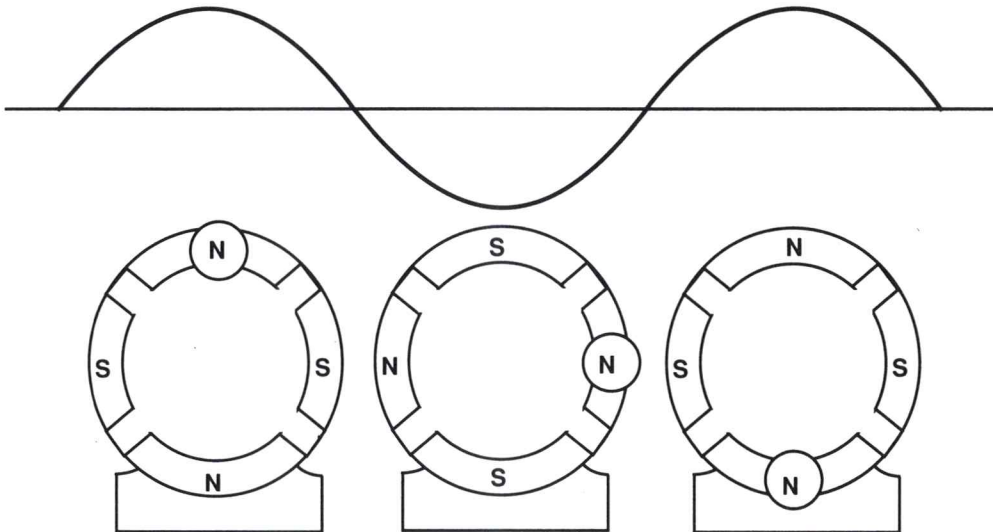
Si en un motor trifásico bipolar, la conexión con las fases B y C se invierte en forma accidental, los polos magnéticos del estator:

- a) no girarán.
- b) girarán en la dirección inversa.
- c) parecerán girar alrededor del motor a dos veces la velocidad normal.
- d) oscilarán de atrás hacia adelante.

## Velocidad Sincrónica

Los polos magnéticos de un motor trifásico giran a una velocidad que se fija por la frecuencia de la corriente alterna y por el número de polos en el estator. Esta velocidad constante se conoce como **Velocidad Sincrónica** del motor.

También puede considerarse que los polos magnéticos de un motor monofásico giran a la velocidad sincrónica, aún cuando, de hecho, sólo se están alternando.



Un polo magnético norte en un devanado parece brincar hacia el siguiente devanado alrededor del motor cuando la corriente se alterna a través del primer medio ciclo y, después, alrededor del siguiente devanado cuando la corriente termina un ciclo completo de C.A.

En un motor de dos polos, monofásico o trifásico, los polos magnéticos viajan una vez alrededor del motor cada vez que la corriente lleva a cabo un ciclo completo de C.A. En un motor de cuatro polos, cada ciclo de C.A. mueve los polos sólo a la mitad del recorrido alrededor del motor y en un motor de seis polos, sólo a través de una tercera parte del recorrido alrededor del motor.

La corriente alterna de 60 Hertz lleva a cabo 60 ciclos completos en cada segundo ó  $60 \times 60 = 3600$  ciclos por minuto. La corriente alterna de 50 Hertz lleva a cabo  $50 \times 60 = 3000$  ciclos por minuto.

Por lo tanto, la velocidad sincrónica de cualquier motor se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad Sincrónica en RPM} = \frac{\text{frecuencia de C.A.}}{\text{la mitad del número de polos}} \times 60$$

## EJERCICIO DE PRACTICA II

La velocidad de un motor de C.A. puede ser modificada cambiando la frecuencia de alimentación o reconectando los devanados del estator para producir un número diferente de polos de estator. Si un motor de 6 polos, 50 Hertz y 1000 RPM fuera reconectado para 12 polos y operado en 30 Hertz, tendría una velocidad sincrónica de:

- a) 300 RPM
- b) 1000 RPM
- c) 500 RPM
- d) 1200 RPM

### Polos de Rotor

Todos los motores deben tener polos de rotor y polos de estator. Hay varias formas de suministrarlos.

- a) En unos cuantos motores de C.A., el rotor es un imán permanente o se convierte en un imán al recibir el flujo del estator.
- b) En algunos motores de C.A., los polos de rotor son producidos por la corriente directa enviada a través de los devanados en el rotor.
- c) En los motores de C.A. más comunes, los polos del rotor son el resultado de las corrientes inducidas en los devanados del rotor o jaula por el flujo del estator.

## ROTACION DEL ROTOR Y DE LOS POLOS DEL ROTOR

Para que un motor ejerza torsión, el polo magnético del rotor debe estar siempre en una posición en que sea rechazado por el polo del estator detrás de él y atraído por el polo del estator delante de él. En otras palabras, un polo de rotor debe tener la misma polaridad que el polo del estator detrás de él y una polaridad opuesta al polo del estator que esta delante de él.

Debido a que los polos del estator en un motor de C.A. giran a la velocidad sincrónica o, al menos, se considera que así lo hacen, los polos del rotor deben también girar a la velocidad sincrónica para mantenerse al ritmo con los polos del rotor.

Aunque los polos magnéticos del rotor giran a la velocidad sincrónica con los polos del estator, en todos los motores de C.A. (excepto en los tipos de CA - CD), el propio rotor no necesariamente gira a la velocidad sincrónica.

La mayoría de los motores de C.A. pertenecen a alguno de los dos tipos siguientes:

- a) Motores sincrónicos.
- b) Motores de inducción.

En un motor sincrónico, el rotor y los polos del rotor están enclavados juntos con los polos del estator y, normalmente, giran a la velocidad sincrónica. En un motor de inducción, el rotor siempre gira algo más lentamente que la velocidad sincrónica de los polos del estator y del rotor.

## MOTORES DE INDUCCION

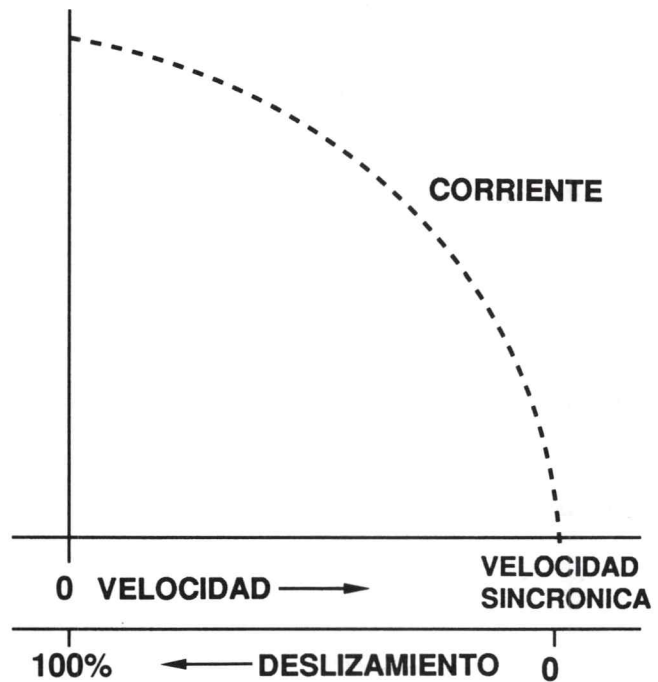
En un motor de inducción, se conoce como **deslizamiento** ("slip") a la diferencia de velocidad entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor. El deslizamiento normalmente es expresado como un porcentaje de la velocidad sincrónica. Por ejemplo, un deslizamiento de un 3% significa que el rotor está girando a  $100 - 3 = 97\%$  de la velocidad sincrónica.

Cuando el rotor se está deslizando o girando más lentamente que los polos magnéticos del estator las líneas de flujo de los polos del estator se mueven más allá de los conductores del rotor e inducen un voltaje en ellos. En el circuito cerrado del rotor fluirá una corriente.

El propio rotor no puede girar a la velocidad sincrónica debido a que cuando hay un deslizamiento de 0% los conductores del rotor giran con los polos del estator. Los conductores no pueden cortar a través de las líneas de flujo y ninguna corriente sería inducida en el rotor.

Cuando el deslizamiento es elevado, las altas corrientes del rotor fluyen debido a que las líneas de flujo se mueven rápidamente más allá de los conductores del rotor. Las corrientes del rotor son máximas cuando el deslizamiento es del 100% -- es decir, cuando el motor está ahogado o en el primer momento en que la energía es activada. Conforme aumenta la velocidad del rotor el deslizamiento disminuye y las corrientes del rotor bajan.

La corriente del estator, trazada aquí, es proporcional a la corriente del rotor debido a que un motor de inducción es como un transformador. Como sucede en un transformador, la corriente primaria y la secundaria (estator y rotor) están relacionadas. Por lo tanto, siempre que son inducidas las corrientes altas de rotor, el motor consumirá una corriente alta de las líneas de energía conectadas al estator.

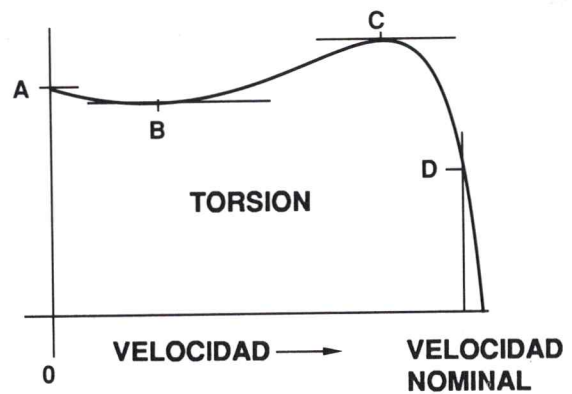


En los motores de inducción comunes de jaula de ardilla, la jaula actúa como devanados secundarios de vuelta simple, que están (juntos) en corto circuito. La relación de vueltas entre el estator y el rotor es alta; por lo tanto, el voltaje inducido en el rotor será bajo -- mucho más bajo que el voltaje de línea en los devanados del estator. Sin embargo, la corriente en el devanado secundario será alta y ésta es la razón por la que las barras del conductor a través del rotor y los anillos terminales que las conectan, son gruesas.

Aunque el rotor no gira a la velocidad sincrónica, las corrientes inducidas en el rotor de un motor de inducción producen polos de rotor que giran a la velocidad sincrónica junto con los polos del estator. Sin embargo, son desplazados entre los polos del estator, por lo que son rechazados por el polo del estator en la parte de atrás y atraídos al polo del estator en la parte de adelante y se deslizan sobre la superficie del rotor, atrayéndolo y dando como resultado la torsión.

Como en el caso de cualquier motor, la corriente alta produce la torsión alta. Sin embargo, la relación entre la torsión y la corriente no es tan simple como en un motor de C.D., debido a las reactancias inductivas cambiantes en el rotor conforme este aumenta la velocidad. Por lo tanto, la curva de torsión en el caso de un motor de inducción característico se ve bastante diferente a la curva de corriente.

En el arranque, el motor ejerce el **momento de torsión de parada (A)**. Conforme aumenta la velocidad del rotor, la torsión primero se desplaza vertical y ligeramente a un mínimo conocido como **momento mínimo de torsión de aceleración (B)** y después, se eleva al máximo, **momento máximo de torsión (C)**, antes de descender a la **torsión de carga máxima (D)** a la velocidad nominal del motor. Sin carga, el motor no ejerce torsión alguna.



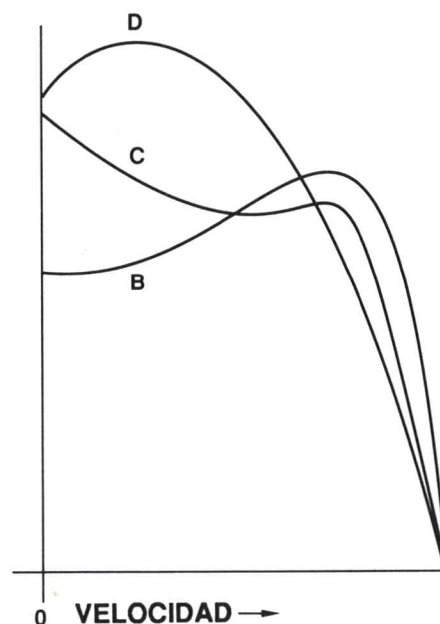
Toda carga que requiere más de la torsión de carga completa es una **sobrecarga**. Las sobrecargas disminuirán la velocidad de un motor de inducción bajo su velocidad nominal y harán que consuma más de la corriente de carga completa.

Debido a que tanto la corriente del estator, como la del rotor, dependen del voltaje de suministro, la torsión de un motor de inducción depende del voltaje de alimentación **al cuadrado**. Si desciende el voltaje hacia el estator, el voltaje del rotor descenderá en el mismo porcentaje. Debido a esto, los motores de inducción son sensibles al voltaje y corren el riesgo de ahogarse o quemarse cuando operan con bajo voltaje.

Por ejemplo, si el voltaje de alimentación al estator se reduce al 70% del voltaje normal, el motor producirá menos de la mitad (0.49) de la torsión normal debido a que el voltaje inducido del rotor también descenderá a 70%.  $0.7$  al cuadrado es  $0.49$ . Aún un voltaje de fase ligeramente bajo puede reducir seriamente la torsión que puede ejercer un motor de inducción trifásico.

## VARIACIONES

Los motores de inducción pueden ser contruidos con características diferentes cambiando la forma y, en consecuencia, la resistencia y la reactancia, de los conductores del rotor. Algunos motores producen una torsión máxima en la parada (curva C) o a baja velocidad (curva D). Su deslizamiento en la carga completa es superior. En general, las mejores características de arranque se ven contrarrestadas por un rendimiento o funcionamiento más deficiente a plena carga.



### **EJERCICIO DE PRACTICA III**

La mayoría de los motores de inducción de rotor devanado tienen resistores ajustables en el circuito del rotor. Al cambiar la resistencia cambia la corriente del motor y las características de la torsión. Es de esperar que el aumento en la resistencia:

- a) aumente el voltaje del estator.
- b) aumente el voltaje inducido en el rotor.
- c) cambie la velocidad sincrónica del motor.
- d) reduzca la corriente del rotor.

### **EJERCICIO DE PRACTICA IV**

Una forma fácil de medir el deslizamiento de un motor es pintando una marca en el eje y observándola bajo una luz estroboscópica, con ajuste a la frecuencia de línea, mientras el motor opera. Si el deslizamiento no es superior a 5 ó 6%, se deben poder contar las revoluciones por minuto.

Si la velocidad sincrónica de un motor de inducción de 60 Hertz es de 3600 RPM y bajo una luz estroboscópica el eje aparentemente gira 45 veces en un minuto:

- a) ¿Qué tan rápido está operando el motor?
- b) ¿Cuál es el porcentaje de deslizamiento?
- c) Si la velocidad nominal de un motor es de 3450 RPM, ¿Estará sobrecargado o subcargado dicho motor?

## MOTORES SINCRONICOS

El rotor de un motor sincrónico gira a la velocidad sincrónica. En otras palabras, el rotor, sus polos magnéticos y los polos del estator están enclavados juntos bajo las condiciones normales de operación. Cualquier motor de C.A. que tenga un rotor con imán permanente o cuyos polos del rotor sean el resultado de la C.D. en un devanado de rotor es un motor sincrónico.

La mayoría de los motores industriales grandes, sincrónicos, tienen polos de rotor producidos por C.D. en un devanado en el rotor.

En los motores Sincrónicos Excitados Independientemente, la C.D. proviene de una fuente en el exterior del motor y es traída al devanado del rotor por escobillas que se montan sobre los anillos rozantes o de fricción.

En los motores Sincrónicos de Autoexcitación, un generador integrado de C.D. que gira con el eje provee corriente directamente al devanado del rotor a través de conductores que giran con el eje. No son necesarias ni las escobillas, ni los anillos rozantes o de fricción.

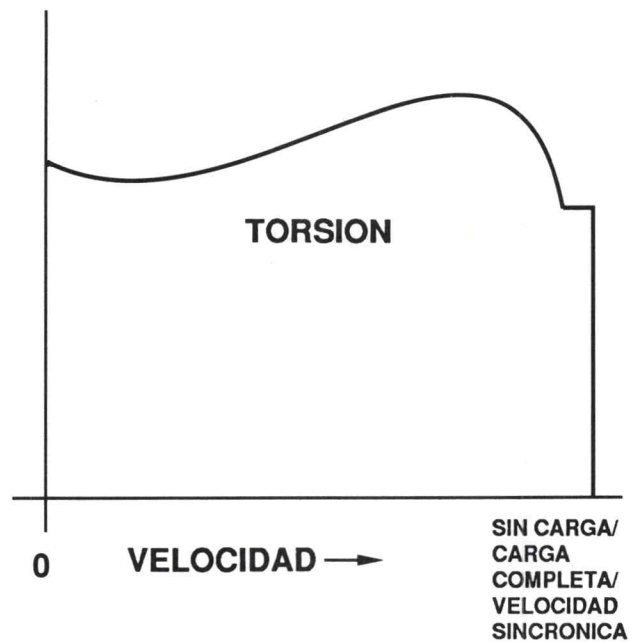
En ambos casos, los polos del rotor existen independientemente de la corriente en los devanados del estator y en los polos del estator. Debido a esto, los motores sincrónicos toleran mejor las variaciones de voltaje en la línea de C.A. y afectan sólo la resistencia de los polos del estator. Al mismo tiempo, debido a que no hay inducción de los polos del rotor a través del espacio de aire del rotor, los motores sincrónicos pueden operar en forma más eficiente que los motores de inducción con un espacio de aire más grande. Esto hace que su construcción sea menos costosa, en especial cuando se trata de los tamaños más grandes.

Los motores sincrónicos pueden operar como motres sincrónicos sólo a la velocidad sincrónica, cuando el rotor y sus polos ya están enclavados al ritmo de los polos giratorios del estator. Por lo tanto, un motor meramente sincrónico no podría arrancar a partir de cargas pasivas o aceleradas para alcanzar la velocidad sincrónica debido a que no desarrollaría torsión alguna en cualquier velocidad, excepto a la velocidad sincrónica.

Por lo tanto, la mayoría de los motores sincrónicos son hechos con conductores en el rotor en tal forma que las corrientes inducidas también puedan fluir en el rotor y el motor pueda arrancar y acelerar a partir del estado inactivo como un motor de inducción.

La curva de torsión de un motor sincrónico característico es similar a aquella de un motor de inducción típico, excepto que:

- a) la torsión de arranque y la torsión máxima son algo inferiores debido a que el motor opera ineficientemente como un motor de inducción y
- b) la curva de torsión es vertical a la velocidad de carga completa que es, también, la velocidad sincrónica.



Cuando un motor sincrónico está operando a la velocidad sincrónica, su regulación de velocidad es del 100%; es decir, la velocidad permanece constante conforme la carga varía. A medida que la carga aumenta, el motor consume más corriente del estator y desarrolla una torsión mayor, pero no reduce su velocidad sino hasta que la carga excede el momento mínimo de torsión de aceleración del motor. Entonces, el motor sale de la velocidad sincrónica debido a que el rotor y sus polos ya no pueden depender de los polos del estator y el motor debe operar como un motor de inducción.

Debido a que un motor sincrónico opera ineficientemente como un motor de inducción, el primero se sobrecalentará si debe operar durante largo tiempo a una velocidad inferior a la sincrónica. Por lo tanto, es importante que un motor sincrónico acelere y entre al sincronismo rápida y confiablemente.

Para que esto ocurra,

- a) no debe esperarse que el motor arranque una carga demasiado grande. Las altas cargas de inercia evitarán, en forma especial, que el rotor alcance la velocidad sincrónica.
- b) los polos del rotor deben tener su resistencia total. Todo defecto en las escobillas o en los anillos rozantes o de fricción de motores excitados en forma independiente o en el generador de un motor autoexcitado puede debilitar los polos del rotor y evitar el momento torsional de ajuste a sincronismo.

## FACTOR DE POTENCIA

Sólo parte de la corriente en las líneas que van hacia la mayoría de los motores de C.A. está en fase con el voltaje. Esto se debe a que la impedancia de un motor -- lo opuesto al flujo de corriente -- es parcialmente resistiva y parcialmente inductiva. En otras palabras, los devanados del motor tienen tanto resistencia como inductancia. La corriente en la parte resistiva de la impedancia de un motor está en fase con el voltaje. La corriente en la parte inductiva no está en fase.

El Factor de Potencia de un motor es la relación de la corriente en fase a la corriente total.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{I_{\text{resistencia}}}{I_{\text{Total}}}$$

Sólo la corriente que está en fase con el voltaje se convierte a vatios de energía real. Por lo tanto, el factor de potencia también es la relación de vatios al voltaje por la corriente (o voltios-ampères).

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Vatios}}{\text{voltios-ampères}}$$

El Factor de Potencia de un motor cambia con su velocidad. En el arranque, la corriente total es alta, pero sólo una parte pequeña de ésta está en fase con el voltaje. El factor de potencia es bajo. En cualquier momento que el motor está operando a una velocidad en la que está produciendo una salida de alta potencia, será alto su factor de potencia. La mayoría de la corriente total está en fase debido a que toma vatios para producir la potencia (HP) y los vatios requieren de corriente en fase.

El factor de potencia es una característica importante del motor por dos razones:

- a) Los servicios públicos normalmente cargan una prima por la corriente tomada de sus líneas a un factor bajo de potencia.
- b) El equipo que lleva corriente puede transmitir menos energía total cuando el factor de potencia es bajo. Un conductor determinado puede suministrar un cierto número de kilovatios a una carga con un factor de potencia de 1. Si el factor de potencia es inferior a 1, el mismo número de kilovatios requerirá una corriente más alta y conductores más grandes.

Hay dos formas comunes de elevar el factor de potencia:

- a) Capacitores conectados a través de las líneas de energía. Los capacitores cancelan la parte inductiva de la impedancia de un motor. Algunas plantas utilizan bancos de capacitores centralmente localizados. Otras utilizan capacitores en motores individuales.
- b) Motores sincrónicos "sobreeexcitados". El factor de potencia de los motores sincrónicos puede ser ajustado cambiando la corriente de excitación del rotor. El aumento de la corriente de excitación puede producir un factor de potencia de un motor sincrónico de 1.0 e, incluso, puede hacer que el motor actúe como un capacitor. Existen motores sincrónicos especiales para estas aplicaciones.

### **EJERCICIO DE PRACTICA V**

Suponga que un motor monofásico que opera a la carga y velocidad nominales totales tiene un factor de potencia de 0.9. La corriente medida en la línea es de 6 amperes a 230 voltios.

- a) ¿Cuántos vatios está consumiendo el motor?
- b) Si la eficiencia es del 80%, ¿Cuánta potencia (HP) está produciendo el motor?
- c) ¿Cuántos vatios está disipando el motor como calor?

### **MOTORES MONOFASICOS**

Conforme cada devanado en un motor monofásico alterna de norte a sur a norte, los devanados en ambos lados de aquél alternan de sur a norte a sur. Podemos pensar en esto como rotación a la velocidad sincrónica: un polo norte en un devanado se mueve hacia el siguiente devanado y, después, al siguiente conforme la corriente completa un ciclo de C.A. Pero podemos, también pensar que el polo se mueve hacia el siguiente devanado y, después, regresa al terminar el ciclo.

Sin embargo, debido a que sólo hay una corriente monofásica en un motor monofásico, todos los polos del motor se alternan al mismo tiempo -- al contrario de lo que sucede en un motor trifásico en el que hay una secuencia definida de corrientes y polos alrededor del estator, ABC o CBA.

Como resultado, en el arranque de un motor monofásico el rotor es atraído primero hacia un lado y luego hacia el otro conforme los polos se alternan. No tiene oportunidad de girar en cualquier dirección antes de que se inviertan los polos que lo atraen.

Debido a esto, la mayoría de los motores monofásicos deben tener devanados de estator especiales para atraer el rotor sólo en una dirección en el arranque.

Para producir la torsión de arranque y para asegurar que el rotor siempre arranque en la misma dirección, la mayoría de los motores monofásicos tienen un juego extra de devanados conocidos como **devanados de arranque**, arreglados en ángulo en relación con el juego principal. La corriente con cambio de fase es enviada a través de aquéllos y produce polos ligeramente antes o después de los polos producidos en el devanado principal y gira el rotor en una dirección.

Hay varios arreglos que se utilizan para enviar la corriente a los devanados de arranque.

### Fase Partida en Motores de Inducción

Los devanados de arranque de los motores de inducción con fase partida son devanados con alambre fino y tienen más resistencia que los devanados principales. Debido a la resistencia extra, hay una diferencia de fase entre la corriente en el devanado de arranque y la corriente en los devanados principales meramente inductivos.

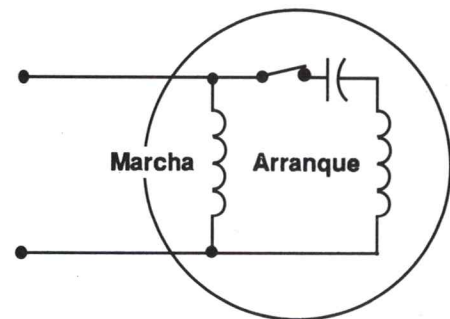
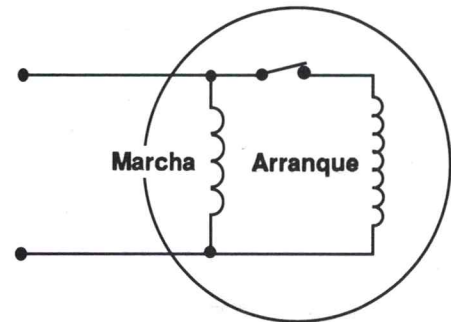
Un interruptor centrífugo abre el circuito del devanado de arranque tan pronto como el motor alcanza casi su velocidad total. Los devanados de arranque se quemarían si permaneciera activado el voltaje hacia ellos.

Los motores de inducción de fase partida consumen corriente alta durante el arranque. La torsión es bastante baja, por lo que los motores no pueden ser utilizados para el arranque de cargas pesadas.

### Arranque del Capacitor

El devanado de arranque en los motores de arranque del capacitor es enrollado como el devanado de marcha (arrollamiento de trabajo). Un capacitor en serie con el devanado de arranque provee un cambio de fase más completo. La torsión de arranque es superior y la corriente de arranque es inferior que aquélla de un motor de inducción de fase partida.

Nuevamente, un interruptor centrífugo abre el circuito de arranque. El capacitor grande electrolítico que se usa, con un valor alto, está destinado a ser utilizado sólo por breve tiempo y fallaría pronto si se dejara en el circuito.

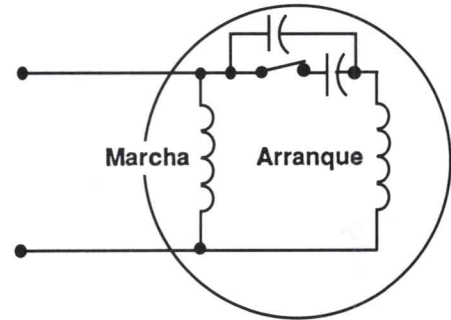


## Operación con Capacitor

Los motores que operan con un capacitor, también conocidos como motores PSC o de capacitor partido permanente, no tienen un interruptor centrífugo. Un capacitor de servicio continuo se conecta en serie, en todo momento, con los devanados de arranque o auxiliares. La torsión de arranque es bastante baja debido a que la capacitancia del capacitor es baja; pero el motor es simple, opera en forma silenciosa y sin problemas bajo carga y tiene un factor de potencia alto.

## Arranque/Operación con Capacitor

También conocidos como motores de capacitor de dos valores, estos motores combinan las ventajas de los motores de capacitor partido permanente y de arranque con capacitor. Ambos capacitores están conectados en paralelo para el arranque a alta torsión. El interruptor centrífugo corta sólo el capacitor electrolítico de valor grande, dejando el capacitor más pequeño de trabajo continuo en el circuito.



## Motor Monofásico de Inducción de Polos Sombreados

El devanado de arranque en un motor monofásico de inducción consiste de una o dos vueltas con corto, de alambre pesado, alrededor de un lado del núcleo del polo del estator. La corriente inducida en él produce los polos algún tiempo después de que la corriente en el devanado del estator produce el polo principal del estator. El rotor es atraído hacia el polo sombreado y empieza a girar en esa dirección. Estos motores se hacen sólo en tamaños pequeños. La torsión de arranque es baja y la eficiencia del motor es deficiente.

## Motores de Inducción/Arranque por Repulsión

Hay varios tipos de motores de repulsión y de arranque por repulsión que utilizan un rotor devanado con un colector y escobillas. Las escobillas son puestas en corto y son colocadas en tal forma que la corriente inducida en el rotor produzca polos que son cambiados alrededor del motor desde el punto en donde normalmente estarían. Esta desviación hace que el rotor gire en una dirección.

Estos motores proveen torsión de arranque muy alta con corriente baja. La velocidad del motor puede ser controlada cambiando la posición de las escobillas. A pesar de estas ventajas, los motores de arranque por repulsión se han visto reemplazados en forma importante con tipos más modernos que son menos caros y no requieren de mantenimiento alguno de las escobillas.

## Motores de CA - CD o Universales

Los motores de CA - CD o Universales son básicamente motores de C.D. con devanado en serie. Otros tipos de motores de C.D. no operarán con C.A.

Cuando las escobillas son accionadas con C.A., presentan algo más de chispas y su eficiencia es algo inferior a las accionadas con C.D.

Las características del motor son como aquéllas de un motor de C.D. en serie: una torsión de arranque muy alta y velocidad alta sin carga. La regulación deficiente de la velocidad es, con frecuencia, una ventaja en las aplicaciones tales como las herramientas mecánicas portátiles -- un taladro debe reducir su velocidad al girar una fresa grande.

## EJERCICIO DE PRACTICA VI

Un motor común de inducción de jaula de ardilla y arranque con capacitor, zumba fuertemente pero no arranca ni siquiera al ser desconectado de su carga. Cuando es girado manualmente en cualquier dirección, alcanza su velocidad y opera normalmente. En este caso es de sospecharse: (una o más de las siguientes situaciones).

- A. una fase muerta.
- B. un interruptor centrífugo atorado en la posición abierta.
- C. que no se abre el interruptor centrífugo.
- D. que el capacitor tiene un corto.
- E. que el capacitor está abierto.
- F. que hay un contacto malo entre la escobilla y el anillo rozante o de fricción.
- G. que el devanado del rotor tiene un corto.
- H. que el devanado de arranque está quemado.

## CONTROLES DE MOTORES DE C.A.

### Inversión

- Los motores trifásicos -- intercambian cualesquiera conexiones de dos fases, normalmente las fases A y C.
- Los motores de fase partida y todos los tipos de motores de arranque con capacitor -- intercambian las conexiones hacia los devanados de arranque o los devanados de operación o marcha.
- Los motores universales -- intercambian las conexiones hacia el campo o la armadura (inducido).
- Los motores de arranque por repulsión -- cambian la posición de las escobillas.
- Los motores monofásicos de inducción de polos sombreados -- normalmente no pueden invertirse.

### Frenaje

- Motores de inducción -- se aplica C.D. a uno o más de los devanados del estator. La corriente inducida en los conductores del rotor giratorio produce polos de rotor estacionarios que tratan de aferrarse a los polos estacionarios del estator. La torsión de frenaje disminuye conforme el rotor disminuye su velocidad.

### Control de Velocidad

- Motores de rotor devanado -- ajuste la resistencia del circuito del rotor.
- Motores universales -- ajuste el voltaje de alimentación.
- Motores de arranque por repulsión -- ajuste la posición de las escobillas.
- Todo tipo de motores de inducción y sincrónicos -- ajuste la frecuencia del suministro de C.A.

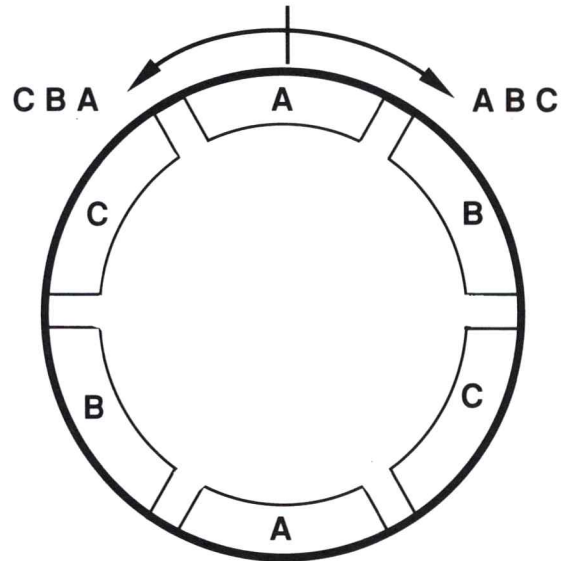
Actualmente existen muchas unidades de control empaquetadas que toman C.A. de la frecuencia de línea, la rectifican a una C.D. de voltaje variable y, después, vuelven a convertir la C.D. en frecuencia variable y C.A. de voltaje. Estos sistemas proveen un arranque controlado y, también, una velocidad y torsión ajustables a partir de un motor de C.A. Sin embargo, dependen de una circuitería compleja de estado sólido y deben ser apropiadamente acoplados a un motor de acuerdo con la aplicación de que se trate.

NO intente ajustar la velocidad de los motores sincrónicos o de inducción cambiando el voltaje de alimentación. La operación será inestable e ineficiente y podría dañarse el motor.

## RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS DE PRACTICA:

### Respuesta al Ejercicio de Práctica I

- b) Los polos del estator girarán en la dirección inversa. La dirección de rotación de los motores trifásicos es invertida intercambiando dos de los tres conductores. Al invertir las fases B y C se invierte la secuencia de fases de ABC a ACB. Por lo tanto, un polo norte que arranca en el devanado A, en vez de moverse hacia la derecha hacia B y, después, hacia C, se moverá hacia la izquierda hacia C y, después, hacia B.



Los polos del estator en un motor trifásico siempre parecen girar, en una u otra dirección, mientras las tres fases estén conectadas a los devanados (a). Para hacer girar los polos a una velocidad que sea dos veces la velocidad normal (c) cada par de devanados adyacentes deben ser conectados juntos para combinar sus polos; esto reduciría el número de polos a la mitad. No hay forma de hacer oscilar los polos hacia atrás y hacia adelante (d).

### Respuesta al Ejercicio de Práctica II

- a) 300 RPM. El doblar el número de polos reduce a la mitad la velocidad (500 RPM). El operar con 30 Hertz en vez de con 50 Hertz reduce la velocidad todavía más a  $500 \times 30/50 = 300$  RPM.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica III

- d) El incrementar la resistencia del circuito del rotor normalmente disminuye la corriente inducida en el rotor. También cambia la relación de fases del estator y las corrientes del rotor para aumentar la torsión de arranque del motor y reducir la corriente de arranque.

El voltaje del estator (a) es el voltaje de línea que es fijado por la fuente de energía. El voltaje inducido en el rotor (b) depende de cuán rápido esté girando el rotor en relación con el campo giratorio del estator y de la resistencia del campo del estator, no de la resistencia del circuito del rotor. La única forma de cambiar la velocidad sincrónica de un motor (c) es cambiar la frecuencia del suministro o el número de polos del estator.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica IV

- a) Un eje que parece girar 45 veces en un minuto bajo una luz estroboscópica está realmente girando a  $3600 - 45 = 3555$  RPM.
- b) El deslizamiento de un motor que opera a 3555 RPM es de  $45/3600 \times 100 = 1.25\%$ .
- c) Si un motor gira más rápido que a su velocidad nominal en su voltaje nominal, debe estar subcargado; normalmente, los motores reducen su velocidad conforme aumenta la carga en ellos.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica V

- a) Un motor que consume 6 amperes a 230 voltios está consumiendo  $6 \times 230 = 1380$  voltios-amperes. Un factor de potencia de 0.9 significa que  $1380 \times 0.9 = 1242$  vatios están siendo utilizados.
- b) Con una eficiencia de 80%,  $1242 \text{ vatios} \times 0.8 = 994$  vatios están siendo convertidos en caballos de fuerza (potencia). Debido a que 1 caballo de fuerza = 746 vatios, el motor está produciendo  $994/746 = 1.33$  caballos de fuerza.
- c) Los vatios que no son convertidos en caballos de fuerza son convertidos en calor. Por lo tanto,  $1242 - 994 = 248$  vatios están siendo disipados como calor.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica VI

- b) Un interruptor centrífugo que está atorado en la posición abierta desactivará el circuito de arranque y evitará el arranque normal. Un capacitor abierto (e) tendrá el mismo efecto que un devanado de arranque quemado (h). Es probable que un motor con un capacitor en corto (d) tampoco arranque, aunque operaría en forma normal si se girara lo suficientemente rápido para abrir el interruptor centrífugo.

Un motor de arranque con capacitor es un motor monofásico; una fase no puede estar muerta (a), debido a que sólo hay una fase. No hay escobillas ni anillos rozantes o de fricción (f) ni devanados de rotor (g). Un interruptor centrífugo que no se abre (c) permitiría que el motor arrancara en la forma normal, aunque es posible que disparara sus disyuntores de sobrecarga bastante rápido debido a que el devanado de arranque continuaría consumiendo alta corriente.

## REPASO FINAL

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los enunciados presentados a continuación.

1. Los motores monofásicos de C.A. difieren de los motores trifásicos porque:
  - A. tienen rotores devanados.
  - B. no pueden ser invertidos.
  - C. requieren de circuitos de arranque.
  - D. operan más lentamente.
  
2. La velocidad sincrónica de un motor de C.A. se determina por la frecuencia de C.A. y el número de:
  - A. polos de estator.
  - B. vueltas de alambre en los devanados del estator.
  - C. conductores de rotor.
  - D. fases de C.A.
  
3. La diferencia principal entre los motores de inducción y los motores sincrónicos es:
  - A. la forma en la que el estator es devanado.
  - B. la forma en la que se produce la torsión de arranque.
  - C. la rapidez con la que los polos giran.
  - D. que un motor de inducción opera a una velocidad inferior a la sincrónica.
  
4. Mientras más polos tiene un motor de C.A.:
  - A. más lentamente opera.
  - B. ejerce menor torsión.
  - C. desarrolla más energía.
  - D. opera más rápido.
  
5. Los motores de inducción de C.A. de velocidad múltiple tienen:
  - A. alambres puente para poner en corto números diferentes de polos de estator.
  - B. resistores en serie con devanados diferentes.
  - C. convertidores integrados de frecuencia.
  - D. devanados que pueden ser conectados a un número diferente de polos.

6. Un rotor de jaula de ardilla:
- A. requiere de anillos rozantes o de fricción y de escobillas.
  - B. tiene dos anillos terminales aislados entre sí.
  - C. lleva corriente muy alta.
  - D. tiene un conductor para cada polo de estator.
7. La torsión más alta que desarrolla un motor característico de inducción de jaula de ardilla es su:
- A. torsión de carga completa.
  - B. máxima torsión de aceleración.
  - C. torsión de parada.
  - D. torsión mínima de arranque.
8. Los motores de inducción tienden, en particular, a:
- A. presentar una velocidad excesiva y pueden ser dañados si son operados sin carga.
  - B. ahogarse con el voltaje bajo.
  - C. salirse de la velocidad sincrónica.
  - D. sobrecalentarse cuando son operados a una carga inferior a la completa.
9. Mientras mayor es el deslizamiento de un motor de inducción:
- A. consume más corriente.
  - B. produce menos torsión.
  - C. opera más frío.
  - D. es más alta su velocidad.
10. El factor de potencia de los motores de inducción normalmente es:
- A. cerca de 1.0 a todas las velocidades.
  - B. el más bajo a plena carga.
  - C. siempre superior a 1.0.
  - D. bajo cuando el motor está arrancando.

11. El propósito del interruptor centrífugo en los motores monofásicos es:

- A. evitar el cambio repentino de dirección de un motor en marcha.
- B. proteger los devanados contra las sobrecargas.
- C. permitir que el motor sea arrancado en cualquier dirección.
- D. desconectar el devanado de arranque conforme el motor acelera.

12. El resistor ajustable en el circuito del rotor de un motor de inducción con rotor devanado permite:

- A. la máxima eficiencia en la carga plena.
- B. cambiar la velocidad del motor y la torsión de arranque.
- C. ajustar la velocidad sincrónica.
- D. eliminar el deslizamiento.

Haga concordar la descripción de cada motor con uno de los siguientes motores:

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| a) de inducción y fase partida | d) de arranque con capacitor |
| b) universal o de CA - CD      | e) sincrónico                |
| c) trifásico, de inducción     | f) repulsión-inducción       |

13. Opera a la velocidad constante bajo cargas variables \_\_\_\_\_.

14. Monofásico del tipo común con una buena torsión de arranque \_\_\_\_\_.

15. Velocidad alta sin carga, alta torsión de arranque, fácil regulación de velocidad, requiere de colector y escobillas \_\_\_\_\_.

# LECCION 4

## PLACAS DE IDENTIFICACION DE MOTORES

### INTRODUCCION

Esta lección explica los datos que se encuentran en la placa de fábrica de un motor y en el catálogo del fabricante de motores. Ahí se especifica el tipo del bastidor (carcasa) del motor y sus características mecánicas, las características de entrada y salida, y las condiciones bajo las cuales debe operar el motor. La lección también comenta los procedimientos de instalación y montaje del motor.

### OBJETIVOS

El programa de video y la lección de la guía de estudio están diseñados para que usted pueda:

- Explicar los datos que aparecen en la placa de fábrica de un motor.
- Reconocer cuándo un motor opera en condiciones que no le son adecuadas.
- Determinar cuándo los circuitos de alimentación y los dispositivos de protección requieren de modificación para un motor de repuesto.
- Reconocer aquellos motores que requieren de atención de mantenimiento especial en una aplicación particular.
- Instalar y conectar un motor en la forma apropiada.

## **EJERCICIO DE PRACTICA I**

Un motor de 3 HP ha venido accionando, en forma satisfactoria, un compresor de aire de 4 HP. Recientemente, se conectó otro tanque de pintura al tanque de aire alimentado por el compresor. El motor del compresor, que había estado llevando a cabo su ciclo de encendido/apagado, ahora opera en forma continua y se sobrecalienta. El problema básico es que el motor:

- a) no puede producir un momento o fuerza de torsión suficiente para accionar el compresor.
- b) no puede disipar el calor mientras está funcionando.
- c) está operando demasiado rápido.
- d) está produciendo más de su potencia (caballos de fuerza) nominal.

## **VELOCIDAD**

La velocidad mencionada en la placa de fábrica es:

- a) la velocidad aproximada a la cual un motor de inducción produce su potencia nominal.
- b) la velocidad normal de operación de un motor sincrónico.
- c) la velocidad "base" aproximada de un motor de C.D. Los motores de C.D. operarán a una velocidad superior a la velocidad base al reducir la corriente de campo y a una velocidad inferior al reducir el voltaje de la armadura (inducido).

La mayoría de los motores reducirán su velocidad conforme aumenta su carga. Los motores con una regulación deficiente de la velocidad (motores de C.D. en serie o motores de CA-CD) cambian mucho su velocidad cuando la carga cambia. Los motores con una buena regulación de velocidad (la mayoría de los motores de C.D. en derivación y de inducción) mantienen una velocidad más constante conforme la carga cambia. Los motores sincrónicos operan a la velocidad sincrónica desde la condición sin carga hasta que llevan una sobre carga considerable; sin embargo, cuando la torsión de carga se incrementa más allá de un cierto punto, su velocidad desciende repentinamente.

En algunos motores, la placa de fábrica indicará la velocidad sin carga aproximada. En ocasiones, se encontrará el rango de velocidad de operación aceptable del motor. A menudo, la velocidad mínima mencionada depende de la capacidad de enfriamiento del motor. Ningún motor cuyo enfriamiento dependa de un ventilador impulsado por eje debe ser operado a una velocidad demasiado baja.

## **CORRIENTE DE CARGA COMPLETA (FLA)**

Los motores consumen corriente de carga completa cuando producen su potencia nominal. A la corriente de carga completa se hace referencia, en la placa de fábrica, como "FLA" ("Full Load Amperage" o "Amperaje de Carga Completa"). Bajo una carga ligera o sin carga los motores consumen menos del Amperaje de Carga Completa y bajo condiciones de sobrecarga consumen más de dicho amperaje.

El Amperaje de Carga Completa indicado en la placa de fábrica de los motores trifásicos es la corriente en cada conductor de fase. Para que el motor opere en la forma apropiada, la lectura del amperaje en cada conductor de fase debe ser igual, si acaso con una diferencia porcentual muy pequeña.

La corriente de carga completa es un factor importante al seleccionar los alimentadores correctos del circuito derivado, los conductores del circuito derivado y el equipo de protección, los contactores del motor y el equipo de control.

Los disyuntores de protección contra sobrecarga ("overload breakers" o "OLs"), en el equipo de arranque y control del motor, deben ser también los adecuados para el amperaje de carga completa. Dichos disyuntores protegen al motor contra el sobrecalentamiento detectando el calor que la corriente del motor genera en un elemento de calentamiento de baja resistencia. El calor depende de la corriente. Cuando la corriente es demasiado alta, durante mucho tiempo, un interruptor térmico abre el circuito de control del motor y para el motor. Con frecuencia el interruptor es ajustable dentro de un rango limitado y se cuenta con diferentes elementos de calentamiento para que los dispositivos de protección contra sobrecarga puedan ser calibrados para acoplarse al amperaje de carga completa de diferentes motores.

*Al reemplazar un motor con otro, hay que asegurarse de verificar el amperaje de carga completa indicado en la placa de fábrica:*

- a) si el motor de repuesto consume más corriente que el motor anterior, será necesario recalibrar los disyuntores de protección contra sobrecarga para que se disparen con una corriente más alta y evitar su disparo inapropiado. Es posible que también se necesiten conductores, fusibles y equipo de control del motor más grandes.
- b) si el motor de repuesto consume menos corriente que el motor anterior, los disyuntores de protección contra sobrecarga deben ser recalibrados para dispararse con menos corriente. Sin embargo, serán independientes los ajustes de los dispositivos de protección de circuito y del equipo de control.

## CODIGO

La letra Código ("code") que aparece en una placa de fábrica permite el cálculo de la Corriente de Rotor Enclavado.

Un motor consume su Corriente de Rotor Enclavado ("Locked Rotor Current" o "LRA") cuando se aplica el voltaje sin que el rotor gire, como en el arranque o cuando la carga se vuelve tan grande que el motor se ahoga. La corriente de rotor enclavado de muchos motores es 4 ó 5 veces el amperaje de carga completa. Algunos motores consumen más de 10 veces el amperaje de carga completa en el arranque y cuando se ahogan.

Normalmente, un motor consume su amperaje de carga completa en forma tan breve que los disyuntores no se disparan ni se queman los fusibles. Sin embargo, la corriente alta en los motores, aún cuando sea breve, puede causar problemas:

1. Las compañías de servicio eléctrico frecuentemente incluyen cargos extras por las corrientes excesivas que son tomadas de sus líneas.
2. La corriente alta a través de las líneas de energía hace descender el voltaje que va hacia cualquier elemento conectado a las mismas. La intensidad de la luz baja y algunos motores pueden atascarse o tener dificultad para arrancar.

Claramente se prefieren los motores que consumen una corriente baja con rotor enclavado.

letra código ("code letter")	rotor enclavado kva por caballo de fuerza ("locked-rotor kva per horsepower")
A	0 - 3.15
B	3.15 - 3.55
C	3.55 - 4.0
D	4.0 - 4.5
E	4.5 - 5.0
F	5.0 - 5.6
G	5.6 - 6.3
H	6.3 - 7.1
J	7.1 - 8.0
K	8.0 - 9.0
L	9.0 - 10.0
M	10.0 - 11.2
N	11.2 - 12.5
P	12.5 - 14.0
R	14.0 - 16.0
S	16.0 - 18.0
T	18.0 - 20.0
U	20.0 - 22.4
V	22.4 - and up

Muchas veces, el conocer la corriente de rotor enclavado o LRA de un motor es crucial para el dimensionamiento de los disyuntores de circuito ("circuit breakers") y de otro equipo que lleva corriente. La tabla relaciona la letra código que aparece en la placa de fábrica con los amperes-kilovoltios del rotor enclavado por caballo de fuerza. Para calcular la corriente de rotor enclavado de un motor, multiplique las cifras de la tabla por la potencia nominal del motor y divida el resultado entre los kilovoltios aplicados.

Cuando un motor tiene una letra código que está más adelante en el alfabeto que la letra código a la que está reemplazando, puede quemar los fusibles o disparar los disyuntores durante el arranque.

#### Ejemplo:

Un motor con una potencia de 50 caballos de fuerza que opera a 575 voltios tiene una letra código G en su placa de fábrica. ¿Cuánta corriente consumirá en el arranque?

G corresponde a entre 5.6 y 6.3 Kva por caballo de fuerza. Al multiplicar por la potencia, 50, se obtienen de 280 a 315 Kva. Al dividir entre 0.575 kilovoltios (el voltaje de operación) se obtiene una corriente de rotor enclavado que fluctúa entre 487 y 548 amperes.

## **VOLTAJE**

A menudo, los motores de C.D. tienen un régimen para los diferentes voltajes de armadura (inducido) y de campo o para un rango de voltajes de campo (suponiendo que la velocidad del motor sea controlada ajustando el voltaje de campo).

El voltaje de alimentación mencionado para los motores de C.A. es voltaje completo que el motor necesita a la frecuencia de C.A. mencionada para producir su salida de potencia nominal.

Debido a las pérdidas de transmisión de la línea, es probable que el voltaje real en cualquier motor sea algo inferior al voltaje nominal de alimentación del sistema.

Debido a esto, el voltaje mencionado en la placa de fábrica es ligeramente inferior a los voltajes nominales de alimentación. Por ejemplo, es probable que el régimen que se asigne a un motor nuevo que se va a conectar a un suministro de corriente alterna de 480 voltios, sea de 460 voltios. A la mayoría de los motores de C.A. construidos antes de la mitad de la década de 1960, época en que entraron en vigor nuevas normas, se les asignaba un régimen de servicio de voltajes relativamente inferiores (característicamente de 110/220/440V) a aquéllos que fueron construidos posteriormente (115/230/460v).

Dependiendo de la carga total del sistema de alimentación, el voltaje de un motor puede variar de vez en cuando. Los motores son construidos para operar con voltajes que difieren alrededor de un 10% por arriba o por abajo del voltaje indicado en la placa de fábrica.

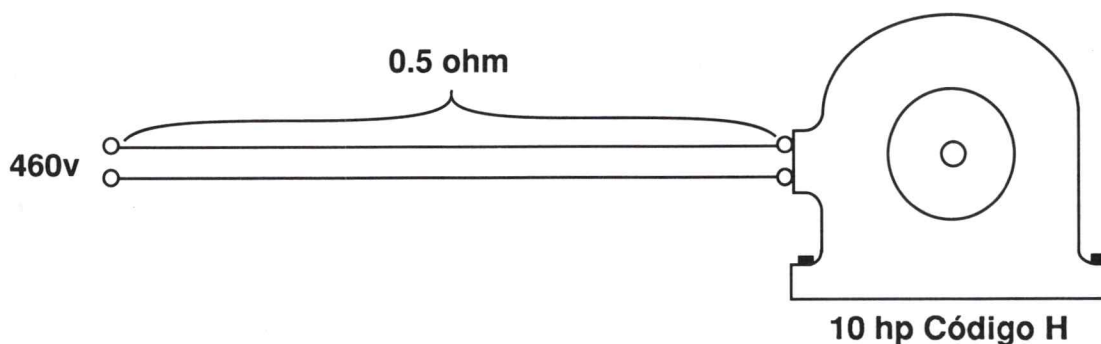
Cuando el voltaje real en las terminales del motor de un motor conectado directamente a las líneas es superior a un 10% arriba o debajo del voltaje indicado en la placa de fábrica, hay posibilidad de que surjan problemas:

1. Los motores de inducción y los motores de C.D. reducen un tanto su velocidad cuando el voltaje fluctúa y hay posibilidades de que disminuyan la potencia y la torsión máximas disponibles de un motor.
2. Hay más probabilidades de que los motores sincrónicos se desincronicen con el voltaje bajo.
3. Hay más posibilidades de que los motores de inducción se ahoguen bajo la carga pico o de que no arranquen con el voltaje bajo.
4. Por lo general, la eficiencia y el factor de potencia de un motor bajan con el voltaje alto o bajo.
5. Algunos motores que impulsan ciertos tipos de cargas, consumirán más corriente cuando el voltaje es demasiado bajo. Otros consumirán más corriente cuando el voltaje es demasiado alto. De acuerdo con la ley de Ohm, la corriente del motor no está relacionada directa y simplemente con el voltaje. La corriente alta hacia un motor producirá el sobrecalentamiento sin importar que el voltaje sea alto o bajo.

*No conecte un motor al voltaje equivocado, ni espere que produzca su salida nominal con voltaje alto o bajo.*

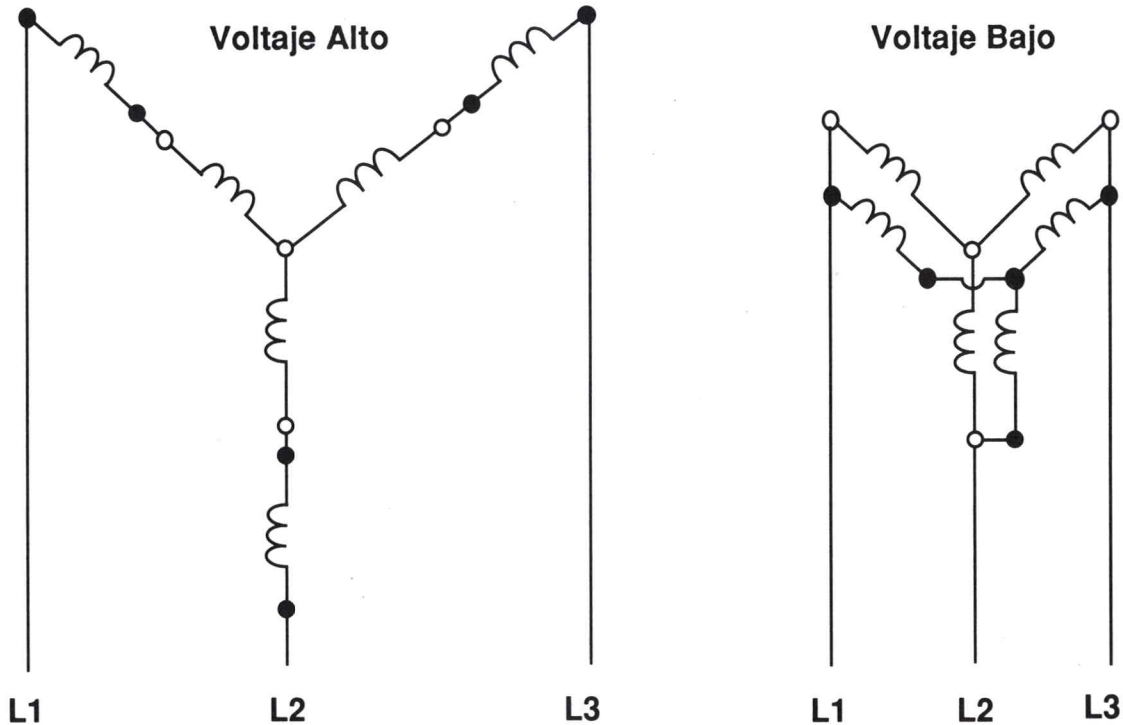
## **EJERCICIO DE PRACTICA II**

Un motor monofásico, de 460 voltios, una potencia de 10 caballos de fuerza y un código H, es accionado por medio de líneas de energía que tienen una resistencia total de 0.5 ohms. El motor necesita, por lo menos, 370 voltios para arrancar. ¿Arrancará?



## MOTORES DE VOLTAJE DOBLE

Muchos motores están devanados en tal forma que puedan ser conectados a cualquiera de dos voltajes, uno de los cuales es del doble del otro. Al instalar el motor, los devanados del motor son conectados en serie cuando hay un voltaje alto y en paralelo cuando hay un voltaje bajo.



La placa de fábrica puede especificar el voltaje en la siguiente forma: "208-230/460". Esto significa que el motor puede ser conectado a 230 ó 460 voltios. El fabricante también aprueba el uso del motor con 208 voltios cuando éste está conectado para 230 voltios.

*No conecte un motor a una fuente de voltaje para el que no esté aprobado.*

Cuando se mencionan dos o más voltajes, las dos o más corrientes indicadas corresponden a los voltajes. La corriente más alta corresponde al voltaje más bajo. Debido a que la corriente será menor, pueden utilizarse equipo de arranque y conductores más pequeños y más baratos para el voltaje más alto.

*Asegúrese de que todos los dispositivos de protección de circuitos y contra sobrecarga tengan el tamaño adecuado para la corriente nominal al voltaje utilizado.*

## EFICIENCIA

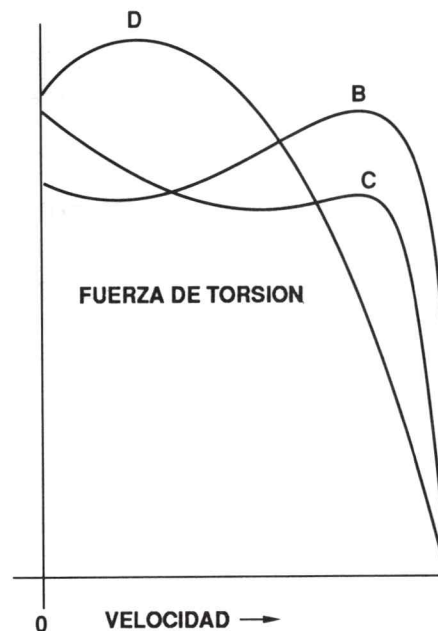
La placa de fábrica en muchos motores modernos incluye un régimen de eficiencia a plena carga. La figura sirve para hacer una comparación entre motores. Un motor que opera bajo una carga muy ligera o bajo condiciones de sobrecarga será menos eficiente de lo indicado.

Muchos fabricantes ofrecen una línea de motores de primerísima eficiencia. Estos consumen menos amperaje de carga completa que los motores estándar a su salida nominal. En comparación con un motor de eficiencia estándar, con la misma potencia (caballos de fuerza), tendrán más hierro y cobre y pueden tener un espacio de aire menor entre el rotor y el estator.

Asegúrese de recalibrar los disyuntores de protección contra sobrecarga al reemplazar un motor estándar con un modelo de alta eficiencia. Los disyuntores de protección contra sobrecarga ("OLs") deben dispararse a un nivel de corriente inferior para proteger el motor en forma adecuada.

## DISEÑO NEMA

La NEMA, Asociación Nacional de Fabricantes de Elementos Eléctricos, ha estandarizado las curvas de operación características en el caso de los motores de inducción trifásicos.



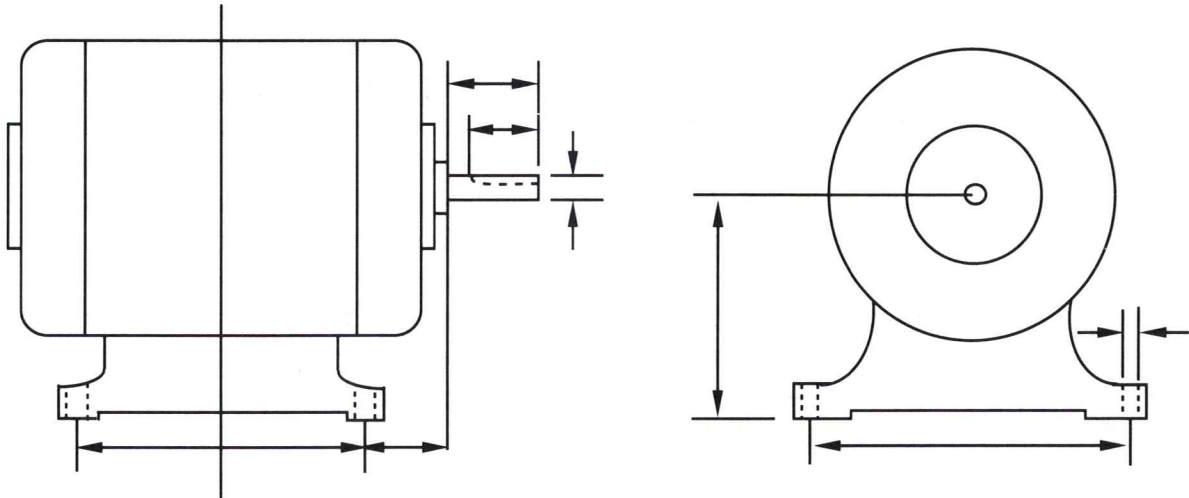
La diferencia principal entre los diseños de la NEMA es la forma de los conductores del rotor de jaula de ardilla. Normalmente, estos conductores están empotrados en partes donde no pueden verse en el núcleo del rotor; por lo tanto, no hay forma de determinar su diseño al observar el motor.

Los motores del diseño C ó D son utilizados para las aplicaciones de arranque difícil, debido a que producen un momento de torsión de arranque superior, por ampere, que aquél que produce el motor más común del diseño B. Sin embargo, se deslizan un poco más y son menos eficientes que un motor de diseño B a la velocidad constante.

*Asegúrese de que un motor de repuesto tenga el mismo diseño NEMA que el motor al que está substituyendo.*

## TAMAÑO DEL BASTIDOR O "FRAME" NEMA

La NEMA también ha estandarizado las dimensiones mecánicas de montaje de muchos motores, tanto en lo que se refiere a los tamaños fraccionales (menores a 1 HP) como a aquéllos integrales (superiores a 1 HP).



Las dimensiones principales cubiertas por las normas son el diámetro del eje, la longitud del eje, la superficie plana del eje o chavetero, la brida ("flange") o pie de montaje y la relación entre el eje y la superficie/agujeros de montaje.

Las normas no cubren otras dimensiones del motor; el diámetro, la longitud y la forma variarán de acuerdo con los diferentes fabricantes.

Las letras después del número básico del bastidor ("frame" o "FR") especifican las variaciones:

- C - el motor tiene una brida ("flange") o cara maquinada y orificios de pernos (tornillos) para poderse fijar directamente en otro componente.
- H - la distancia entre los agujeros de los pernos (tornillos), en el pie de montaje, es superior a aquélla en un motor sin la H.
- J - el motor tiene un montaje de cara especial y un extremo de eje roscado.
- K - el motor tiene un cubo para el montaje directo en una bomba de sumidero o de sentina.
- M,N - el motor tiene una brida ("flange") de montaje especial para el montaje directo como un motor de bomba/ventilador de quemador de aceite.
- T - se refiere a las normas de la NEMA para los motores de potencia (caballos de fuerza) integral, establecidas en 1964.

## 2. Cojinetes con elementos rodantes.

Estos incluyen varios tipos de cojinetes de bolas, rodillos esféricos, rodillos cilíndricos y cojinetes de aguja. La lubricación puede llevarse a cabo con aceite, pero con más frecuencia se utiliza la grasa. Dependiendo de la clase de sellos, los requerimientos de relubricación pueden variar ampliamente.

Los cojinetes de elementos rodantes frecuentemente son utilizados en el extremo de transmisión de los motores que están conectados a una cadena, correa o sistema de engranajes, debido a que pueden tolerar las altas cargas laterales impuestas. También son utilizados, a menudo, en motores de eje vertical o cuando debe soportarse el empuje del extremo del eje.

*Todo motor de repuesto debe tener la clase correcta de cojinetes para la aplicación de que se trate. Asegúrese de considerar el tipo de carga de eje y la posición de montaje del motor.*

## INSTALACION DEL MOTOR

**¡Siempre que vaya a instalar o a reponer un motor, enclave (cierre) las líneas de energía en el dispositivo de desconexión principal!**

### 1. Instalación eléctrica.

Normalmente, con el motor se suministra un diagrama de conexiones que, generalmente, se incluye en la placa de fábrica o en el tablero de terminales o en la caja de empalmes.

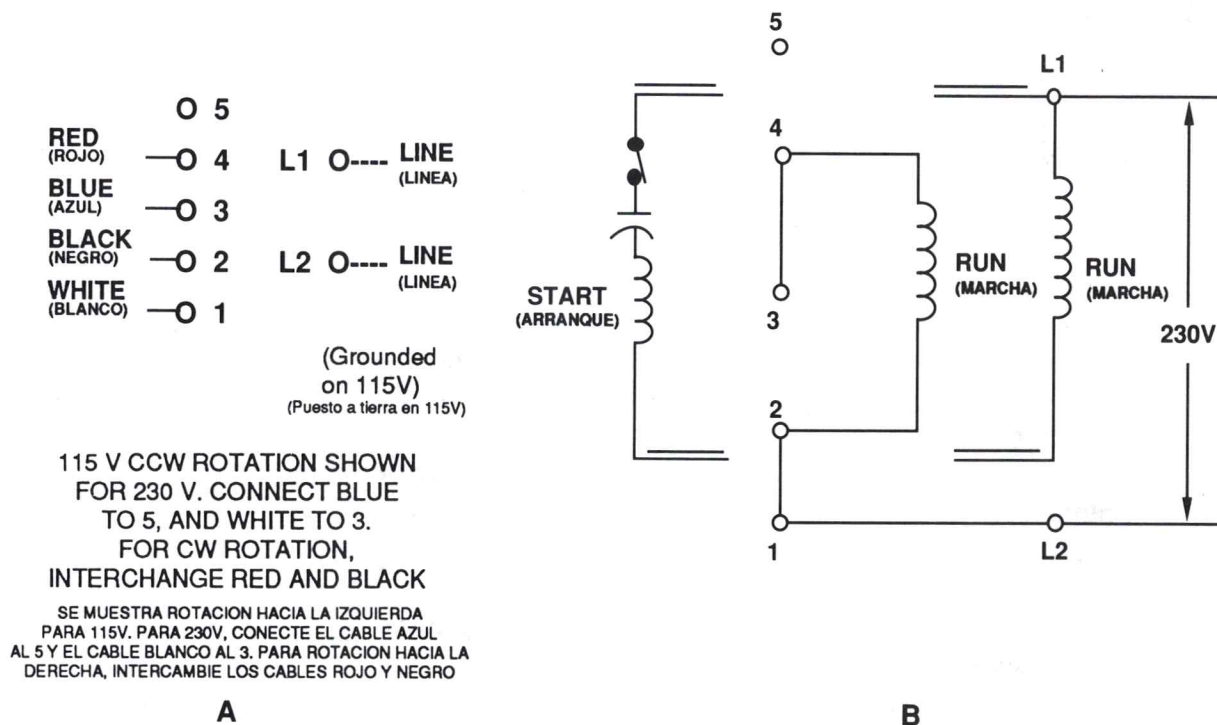
Las conexiones con un motor de C.D., con un motor de velocidad múltiple, con un motor con conexión delta o en estrella, con un motor de arranque con devanado parcial y con cualquier motor controlado por un controlador de velocidad variable pueden ser complicadas. Asegúrese de entender el diagrama. El motor debe ser conectado en tal forma que pueda operar con el voltaje disponible, a la velocidad correcta y en la dirección apropiada.

Asegúrese de aislar los extremos de cualesquiera cables no utilizados y los empalmes entre cables, ya que probablemente llevarán voltaje cuando el motor esté operando y no deben hacer corto contra el bastidor del motor. Para reducir los riesgos de choque, los bastidores de motores deben ponerse correctamente a tierra ya sea a través de un alambre de tierra o del conducto alrededor de las líneas de alimentación.

## EJERCICIO DE PRACTICA V

La placa de fábrica en un motor monofásico de arranque con capacitor incluye un diagrama de conexiones para las terminales de la caja de empalmes igual al diagrama A incluido a continuación. El circuito del motor está representado en el diagrama B. Cuando se conectan para 115 voltios, ambos devanados de marcha y el devanado de arranque se conectan en paralelo. Cuando se conectan para 230 voltios, los devanados de marcha se conectan en serie y el devanado de arranque se conecta a través de un devanado de marcha.

Dibujando sobre el circuito, conecte el motor para 230 voltios y asigne colores a los cables en los espacios en blanco.



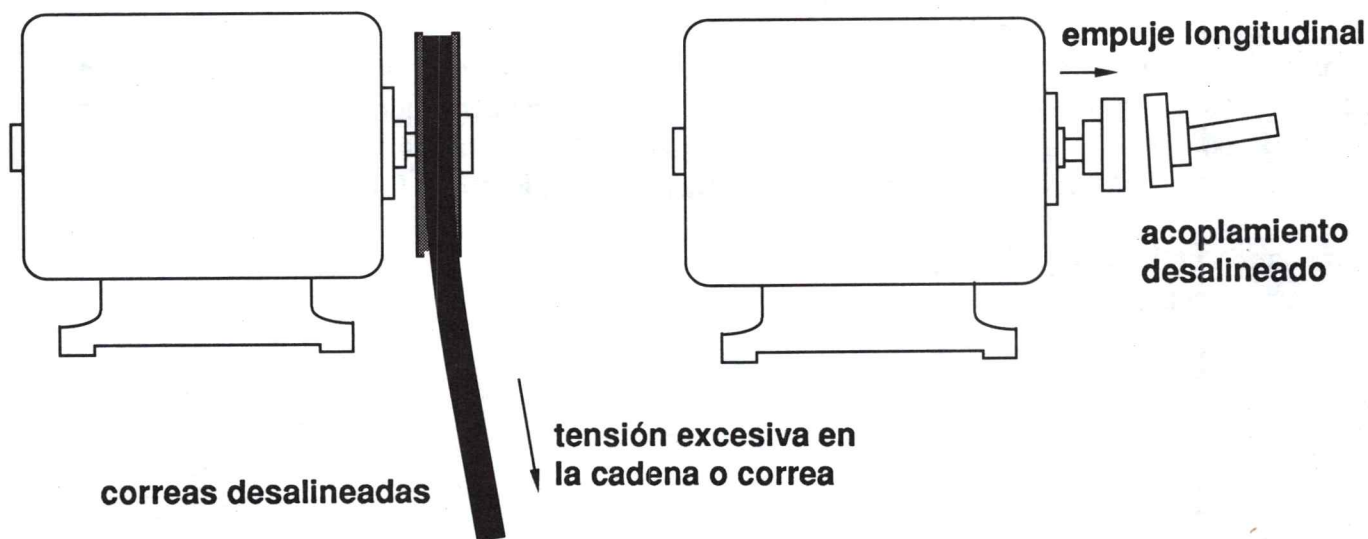
### 2. Instalación mecánica.

A. Los motores deben ser sólidamente montados para que no vibren ni cambien de posición.

Los motores pequeños que accionan equipo a través de correas se montan, en ocasiones, sobre una base ajustable que puede estar embisagrada o ser deslizante, para proveer una tensión ajustable de la correa. Los pivotes o correderas no deben permitir que el motor se tuerza y se desalinee bajo las diferentes condiciones de carga; por lo tanto, hay que asegurarse de que todos los sujetadores, pivotes y correderas estén apretados.

Prácticamente, todos los motores de potencia (caballos de fuerza) integral están diseñados para ser conectados rígidamente a una base sólida, tal como un bastidor de máquina, ya sea a través de un "pie" de montaje o de una brida ("flange") cara C. Por lo general, los motores grandes se sujetan con pernos (tornillos) sobre bancadas o placas de asiento y se fijan con precisión utilizando mezclas en las fundaciones de concreto.

B. Las cargas del eje no deben tensionar los cojinetes del motor en forma inapropiada.



- La tracción de la correa debe ser exactamente perpendicular al eje para evitar que se aplique un empuje longitudinal sobre el eje. La tensión de la correa o cadena no debe ser superior a la necesaria para mantener el deslizamiento dentro de los límites normales; de lo contrario, se sobrecargarán los cojinetes del motor. Las poleas, las poleas acanaladas y las catarinas deben instalarse tan cerca como sea posible del cojinete del motor.
- Al conectar un acoplamiento de eje en un motor de cojinete de manguito, asegúrese de que el eje del motor esté centrado entre sus límites de juego longitudinal. Por lo general, las fuerzas magnéticas centran los rotores cuando el motor está operando. Un acoplamiento rígido podría transmitir esta fuerza centradora del motor al equipo impulsado como empuje longitudinal.
- Los motores con cojinetes de bolas normalmente no tienen juego longitudinal de eje y, si lo tienen, éste es muy pequeño. No los conecte a cargas que impongan cargas externas de empuje sobre el eje del motor, a menos que los cojinetes hayan sido diseñados para las cargas de empuje.
- Alinee siempre los acoplamientos con todo cuidado. El motor y los ejes de carga deben quedar alineados exactamente, aún cuando el acoplamiento sea más o menos flexible. Cualquier tipo de desalineación sobrecargará el motor y los cojinetes del equipo.

C. Antes de desenclavar el circuito del motor y de accionar la energía:

- asegúrese de que el motor y los ejes de carga puedan girar libremente y de que todas las partes móviles estén debidamente ajustadas y alineadas.
- quite cualesquiera clavijas de división que se utilicen para evitar la rotación mientras se le está dando servicio al equipo.
- quite todas las herramientas y tuercas o pernos (tornillos) de repuesto para que no vayan a volar o a servir de cuñas en el equipo.

*¡Antes de arrancar un motor, verifique siempre la lubricación de los cojinetes! Muchos motores son enviados sin grasa ni aceite para que el lubricante inicial pueda ser aquél especificado en el programa de mantenimiento de la planta.*

3. Pruebas de post-instalación.

Una vez que un motor esté conectado y opere apropiadamente, mida:

- a) la corriente en todas las líneas durante el arranque y bajo carga normal.
- b) las velocidades de operación del motor bajo condiciones de carga normales.
- c) la temperatura de operación del motor.

Todas las lecturas deben indicar la operación normal.

Si el programa de mantenimiento de la planta incluye las lecturas periódicas sobre la temperatura de cojinetes y la vibración, la resistencia del aislamiento al alto voltaje, el ruido del motor o cualquiera otra información significativa, registre las lecturas de la línea de base sobre el nuevo motor en el expediente del motor porque esto puede ser de utilidad en la detección subsecuente de fallas y para trazar las tendencias en los programas de mantenimiento preventivo y predictivo.

## RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS DE PRACTICA:

### Respuesta al Ejercicio de Práctica I

- d) El motor está sobrecargado. El reemplazarlo con otro motor con una potencia nominal superior es la única solución. Para proveer una cierta cantidad de aire a una presión determinada se requiere de una potencia (caballos de fuerza) también determinados — más de lo que el motor actual puede suministrar sobre una base continua.

El motor está accionando el compresor, por lo que debe ser capaz de suministrar la torsión requerida (a). Sin embargo, sólo lo puede hacer consumiendo corriente excesiva que produce el sobrecalentamiento.

Cualquier motor disipa el calor por lo menos tan bien cuando está operando como cuando está parado (b). Los motores con ventiladores impulsados por eje disipan el calor mucho mejor cuando están operando.

A menos que el motor sea un motor sincrónico de C.A., es probable que esté operando algo más lento de lo normal debido a que está sobrecargado (c).

### Respuesta al Ejercicio de Práctica II

El motor arrancará.

El código H significa que el motor consumirá entre 6.3 y 7.1 kva por caballo de fuerza para arrancar. Debido a que se trata de un motor de 10 caballos de fuerza, su corriente de arranque (o corriente con rotor enclavado) a 0.460 KV es:

$$\frac{10 \times (6.3 \text{ a } 7.1)}{0.460 \text{ kv}} = 136 \text{ a } 154 \text{ amperes}$$

Esta corriente excesiva a través de la resistencia de 0.5 ohms de los conductores produce una caída de voltaje de  $0.5 \times (136 \text{ a } 154) = 68 \text{ a } 77$  voltios. 460 voltios menos 77 voltios da como resultado 383 voltios, que es suficiente para arrancar el motor.

NOTA: Este cálculo simplificado da sólo una respuesta aproximada. Un cálculo de ingeniería más detallado tomaría en cuenta el hecho de que el motor consumirá algo menos de corriente con rotor enclavado con la aplicación de un voltaje inferior. El resultado sería un voltaje más alto en el motor, asegurándose de que arrancará.



## REPASO FINAL

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los enunciados presentados a continuación.

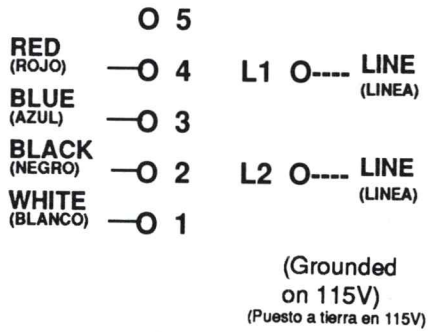
1. Un motor de 1 HP con un Factor de Servicio de 1.0 puede producir:
  - A. no más de 1 HP a cualquier velocidad.
  - B. 1 HP por kilovatio.
  - C. 1.1 HP a la velocidad nominal.
  - D. 1 HP sin sobrecalentarse.
  
2. Un motor con un régimen de trabajo de 20 minutos:
  - A. no debe ser arrancado más de una vez cada veinte minutos.
  - B. necesita estar parado durante 20 minutos de cada hora.
  - C. puede producir su potencia nominal durante 20 minutos en cada hora.
  - D. se parará después de funcionar durante 20 minutos.
  
3. Un motor de tamaño excesivo:
  - A. operará demasiado rápido.
  - B. consumirá menos corriente que un motor del tamaño adecuado.
  - C. dañará la carga con demasiada potencia.
  - D. operará en forma ineficiente.
  
4. La velocidad indicada en la placa de fábrica de un motor de inducción es:
  - A. la velocidad sin carga.
  - B. la velocidad sincrónica.
  - C. la velocidad con carga completa.
  - D. la velocidad a la cual se desarrolla la máxima potencia.
  
5. Es muy probable que un motor de inducción que está operando a una velocidad inferior a su velocidad nominal con el voltaje nominal total:
  - A. produzca menos que la potencia nominal.
  - B. opere con C.A. con frecuencia errónea.
  - C. esté sobrecargado.
  - D. esté impulsando una alta carga de inercia.

6. Si el amperaje de carga completa (FLA) indicado de un motor de repuesto es inferior a aquél por el cual fue reemplazado:
- A. los disyuntores de protección contra sobrecarga deben ser recalibrados.
  - B. es posible que sea necesario un arrancador de motor más pequeño para la operación apropiada.
  - C. es posible que el motor esté subcargado.
  - D. el tamaño de los fusibles y los disyuntores de circuito debe ser menor.
7. Un motor con una alta corriente de rotor enclavado (LRA):
- A. consumirá una alta corriente al arrancar o al pararse (atascarse o ahogarse).
  - B. tiene poco efecto sobre el sistema de energía al arrancar.
  - C. requiere, por lo menos, de 440 voltios para operar.
  - D. tiene una letra código baja (de las primeras del alfabeto).
8. Si el voltaje de alimentación hacia un motor de inducción es superior a 10% arriba o debajo del voltaje de la placa de fábrica, es probable que el motor:
- A. no funcione.
  - B. se sobrecaliente.
  - C. consuma una corriente inferior a la normal.
  - D. marche más lento de lo normal.
9. El Factor de Servicio indicado en la placa de fábrica de un motor indica:
- A. cuánto puede variar el voltaje antes de que el motor se dañe.
  - B. con cuánta frecuencia el motor puede ser arrancado o detenido.
  - C. cuánto podría durar el motor.
  - D. cuánta sobrecarga es capaz de tolerar el motor sin dañarse.
10. En comparación con un motor con un factor de potencia bajo, un motor con un factor de potencia alto:
- A. utilizará menos vatios.
  - B. arrancará más lentamente.
  - C. será más eficiente.
  - D. consumirá menos corriente.

11. La temperatura del ambiente en el que un motor opera no debe ser superior al:
- A. régimen de la temperatura ambiente del motor.
  - B. régimen de elevación de temperatura.
  - C. régimen de la clase de aislamiento menos su régimen de elevación de temperatura.
  - D. régimen de elevación de la temperatura más 32 grados.
12. Comparado con el aislamiento de la clase A ó B, el aislamiento de la Clase F:
- A. tolerará temperaturas más altas.
  - B. se calentará menos.
  - C. soportará voltajes más elevados.
  - D. durará más.
13. Dos motores NEMA 142T diferentes tendrán:
- A. el mismo amperaje de plena carga.
  - B. las mismas dimensiones de eje y montaje.
  - C. las mismas características de velocidad, torsión y eficiencia.
  - D. el mismo código de aislamiento y factor de servicio.
14. Un motor de inducción con diseño NEMA no debe ser repuesto con otro diseño NEMA diferente debido a que:
- A. las dimensiones de montaje son diferentes.
  - B. la torsión de arranque y las características de deslizamiento son diferentes.
  - C. el régimen de voltaje y el factor de servicio son diferentes.
  - D. la corriente con rotor enclavado y el amperaje de plena carga son diferentes.
15. Por lo general, los motores totalmente encerrados:
- A. son totalmente herméticos en lo que se refiere al aire y al agua.
  - B. tienden a ser más grandes y más caros que los motores abiertos.
  - C. pueden soportar mejor la sobrecarga que los motores abiertos.
  - D. son seguros en las atmósferas explosivas.

16. ¿Cuál motor está mejor protegido para la operación externa?
- A. el abierto.
  - B. el abierto, con circulación (flujo) de aire en la parte superior.
  - C. el que es a prueba de salpicamiento.
  - D. el que es a prueba de goteo.
17. Por lo general, los protectores térmicos integrados en un motor:
- A. detienen el motor cuando la temperatura ambiente es demasiado alta.
  - B. evitan que el motor pierda demasiado calor.
  - C. necesitan ser repuestos manualmente después de que se disparan.
  - D. detectan las corrientes de sobrecarga.
18. Al instalar un motor nuevo, asegúrese siempre de:
- A. que el eje del motor lleve una carga de empuje suficiente para eliminar el juego terminal o longitudinal.
  - B. que las ménsulas (soportes o "brackets") ajustables de montaje estén apretadas y no permitan el movimiento del motor bajo las cargas cambiantes.
  - C. permitir que el motor opere y se alinee antes de apretar los pernos (tornillos) de montaje.
  - D. las bandas y cadenas estén lo más apretadas posibles para compensar el desgaste y el estiramiento inevitables.
19. El propósito de las pruebas de post-instalación, en un motor, es:
- A. hacer efectiva la garantía.
  - B. reunir los datos básicos, con propósitos de comparación, al hacer el mantenimiento predictivo o llevar a cabo la detección de fallas.
  - C. tensionar el aislamiento y ver si el motor puede manejar las cargas esperadas.
  - D. verificar las especificaciones del fabricante.

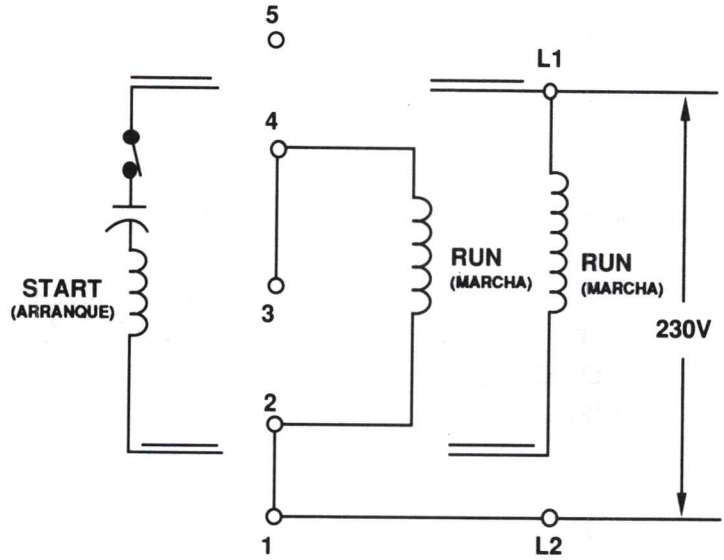
20. Dibuje en el bloque de terminales la forma de conectar el motor para operar hacia la izquierda con 240 voltios.



115 V CCW ROTATION SHOWN  
FOR 230 V. CONNECT BLUE  
TO 5, AND WHITE TO 3.  
FOR CW ROTATION,  
INTERCHANGE RED AND BLACK

SE MUESTRA ROTACION HACIA LA IZQUIERDA  
PARA 115 V. PARA 230 V, CONECTE EL CABLE AZUL  
AL 5 Y EL CABLE BLANCO AL 3. PARA ROTACION HACIA LA  
DERECHA, INTERCAMBIE LOS CABLES ROJO Y NEGRO

A



B

# LECCION 5

## MANTENIMIENTO DE MOTORES

### INTRODUCCION

Esta lección trata del cuidado de los motores, incluyendo el mantenimiento de rutina y las inspecciones y pruebas que son la base para el mantenimiento preventivo y predictivo. Se da un enfoque especial a cómo reconocer y evitar las condiciones que ocasionan los problemas con los motores.

### OBJETIVOS

El programa de video y la lección de la guía de estudio están diseñados para permitirle:

- Lubricar y limpiar los motores correctamente.
- Mantener las escobillas y los colectores (conmutadores).
- Inspeccionar los motores para detectar problemas.
- Probar el aislamiento del motor.
- Reconocer los motores que pudieran fallar pronto.

## MANTENIMIENTO DE RUTINA

El cuidado regular prolonga la vida de un motor.

A. Lubricación de los cojinetes. Todos los motores tienen cojinetes. Muchos necesitan ser relubricados periódicamente o ser verificados en cuanto a su nivel de aceite.

1. Cojinetes lubricados con aceite. *Utilice el aceite especificado y no use aceite en exceso, porque el aceite saldrá a modo de fugas y acumulará suciedades (mugre).*
  - a) Depósito tipo colector. El nivel del colector debe ser verificado después de que un motor se haya detenido durante algún tiempo para que el aceite tenga una oportunidad de regresar al colector y enfriarse. El aceite se expande cuando está caliente. No ponga demasiado aceite.
  - b) Depósito del tipo mecha, empaque o buje poroso. Por lo general, los fabricantes especifican la frecuencia de la lubricación y la cantidad de aceite necesario para la saturación apropiada. Repetimos, no ponga demasiado aceite.
2. Cojinetes lubricados con grasa. *Utilice la grasa especificada. Ponga la grasa con el motor caliente y operando, pero teniendo cuidado de no quemarse o lastimarse.*
  - a) Antes de engrasar, limpie el accesorio de grasa y el extremo de la pistola de grasa.
  - b) Cuando haya un tapón de respiradero o de alivio de presión, quítelo antes de engrasar.
  - c) Agregue grasa hasta que la grasa nueva salga por el tapón del respiradero.
  - d) No ponga el tapón, después de engrasar, sino hasta que la grasa fresca ya no salga cuando opere el motor.

Si no hay un tapón de alivio de presión, tenga mucho cuidado de no seguir agregando grasa si, aparentemente, la presión se está acumulando dentro de la caja de cojinetes. La presión excesiva de la grasa puede estallar los sellos o las protecciones de cojinetes o hacer que la grasa pase más allá de los cojinetes y sea introducida en el motor. Después de engrasar, quite el accesorio de grasa y deje operar el motor hasta que la grasa fresca ya no salga.

*No deje el cojinete demasiado lleno de grasa. La grasa excesiva aumenta la fricción y calienta el cojinete, derritiendo y oxidando la grasa. Cuando hay demasiada grasa ésta tiende a salir y a introducirse en el motor en donde acumula suciedades.*

B. Limpieza del motor. Los motores duran más cuando se mantienen limpios. La mugre interfiere con el enfriamiento y puede dañar el aislamiento.

1. Periódicamente debe cepillarse o limpiarse la parte exterior de un motor.

Deben aspirarse los respiraderos y los tamices (telas metálicas o "screens") de los motores abiertos. No trate de soplar el polvo hacia afuera con una manguera de aire; el chorro de aire puede introducir el polvo entre las vueltas del devanado haciendo que falle el aislamiento.

Es muy importante limpiar el exterior de los motores totalmente encerrados debido a que la superficie de estos motores debe disipar todo el calor generado en el interior. El polvo actúa como un aislamiento.

En los motores totalmente encerrados y enfriados con ventilador, el aro de refuerzo está unido generalmente con unos cuantos tornillos. Quítelo para limpiar las ranuras o tamiz en donde el ventilador jala el aire hacia adentro, la superficie interior del aro de refuerzo y las cuchillas del ventilador. Asegúrese de que el ventilador esté apretado en el eje del motor y de que no esté dañado; el polvo abrasivo puede, en ocasiones, desgastar el metal de la cuchilla (aspa) del ventilador.

2. Algunos motores requieren del desensamble periódico y de la limpieza interna. Dependiendo del tipo de mugre, podría ser necesario utilizar vapor, agua caliente y detergente o solventes al limpiar los motores. No utilice agentes limpiadores que pudieran dañar el aislamiento.

*No conecte un motor húmedo al voltaje de línea. Si lo hace, se producirá el arqueamiento y ocurrirán daños en el aislamiento. Antes de aplicar energía, seque completamente el motor en un flujo de aire -- caliente si es posible.*

Comúnmente, es necesario desensamblar los motores abiertos para limpiarlos, debido a que un ventilador hace que pase aire frío a través de ellos. Cuando los respiraderos de un motor abierto están demasiado cargados de suciedades, es casi seguro que el interior también requiera de limpieza.

Hay posibilidades de que los motores con escobillas requieran de una mayor limpieza que los motores que no tienen escobillas. Las partículas de carbón y cobre, que son el resultado del desgaste, se adhieren a cualquier película de aceite o grasa y, en ocasiones, al aislamiento ligeramente pegajoso en los devanados. Las partículas son conductoras y podrían ocasionar el arqueamiento sobre la superficie del aislamiento.

Bajo ciertas condiciones, aún los motores totalmente encerrados, sin escobillas, podrían requerir del desensamble para el secado y/o limpieza. Aunque, normalmente, el aire no circula a través de ellos, dichos motores sí respiran; el aire en el interior es empujado hacia afuera conforme el motor se calienta y el aire exterior, incluyendo la humedad y la mugre, son aspirados hacia el interior cuando el motor se enfría. Después de muchos ciclos de calentamiento y enfriamiento, los motores totalmente encerrados pueden llegar a acumular mucha agua lo cual reduce la resistencia del aislamiento y permite el arqueamiento.

## EJERCICIO DE PRACTICA I

Un motor trifásico totalmente encerrado y no ventilado, que está en uso continuo y acciona un ventilador, está montado en la corriente de aire y tiene bastante mugre que hace que se caliente. Además de limpiar el exterior, el mantenimiento debe incluir:

- a) el desensamble para una limpieza total y la inspección del interior.
- b) su protección contra la corriente de aire para que permanezca limpio.
- c) la verificación repetida de la temperatura del bastidor.
- d) el soplado de sus respiraderos.

### C. Escobillas, colectores (conmutadores), anillos deslizantes o de fricción e interruptores internos.

Los motores de C.D. y los motores de C.A., con escobillas y colectores (conmutadores) o anillos de fricción requieren una atención rutinaria cada vez más frecuente. Los motores con interruptores ("switches") centrífugos internos también requieren de, por lo menos, una verificación periódica rápida para asegurarse de que los interruptores están funcionando bien.

#### 1. Chispas de las escobillas.

En aquellos motores en los que se puedan ver las escobillas mientras el motor opera, se debe verificar si éstas hacen chispas bajo cargas normales y pesadas del motor. Las chispas ligeras podrían ser tolerables en los motores pequeños, de C.D. y de CA-CD para trabajo ligero. En los motores de C.D. para trabajo continuo no deben observarse chispas bajo condición de carga alguna.

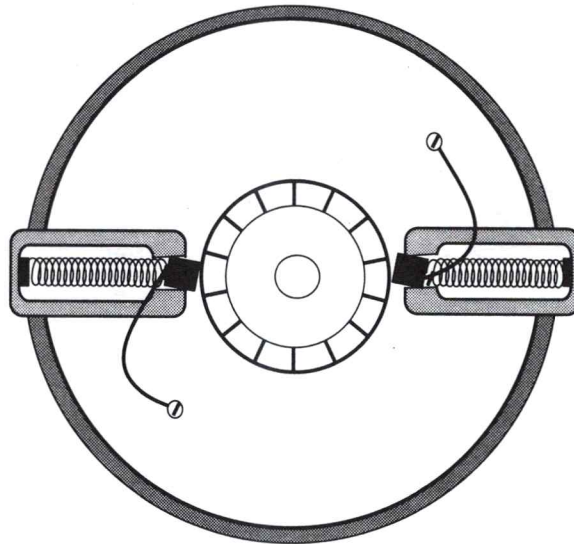
Las chispas abundantes o el arqueamiento pueden quemar, picar y aflojar las barras del colector (conmutador) y producir cortos a través de la mica que hay entre ellos. El calor podría hacer que la soldadura que conecta los alambres de la armadura (inducido) a las barras del colector se derritiera y se esparciera alrededor del motor. El calor también puede dañar el aislamiento, los portaescobillas y los resortes de las escobillas.

Un motor con escobillas que hacen chispas debe pararse tan pronto como sea posible.

Las escobillas producirán chispas o se arquearán cuando hay algo malo en el contacto de la escobilla con el colector.

Los problemas de escobilla/colector son el resultado de:

- a) Escobillas que se han acortado por el desgaste.



Se supone que los portaescobillas colocan con precisión las escobillas, en tal forma que toda la superficie terminal de la escobilla entre en contacto con el colector (conmutador). Las escobillas cortas no pueden colocarse con precisión. La corriente se concentrará en aquella parte de la escobilla que hace contacto con el colector y, así, se producirá el sobrecalentamiento, las barras quemadas o picadas de los colectores y las chispas.

Si una escobilla se desgasta al grado de que el cable flexible de conexión empotrado en ella, entre en contacto directo con el colector, este último se dañará.

Conforme se desgastan las escobillas, los resortes de las escobillas se tensionan menos y no presionan la escobilla sobre el colector en forma suficiente. Algunos tipos de resortes de escobillas pueden ajustarse para compensar el desgaste; debe medirse la tensión y hacerse determinados ajustes siguiendo un plan regular.

- b) Resortes débiles de escobillas.

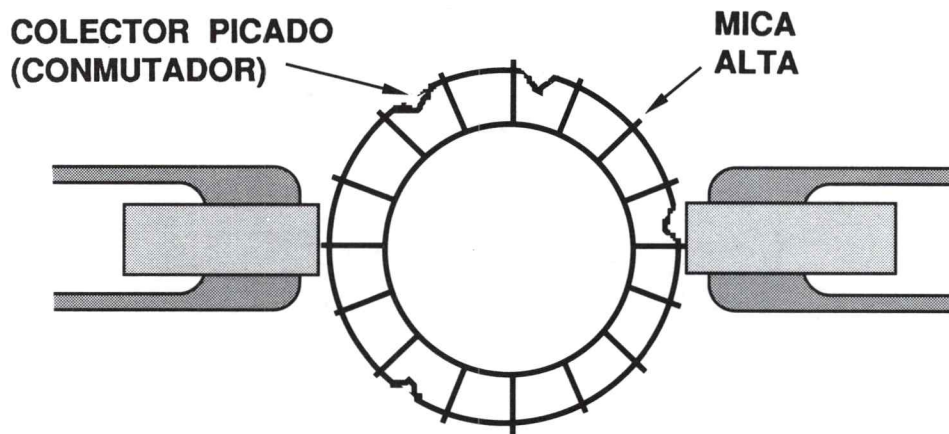
Los resortes de escobillas pierden su tensión cuando se sobrecalientan -- normalmente como resultado de escobillas arqueadas. Deben reponerse los resortes débiles de escobillas.

- c) Escobillas mal colocadas.

En algunos motores, es ajustable la posición de las escobillas alrededor del colector. La posición debe ser ajustada para producir el menor número posible de chispas bajo una carga normal del motor. Un portaescobillas suelto no mantendrá las posiciones exactas de las escobillas.

d) Devanados abiertos o con cortos.

Las vueltas con cortos o los cortos a tierra en la armadura o en los devanados de interpolos pueden producir chispas en las escobillas.



e) Mica alta.

Las barras de cobre del colector en ocasiones se desgastan más rápidamente que la mica aislante entre ellas. Las escobillas brincarán a lo largo sobre la mica alta en vez de hacer buen contacto con las barras del colector.

f) Colector (conmutador) áspero.

Las escobillas no harán buen contacto con un colector ovalado, picado, quemado, áspero o dañado en alguna otra forma. La corriente de parada excesiva puede dañar aquéllas barras del colector que se encuentren bajo las escobillas durante la parada en tal forma que las escobillas vibrarán, se arquearán y desgastarán rápidamente conforme el motor opera.

g) Colector (conmutador) aceitoso o sucio.

La mugre en el colector acelerará el desgaste. El aceite y la grasa no sólo interfieren con el buen contacto sino que, en ocasiones, harán que las partículas conductoras de carbón o cobre se adhieran en las ranuras entre las barras del colector, produciendo cortos al unir las barras.

Un colector debe estar limpio, pero el cobre debe haber desarrollado un brillo café. Es posible que este brillo no se forme cuando el motor opere consistentemente bajo cargas ligeras o excesivas. Un color cobre brillante indica que el colector se está desgastando.

## 2. Mantenimiento e inspección de las escobillas.

En la mayoría de los motores grandes, es necesario remover las placas de inspección para ver las escobillas. En los motores pequeños, normalmente hay que remover las escobillas individuales para la inspección.

Por lo general, cuando la longitud original de una escobilla se ha reducido más de la mitad y no está chispeando, puede dejarse en su lugar o devolverse para darle un mayor servicio. Asegúrese de reponer cada escobilla a su posición original. No vuelva a utilizar las escobillas que estén astilladas, rotas, torcidas por el desgaste o cuya longitud original se haya reducido más de una mitad. Si una escobilla está en un estado bastante peor que el resto, verifique con todo cuidado el portaescobillas y el resorte.

## 3. Inspección del colector (conmutador).

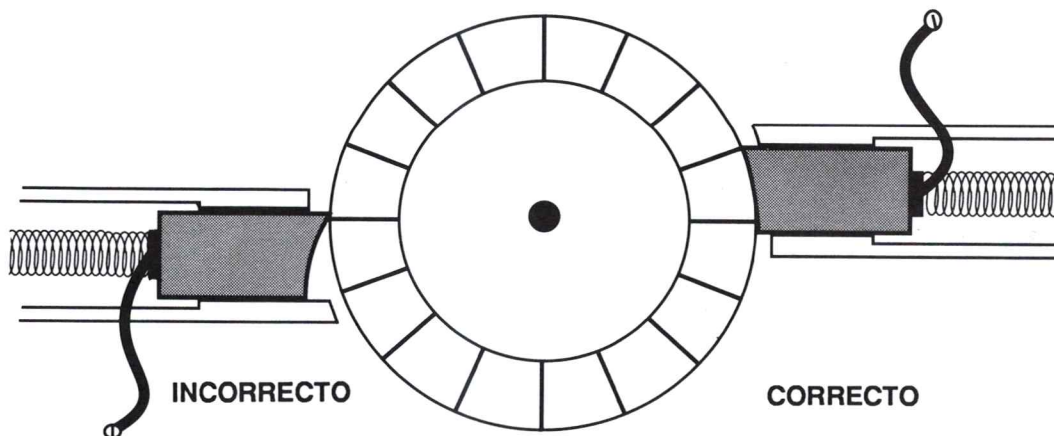
Antes de volver a colocar las escobillas, verifique todo el colector. Si observa ranuras o bordes, decoloración, quemado o picado de las barras, barras sueltas o mica alta entre las barras, será necesario desensamblar el motor para hacer la reparación correspondiente.

Si el colector se ve bien, excepto por unas ranuras, picaduras o puntos quemados menores, puede limpiarse con una piedra para colector que se mantendrá contra el colector conforme el motor opera. Tenga cuidado de no tocar las escobillas, los portaescobillas, resortes o cables.

## 4. Reemplazo de escobillas.

Seleccione las escobillas de reemplazo correctas. Hay escobillas de diferentes grados de dureza. Utilice el grado especificado por el fabricante. Reponga el juego completo aún cuando una sola escobilla esté mal.

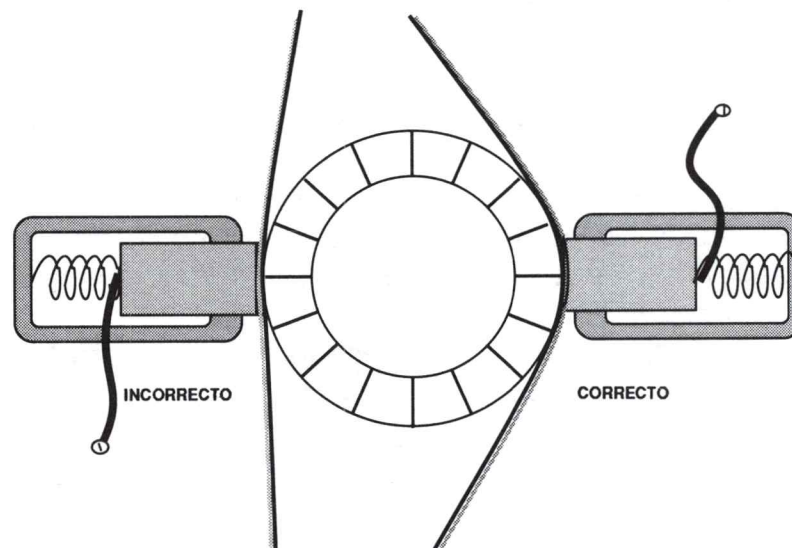
Las escobillas son frágiles y fácilmente se astillan o agrieta. No introduzca una escobilla en su lugar a la fuerza.



Asegúrese de instalar las escobillas en tal forma que el ángulo en el extremo de la escobilla corresponda a la curvatura del colector.

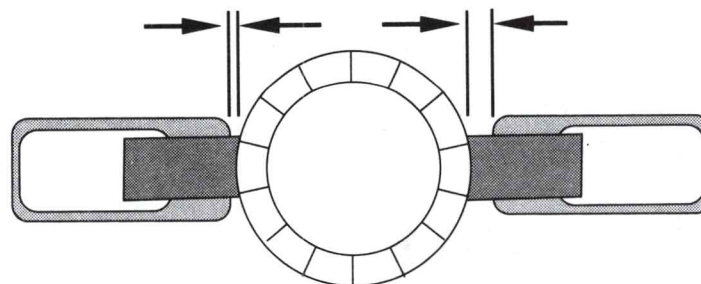
Si las nuevas escobillas encajan bastante bien en el colector, pueden asentarse con una piedra para asentar escobillas y pulir, al mismo tiempo, el colector.

Si deben remodelarse los extremos de las escobillas, para adaptarse al colector, asiente las escobillas con una lija fina. No utilice tela esmeril porque podría dejar partículas de arenilla conductora en el motor. Asegúrese de introducir la lija en forma suficiente alrededor del colector para evitar ovalar el extremo de la escobilla en la dirección equivocada.

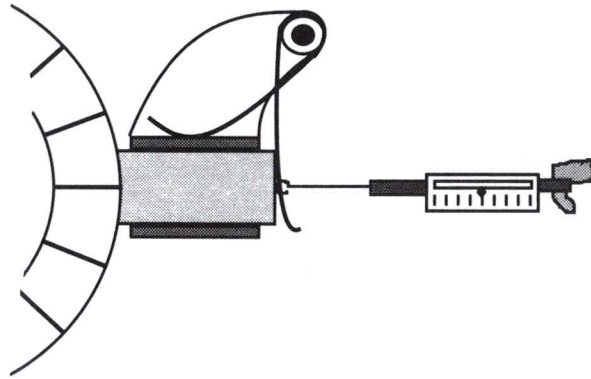


Los portaescobillas deben apretar las escobillas lo suficiente para evitar que vibren. Sin embargo, deben tener suficiente libertad para moverse hacia adentro y hacia afuera. Si una escobilla se pega en su portaescobillas no hará un buen contacto.

Los portaescobillas deben colocarse suficientemente cerca del colector para soportar las escobillas, pero no tan cerca que los arcos brinquen entre el colector y el portaescobillas. Verifique las especificaciones del fabricante. Es posible que se requiera del ajuste si el colector está volteado.



También debe verificarse la tensión del resorte ("spring"). Si ésta es demasiado alta en el caso de escobillas nuevas y más largas, las escobillas se desgastarán rápidamente. Es muy probable que los resortes que hayan estado en servicio durante largo tiempo hayan perdido su tensión. Reemplácelos si son demasiado débiles.



Asegúrese que todo aislamiento en los cables flexibles hacia las escobillas esté en buenas condiciones y que los cables no estén demasiado apretados o estén puestos a tierra en algún lado.

## **EJERCICIO DE PRACTICA II**

Un motor de C. D. tiene escobillas que hacen chispas. Las escobillas nuevas, de repuesto, también hacen chispas aún después de asentar las escobillas con todo cuidado. La causa menos probable de esto es:

- a) la posición inapropiada del portaescobillas.
- b) devanados defectuosos del motor.
- c) colector (conmutador) ovalado.
- d) colector (conmutador) vidriado.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La mayoría de los programas completos de mantenimiento establecen la inspección periódica y las pruebas de los motores para detectar los problemas antes de que ocasionen paros costosos. En todos los casos son importantes los registros cuidadosos de las inspecciones y de las pruebas para indicar las tendencias.

Algunos tipos comunes de inspecciones y pruebas incluyen:

A. Observar y escuchar el motor cuando arranca y opera, acciona su carga normal y se para.

Observe si hay:

- un aflojamiento obvio o vibración de alguna parte a cualquier velocidad.
- tiempo largo de arranque. Si un motor toma mucho más del tiempo normal para alcanzar su velocidad normal de operación que el que tomaba cuando estaba nuevo, hay algo mal.
- tiempo corto para parar. La mayoría de las cargas tienen inercia suficiente para que el motor se vaya deteniendo lentamente hasta pararse, a menos que se frene para que se pare rápidamente. Si un motor se detiene más rápidamente de como lo hacía cuando estaba nuevo, es posible que algo se esté arrastrando.
- destellos, arcos y escobillas con chispas. Es más fácil detectar esto en la oscuridad. Un destello brillante en un motor con un interruptor centrífugo puede ser un signo de problema en los contactos. Los arcos a través del aislamiento pueden ser visibles en los motores abiertos.

Vea si escucha:

- ruidos semejantes a los que produce la acción de un resorte o resquebrajamiento dentro del motor, caja de empalmes o un controlador que indique arqueamiento que podría no ser visible.
- zumbido excesivo. Muchos motores zumban al arrancar y cuando están bajo carga pesada. Si zumban todo el tiempo podría haber una sobrecarga, devanados con cortos o laminaciones de núcleo sueltas. Un motor también podría zumban si es bajo el voltaje de alimentación o el voltaje en una fase. Los motores de C.D. zumbarán cuando su voltaje de alimentación tiene una fluctuación excesiva de corriente.
- ruidos especiales en los cojinetes o de un arrastre del rotor sobre el estator.

El ruido circundante de la maquinaria podría disimular (enmascarar) los ruidos del motor. Para aislar y localizar los ruidos del motor podría ser útil un estetoscopio u otro dispositivo para escuchar.

## B. Verifique la temperatura

Casi cualquier cosa anormal hará que un motor se caliente. La temperatura ambiente, la temperatura del bastidor o carcasa del motor y la temperatura de los cojinetes son lecturas básicas que deben tomarse cuando se instala por primera vez un motor y periódicamente de ahí en adelante. Los registros precisos de las tres temperaturas son importantes para hacer una comparación.

1. La temperatura ambiente es la temperatura del aire que rodea un motor. La temperatura del bastidor o carcasa del motor y la temperatura de los cojinetes aumentará y disminuirá con la temperatura ambiente. Un motor se sobrecalentará a su salida de potencia nominal si la temperatura ambiente es superior a la temperatura indicada en la placa de fábrica.
2. La temperatura del bastidor o carcasa es la temperatura de la carcasa de acero alrededor del estator. Cuando la temperatura del bastidor de un motor es superior a las temperaturas anteriores medidas a la misma temperatura ambiente, el motor está sobrecargado o tiene defectos.
3. La temperatura de los cojinetes se mide directamente sobre la caja del cojinete. Una lectura superior a las lecturas anteriores, a la misma temperatura ambiente, es un signo de problemas con los cojinetes.

Siempre tome las lecturas de la temperatura después de que el motor haya estado operando lo suficiente para alcanzar la temperatura normal de operación. También, tome las lecturas bajo las mismas condiciones de operación -- de preferencia, justo cuando el motor complete la parte más pesada de su trabajo. Utilice siempre el mismo instrumento para medir la temperatura y manténgalo calibrado.

## C. Verifique la corriente

Al igual que las lecturas de temperatura, las lecturas de la corriente deben ser tomadas cuando el motor esté trabajando duro. Una lectura de corriente que es superior a la observada cuando el motor se puso por primera vez en servicio, significa que la carga del motor se ha incrementado un poco o que el motor tiene defectos.

La corriente medida en cualquier línea hacia un motor monofásico de C.A. debe ser la misma sin importar que la línea esté puesta, o no, a tierra. Si la corriente no es la misma en ambas líneas, hay un corto a tierra en el motor.

La corriente medida en cada línea de energía hacia un motor de C.D. debe ser siempre la misma, a pesar de que la dirección de la corriente sea opuesta en las dos líneas.

La corriente en las tres líneas de energía hacia un motor trifásico debe ser igual. La variación permisible depende de la aplicación, pero con frecuencia no es superior a un pequeño porcentaje.

#### **D. Verifique la condición de los cojinetes**

Muchos motores se descomponen debido a la falla de los cojinetes. Es posible que un cojinete empiece a estar mal antes de que se le observe excesivamente caliente.

1. Partes sueltas o flojas. Enclave el motor y sacuda su eje hacia arriba y hacia abajo y longitudinalmente, midiendo el movimiento con un indicador de cuadrante. Prácticamente cualquier holgura observable en la mayoría de los cojinetes pequeños de elementos rodantes significará que los cojinetes deben ser repuestos. En el caso de otros tipos de cojinetes, verifique la especificación del fabricante en relación con el espacio libre permisible.
2. Vibración. Los problemas con cojinetes pueden ser detectados en una etapa temprana con varios tipos de sensores de vibración. Estos sensores miden tanto la frecuencia de la vibración como la amplitud — la intensidad de las vibraciones. Los cojinetes con elementos rodantes producen frecuencias en la región de ultrasonido que pueden ser captadas por instrumentos especiales.

Repetimos, otra vez, que las lecturas deben ser tomadas en la misma forma a intervalos regulares, de preferencia con los mismos instrumentos calibrados. Los resultados trazados pueden predecir la falla de los cojinetes bastante antes de que ocurra y pueden detectar problemas antes de que el cojinete se caliente en forma significativa.

#### **EJERCICIO DE PRACTICA III**

La inspección de rutina para el mantenimiento preventivo revela que un motor de C.D. totalmente encerrado está consumiendo más de la corriente normal en ambas líneas. Casi seguro, también se encontrará que:

- a) hay una temperatura del bastidor superior a la normal.
- b) hay una ventilación restringida alrededor del motor.
- c) hay escobillas que hacen chispas.
- d) hay cojinetes calientes.

## E. Verifique la resistencia del aislamiento de los devanados

Muchos programas de mantenimiento predictivo prueban la resistencia a tierra de un motor como un medio de determinar la condición del aislamiento.

El aislamiento que está sucio, húmedo, agrietado o dañado en forma alguna, permite el flujo de las corrientes de fuga y genera calor. El calor daña el aislamiento aún más e incrementa la corriente de fuga hasta que se desarrollan cortos verdaderos y el motor dispara sus dispositivos de protección contra sobrecarga o se quema. Cuando puede detectarse con anterioridad el aislamiento defectuoso se evitarán muchos paros no programados.

- Por lo general, las pruebas del aislamiento se hacen con un megóhmetro. Esto se debe a que la resistencia a tierra de cualquier motor debe ser muy alta -- por lo menos de varios millones de ohms. Un ohmímetro (óhmetro) regular no puede medir con precisión las resistencias muy altas; el voltaje de su batería interna es demasiado bajo para producir corrientes conmensurables.

Sin embargo, un megóhmetro aplica un voltaje de C.D. igual o superior al voltaje normal de la línea de energía; produce corrientes mayores, más fáciles de medir y, también, permite la detección de puntos débiles en el aislamiento en donde los voltajes de operación producirían arcos.

El voltaje de un megóhmetro produce una corriente que hace dos cosas: carga el aislamiento como lo hace un capacitor y se fuga a través del aislamiento o sobre su superficie. Mientras más alta es la corriente total más baja será la lectura de la resistencia.

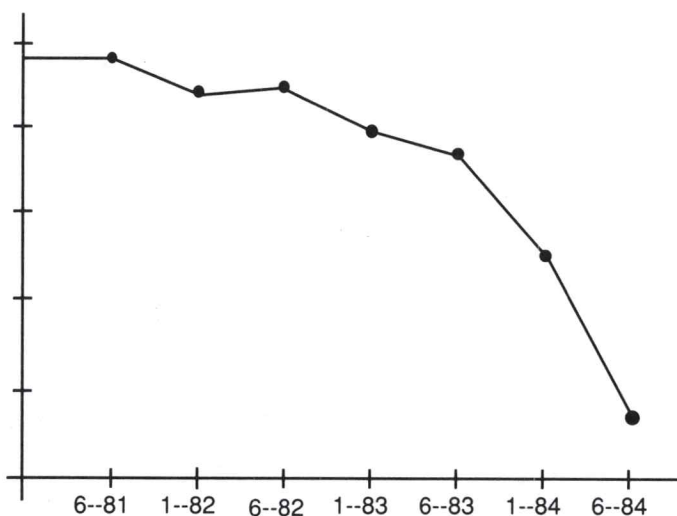
Los procedimientos de prueba recomendados con un megóhmetro varían dependiendo de la clase de medidor y del tamaño y voltaje de operación del motor. Normalmente, cuando se aplica el voltaje de un megóhmetro a los motores con un buen aislamiento, la lectura rápidamente llegará a un valor alto de, por lo menos, varios cientos de megohmios.

Si la lectura no llega a un valor alto rápidamente, esto podría ser indicativo de que el aislamiento se ha empezado a deteriorar o de que el motor está húmedo o sucio. También podría significar que el aislamiento necesita tiempo para cargar totalmente. Para determinar qué es lo que sucede, deje el voltaje del megóhmetro aplicado durante, por lo menos, varios minutos para ver si la lectura se incrementa gradualmente. Con frecuencia, las lecturas se tomarán después de transcurrir 1 minuto y 10 minutos. Si el aislamiento es bueno, la lectura durante los 10 minutos debe ser, por lo menos, del doble de la lectura de 1 minuto.

Si la lectura se nivela rápidamente -- dentro de 30 segundos o menos -- a menos de un valor muy alto, será un signo de que está fluyendo la corriente de fuga uniforme y de que, bajo las condiciones de operación, hay posibilidades de que el aislamiento se deteriore aún más. El motor debe ser observado con todo cuidado en el futuro. Las lecturas deben tomarse frecuentemente y, si la resistencia del aislamiento continúa descendiendo, es posible que el motor falle pronto.

El aislamiento malo en las líneas hacia un motor o en un arrancador de motor producirán la misma lectura que el aislamiento malo en un motor. Para probar el motor solamente, desconéctelo. El desconectar el motor es particularmente importante si hay componentes de estado sólido en el sistema que pudieran dañarse por el voltaje de prueba del megóhmetro.

La temperatura y la humedad afectan la lectura. Las condiciones calientes y de humedad reducen la resistencia; las condiciones secas y frías la aumentan. Hay tablas para corregir las lecturas a las condiciones normales.



Las lecturas del megóhmetro son muy útiles cuando se toman a intervalos regulares a través de la vida de un motor y se trazan tal como se indica arriba. Una baja repentina de resistencia, tal como aquélla entre 6-83 y 1-84 en la gráfica anterior, podría indicar que el motor está empezando a fallar. El motor debe verificarse muy pronto otra vez y si la lectura es aún más baja, deben programarse las reparaciones o el reemplazo.

*Por motivos de seguridad, debe permitirse la descarga del aislamiento cargado durante la prueba. Deje el medidor en el ajuste de "descarga" o conecte un corto entre los puntos de prueba durante, por lo menos, cuatro veces el voltaje de prueba aplicado justo hasta antes de volver a conectar la energía.*

Como una alternativa a las pruebas con megóhmetro, un programa de mantenimiento predictivo puede incluir la prueba del aislamiento del motor con un voltaje de C.D. muy alto -- característicamente de dos veces el voltaje nominal más 1000 voltios.

Normalmente, el voltaje se aumenta en incrementos mientras se mide la corriente a través del aislamiento. La corriente aumentará con el voltaje en un principio y, después, debe nivelarse bastante antes de que se alcance el máximo voltaje de prueba.

Si la lectura de la corriente continúa aumentando o se comporta en una forma errática, esto será indicativo de un aislamiento deficiente. La prueba debe discontinuarse para evitar daños en el motor. Si un motor no pasa la prueba y no es dañado durante la prueba y puede resistir un voltaje por lo menos algo más alto que el voltaje de línea normal, puede regresarse a servicio temporalmente mientras se hacen planes para limpiarlo, secarlo o reponerlo.

Siempre que el arranque inadvertido o el accionamiento repentino de un motor pudiera causarle daños —  
**¡ENCLAVE EL MOTOR!**

#### **EJERCICIO DE PRACTICA IV**

Un motor monofásico de arranque con capacitor es operado entre una línea de energía cargada y un cable neutral puesta a tierra. Al tomar una lectura de megóhmetro, es necesario:

- a) bloquear el interruptor centrífugo en la posición abierta para evitar daños en el capacitor.
- b) desconectar la línea puesta a tierra antes de probar el motor.
- c) promediar las lecturas en cada línea.
- d) verificar el devanado de marcha y el devanado de arranque en forma independiente.

#### **OTRAS PRUEBAS**

Hay muchos otros tipos de pruebas que pueden hacerse en un motor. Las lecturas de resistencia en el caso de los devanados abiertos; de cortos entre devanados; de cortos entre las vueltas de un devanado y de capacitores o interruptores malos son frecuentemente necesarias. Sin embargo, normalmente forman parte de la detección de fallas o del diagnóstico de los problemas que un motor tiene después de que se han observado ciertos síntomas.

## **RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS DE PRACTICA:**

### **Respuesta al Ejercicio de Práctica I**

- c) Es posible que un motor con una capa de mugre se caliente debido a que no puede disipar el calor generado en su interior. Hay muchas posibilidades de que un motor totalmente encerrado y no ventilado se caliente debido a que depende totalmente de la radiación y convección natural del calor a partir de la superficie. Después de limpiar un motor, debe verificarse su temperatura nuevamente. Podría ser que el motor tuviera algún otro problema.

Si el motor ha venido utilizándose continuamente y los sellos están intactos, es probable que el interior todavía esté limpio (a). El motor necesita estar en una corriente de aire para su enfriamiento (b). Un motor totalmente encerrado y no ventilado no tiene respiraderos de aire para expulsar el aire hacia el exterior (d).

### **Respuesta al Ejercicio de Práctica II**

- d) Una capa vidriosa en un colector (conmutador) es normal y no interfiere con la operación apropiada ni produce chispas.

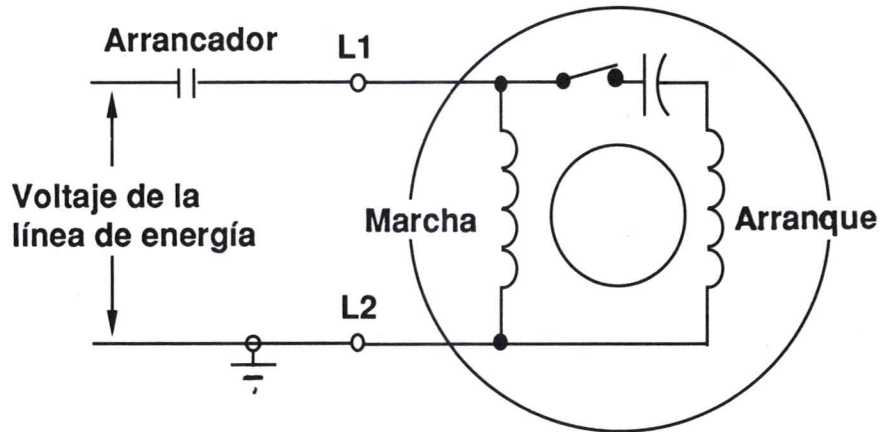
La posición incorrecta del portaescobillas (a) puede producir chispas. Las escobillas deben colocarse en tal forma que las bobinas en las que están produciendo el corto no estén cortando alguna línea de flujo. Aún una rotación ligera de las escobillas alrededor del motor puede producir chispas. Los devanados defectuosos del motor (b) son otra causa probable de la producción de chispas. Los cortos y los circuitos abiertos en la armadura (inducido) o en los devanados de campo distorsionarán el patrón de flujo en el motor. Un colector ovalado (c) también ocasionará chispas, particularmente a las velocidades altas del motor.

### **Respuesta al Ejercicio de Práctica III**

- a) La corriente alta en un motor, sin importar que se derive del hecho de que un motor esté sobrecargado o tenga defectos, hará que el motor se caliente. La ventilación restringida (b) hará que un motor se caliente, pero no afectará la corriente que llega al motor. Es posible que se produzcan chispas (c) en las escobillas de un motor que esté consumiendo corriente alta debido a un defecto en el motor; sin embargo, las escobillas de un motor que esté operando apropiadamente no harán chispas, aún cuando el motor esté consumiendo alta corriente debido a la sobrecarga. Las cargas excesivas o la fricción en los cojinetes pueden hacer que los cojinetes se calienten y que haya una corriente alta (d); sin embargo, hay muchas causas de corriente alta en el motor que no harán que se calienten los cojinetes.

## Respuesta al Ejercicio de Práctica IV

- b) El contactor del motor no abrirá la línea puesta a tierra que va hacia un motor monofásico. Todos los devanados y componentes del motor serán conectados directamente o puestos a tierra a través de aquella y debe ser desconectada antes de medir la resistencia de los devanados del motor a tierra.



No tiene caso bloquear el interruptor centrífugo en la posición abierta (a), debido a que ambos lados del capacitor están conectados a través de los devanados y no se aplicará voltaje de prueba a través de aquél. La lectura en ambas líneas será la misma (c), debido a que el voltaje de prueba a través de los devanados es aplicado a todos los componentes, incluyendo los devanados de arranque y de marcha (d).

## REPASO FINAL

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los enunciados presentados a continuación.

1. El mantenimiento de rutina de un motor debe incluir:
  - A. la lubricación de los cojinetes.
  - B. el desensamble para inspección y pruebas.
  - C. la reposición de las escobillas.
  - D. todo lo anterior.
  
2. Hay muchas posibilidades de que un motor totalmente encerrado acumule humedad en su interior cuando:
  - A. opera continuamente en un ambiente húmedo y caliente.
  - B. pasa a través de muchos ciclos de calentamiento y enfriamiento.
  - C. nunca se deja operar lo suficiente para calentarse.
  - D. opera a baja velocidad durante largos períodos de tiempo.
  
3. El aislamiento en los devanados de un motor podrían dañarse debido a:
  - A. el calor.
  - B. la humedad.
  - C. la sobrelubricación.
  - D. todo lo anterior.
  
4. Los depósitos de aceite deben llenarse:
  - A. con el motor caliente y en operación.
  - B. después de que el motor se ha detenido y enfriado.
  - C. sólo cuando hay evidencia de fugas.
  - D. justo antes de verificar la temperatura de los cojinetes.
  
5. Para asentar apropiadamente las escobillas nuevas:
  - A. haga operar el motor durante varios minutos a plena carga.
  - B. haga que el colector (conmutador) se torne áspero con tela de esmeril.
  - C. eleve temporalmente la presión del resorte de las escobillas.
  - D. lije el derredor del colector.

6. Los motores abiertos a prueba de goteo deben ser desensamblados para su limpieza cuando:
- A. el aro de refuerzo del ventilador esté sucio.
  - B. las escobillas deban reponerse.
  - C. la temperatura de operación del bastidor sea alta.
  - D. los respiraderos de aire estén tapados con mugre.
7. Al engrasar los cojinetes del motor, asegúrese de:
- A. poner grasa hasta que ésta salga alrededor del eje.
  - B. verificar el nivel de grasa antes y después.
  - C. dejar que se libere la presión de la grasa.
  - D. detener el motor y dejarlo enfriar primero.
8. Una prueba con un megóhmetro en un motor indicará:
- A. el voltaje máximo que el aislamiento puede soportar.
  - B. la condición del aislamiento del devanado a tierra.
  - C. si hay cortos entre las vueltas del devanado.
  - D. la resistencia de los devanados.
9. ¿Qué de lo siguiente NO elevará la temperatura del bastidor de un motor arriba de lo normal?
- A. una fricción alta en la carga.
  - B. una baja corriente hacia el motor.
  - C. una marcha lenta.
  - D. el bajo voltaje.
10. Normalmente, el primer signo de que los cojinetes están empezando a fallar es:
- A. un cierto tipo de vibración.
  - B. la holgura y el ruido notorios.
  - C. la pérdida de la potencia del motor.
  - D. la corriente alta del motor y el disparo de los disyuntores de protección contra sobrecarga.

# LECCION 6

## INVESTIGACION DE AVERIAS EN MOTORES

### INTRODUCCION

En primer lugar, esta lección revisa el método de detección de fallas. Después, se concentra en cómo localizar los problemas en las clases de motores que normalmente se encuentran en la industria. Se hace énfasis en la interpretación de los síntomas que presentan los motores para mencionar las causas probables y, posteriormente, ir reduciendo sistemáticamente el número de áreas en que pudiera encontrarse la falla por medio de pruebas. También se hace hincapié en la importancia de determinar las causas base.

### OBJETIVOS

El programa de video y la lección de la guía de estudio están diseñados para permitirle:

- Determinar las causas probables del mal funcionamiento del motor tomando en cuenta los síntomas.
- Probar sistemáticamente el motor para ir eliminando las diferentes posibilidades de la falla hasta localizar el problema.
- Evitar una recurrencia del problema identificando y eliminando la causa del mismo.

## EL METODO DE DETECCION DE FALLAS

La detección lógica y sistemática de fallas identificará un problema mucho más rápido que la prueba de partes al azar. La buena detección de fallas requiere de un método:

### 1. Conozca el motor

La detección de fallas eficiente requiere del conocimiento de los principios generales de la operación de un motor y también de saber:

- a) la clase de motor que no está funcionando bien (trifásico de C.A., monofásico, de inducción, sincrónico; de C.D. en serie, en derivación, compuesto, de imán permanente).
- b) sus especificaciones (velocidad del eje, amperaje de plena carga, voltaje de alimentación requerido).
- c) cómo se supone que debe operar cuando está trabajando bien, bajo carga normal.
- d) qué problemas han habido anteriormente con el motor.

Esto puede requerir la verificación de la placa de fábrica del motor y, también, la revisión de los registros de prueba, de las órdenes de reparación anteriores y de cualesquiera otros registros que existan en relación con el motor.

### 2. Investigue los síntomas

El encontrar la causa de un problema también requiere conocer:

- a) los síntomas exactos que el motor está presentando.
- b) cómo y bajo qué circunstancias se desarrollaron dichos síntomas.

Pruebe la máquina usted mismo. También podría ser útil hablar con el operador de la máquina.

### 3. Analice los síntomas y haga una lista de las causas probables

Si conoce los motores, este motor en particular y los síntomas que está presentando, debe poder imaginarse cuál es la causa del problema y así descartar algunas partes del motor o del sistema de carga o suministro como elementos que no tienen problemas. Haga una lista de las causas probables de la falla.

#### 4. Haga una prueba de las causas probables

Por lo general, las pruebas requieren del uso de medidores. Sin embargo, hay ocasiones en que todo es tan simple como oprimir el botón de arranque y verificar si el contactor funciona. Las mejores pruebas son aquellas que:

- a) son rápidas y sencillas de llevar a cabo.
- b) sirven para probar las causas más probables.
- c) eliminan en forma decisiva, por sus resultados, el número mayor de los componentes del sistema.

Las pruebas eliminarán todas menos una causa probable. Entonces, para determinar el problema con mayor precisión, se debe hacer otra subdivisión y repetir la prueba. En resumen, este proceso consiste en repetir los pasos 3 y 4, posiblemente varias veces, para encontrar aquello que es responsable de los síntomas que presenta el motor -- el cojinete malo, la bobina con corto circuito, el contacto quemado u otra parte defectuosa que puede arreglarse.

#### 5. Descubra las causas fundamentales

Para evitar un problema similar en el futuro, las condiciones que hicieron que la parte fallara deben ser identificadas y corregidas. La mayoría de las causas fundamentales se relacionan con la sobrecarga, la corriente alta, el calor elevado -- y, por lo usual, la combinación de estas tres condiciones. Las condiciones específicas que deben buscarse incluyen:

- a) la fricción alta en alguna parte mecánica.
- b) el polvo.
- c) la humedad.
- d) la ventilación inadecuada.
- e) las altas temperaturas ambientales.
- f) el voltaje bajo crónico.
- g) la selección, instalación o ajuste incorrectos de las bandas o acoplamientos.
- h) la selección, instalación o calibración incorrectas de los disyuntores de protección contra sobrecarga.

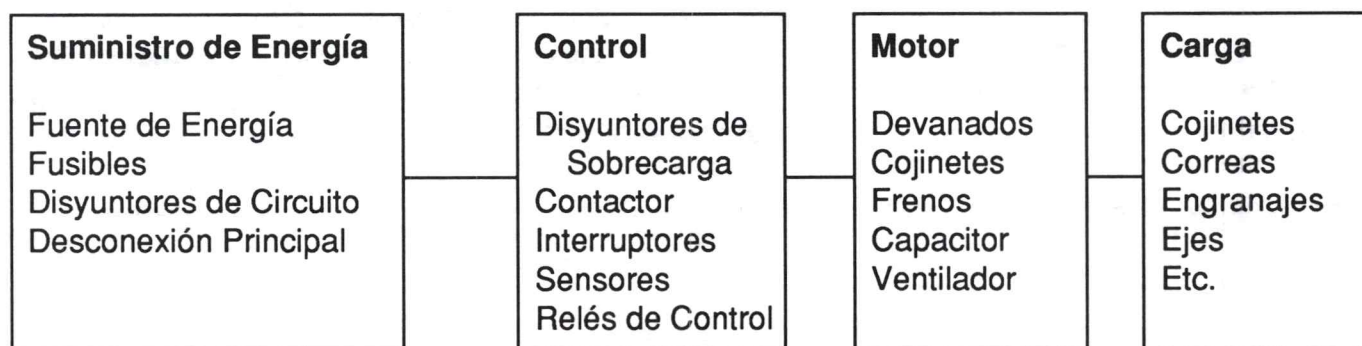
## APLICACION DEL METODO

Cuando un motor no opera correctamente, piense en la máquina en términos de sus partes funcionales. El sistema consiste de componentes que suministran energía para el motor, componentes que controlan la operación del motor, el propio motor y la carga que el motor está impulsando.



Es posible que un motor no opere correctamente debido a un problema en cualquiera de estas partes funcionales de la máquina. La detección de fallas incluye, en primer lugar, el aislamiento del problema a una de estas secciones de la máquina. La mejor prueba es aquélla que elimina una o más secciones a la vez. Debido a que el componente principal de control, el arrancador, está a la mitad del sistema, las pruebas en el arrancador eliminarán los bloques funcionales en uno u otro lado.

Una vez que la causa probable haya sido aislada a un Bloque Funcional en particular, el propio bloque puede ser subdividido. Cada Bloque Funcional consiste de grupos de componentes que trabajan juntos.



En el bloque de suministro de energía se encuentra la fuente de energía, los fusibles o los disyuntores y una desconexión principal de alguna clase. En el bloque de control se encuentran los disyuntores de sobrecarga, el contactor principal y cualesquiera dispositivos de control tales como botones de presión, sensores de posición y relés ("relays") de control. El bloque del motor incluye los devanados, los cojinetes y otros componentes como las escobillas o los capacitores. La carga característicamente incluye muchos componentes mecánicos.

Se requerirá de pruebas adicionales para descubrir qué parte o componente individual es responsable del problema en el motor. Por ejemplo, si usted aísla un problema en un motor monofásico que no opera, debe eliminar el circuito de arranque o el circuito de operación. Si el problema está en el circuito de arranque, se debe determinar si hay un interruptor centrífugo atorado, un capacitor abierto o con corto, un devanado abierto u otra parte defectuosa.

Este método de subdividir y probar será el mismo sin importar en qué sección de la máquina se estén detectando los problemas.

Cuando un motor no opera, hay muchas posibilidades de encontrar que sus disyuntores de protección contra sobrecarga se han disparado. Los siguientes problemas de detección de fallas tratan ampliamente de las causas probables del disparo de los dispositivos de protección contra sobrecarga. Empecemos por determinar las fallas de un motor en el que **no** se han disparado los dispositivos de protección contra sobrecarga.

## PROBLEMA I

**Síntomas:** El motor no opera y parece estar totalmente muerto. Los dispositivos de protección contra sobrecarga no están disparados.

Debido a que el motor no está haciendo ruido alguno ni muestra señas de operar, hay dos posibilidades: que no le esté llegando el voltaje o que la corriente no le esté pasando.

### Causas Probables:

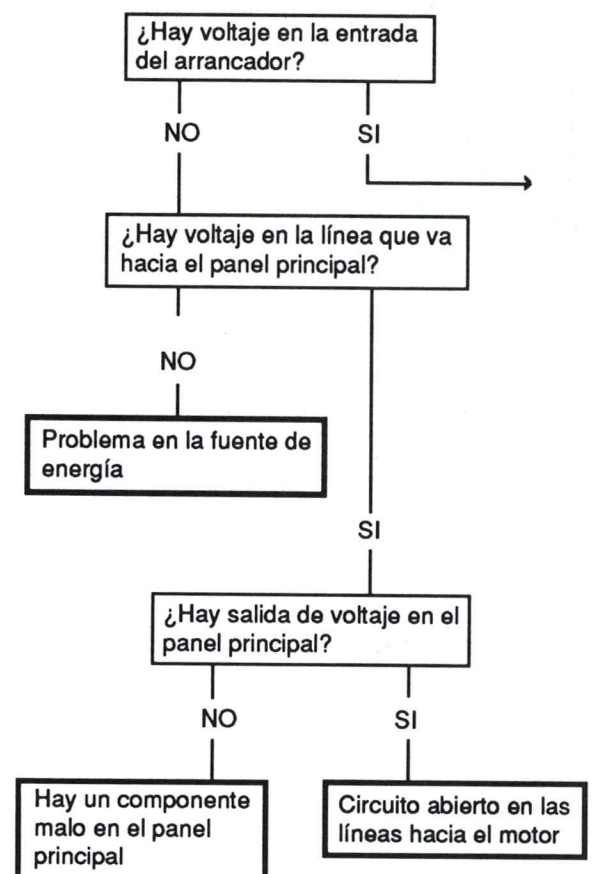
1. El suministro de energía no está proveyendo energía.
2. La sección de control no está pasando energía al motor.
3. Hay un circuito abierto en el motor o en las líneas que van hacia él.

Para aislar el problema a uno de estos bloques funcionales principales de la máquina, empiece las pruebas en la sección de control.

Prueba — 1: Mida el voltaje en las líneas que van hacia el arrancador. El voltaje normal eliminaría el suministro de energía. Si ve que no hay voltaje, esto elimina el motor y la sección de control como causa probable del problema. El voltaje proveniente del suministro de energía no está llegando al arrancador.

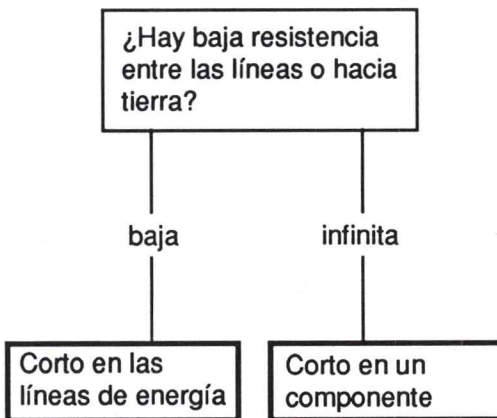
Prueba — 2: Vaya al panel principal. Si están bien los fusibles y los disyuntores, verifique el voltaje en las líneas de energía que entran al panel. Si no hay voltaje, hay un problema con la fuente de energía; posiblemente un transformador malo o una línea sin funcionar.

Prueba — 3: Si se mide el voltaje de la fuente normal que va hacia el panel principal, verifique la salida de voltaje. Si no hay voltaje, habrá un alambre roto, una barra colectora agrietada o una conexión mala en alguna parte del bloque de fusibles o disyuntores de circuito. El voltaje en las líneas fuera del panel principal, pero no en el arrancador, significa un circuito abierto en las líneas.



Por lo general, cuando hay un fusible quemado o se ha disparado un disyuntor de circuito, la causa es un corto circuito en alguna parte del sistema. Un corto es una trayectoria no intencional de corriente de baja resistencia. Con frecuencia es el resultado de la falla del aislamiento. El corto lleva más corriente de la que las líneas de energía pueden suministrar en forma segura y la corriente alta derrite los elementos del fusible o dispara el disyuntor de circuito.

*¡No reemplace un fusible ni reponga ("reset") un disyuntor de circuito sino hasta que esté satisfecho de que se ha eliminado el corto que hizo que se quemara el fusible o se disparara el disyuntor! El enviar corriente hacia un corto a través de un fusible nuevo o un disyuntor de circuito repuesto no sólo hace que se desperdicie el fusible y que se forcen los contactos del disyuntor sino que, también, puede ser peligroso. Un corto a tierra puede hacer que la caja explote.*



Prueba — 1: Enclave la energía y verifique para asegurarse de que no hay voltaje en las líneas fuera del panel principal. Después, con todas las cargas desconectadas, mida la resistencia entre las líneas fuera del panel principal y entre cada una de ellas y la tierra. Una lectura baja indica un corto en las líneas. Las lecturas de resistencia infinita indican un corto en un motor u otro componente que no está en ese momento conectado a las líneas.

Es muy probable que el corto circuito esté en un componente y no en las líneas de energía.

## **EJERCICIO DE PRACTICA I**

Si no hay voltaje en la bobina del contactor, de seguro que tampoco habrá voltaje en:

- a) el panel principal.
- b) el transformador de control.
- c) el motor.
- d) el entrada al arrancador.

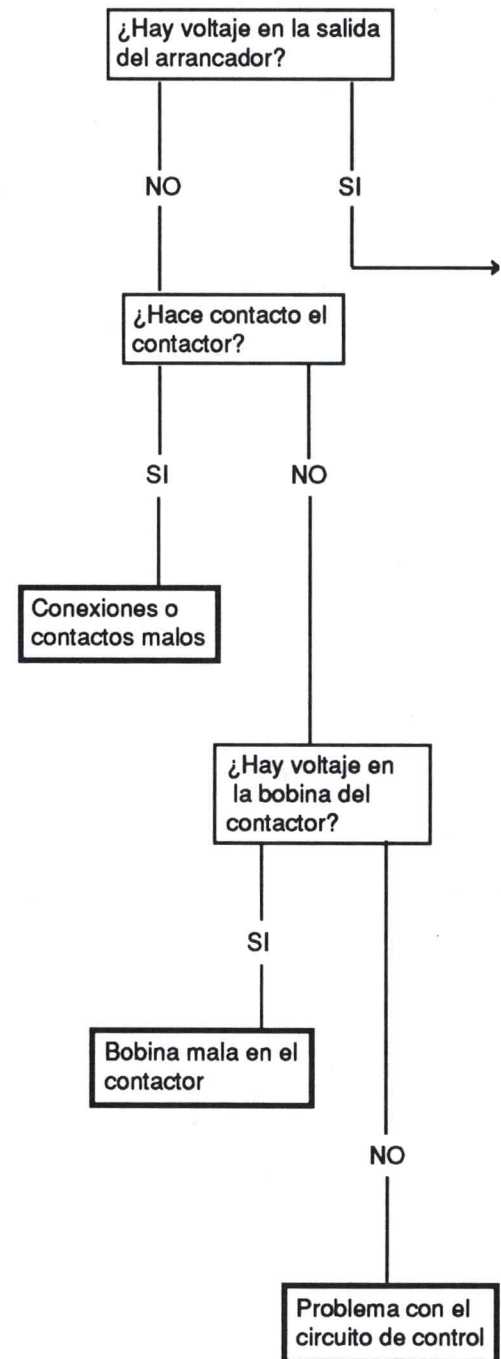
- **Si el motor está muerto y hay un voltaje de alimentación normal en la entrada al arrancador**, se eliminará el suministro o fuente de energía. El problema será que la sección de control no está pasando energía o que la corriente no puede pasar a través del motor.

Prueba — 1: Para determinar qué es lo que sucede, verifique el voltaje en la salida del arrancador con el botón de arranque oprimido. Si ve que no hay voltaje, se eliminará el motor como causa problema, ya que no estará funcionando debido a que la sección de control no le está pasando energía por alguna razón.

Prueba — 2 : Verifique para ver si el contactor hace contacto al oprimir el botón de arranque. Si hace contacto en forma normal, pero no hay voltaje en la salida del arrancador, hay dos posibilidades: que los contactos tengan defectos o que haya una conexión mala desde o hacia el contactor. Una inspección rápida normalmente ayudará a localizar el problema. Hay muchas posibilidades de que el contactor no esté haciendo contacto. Esto elimina los contactos y las conexiones.

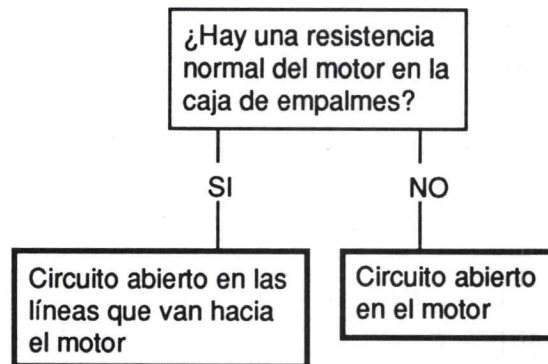
Prueba — 3: Subdivida el problema: o está mala la bobina del contactor o no está obteniendo el voltaje de control. Para determinar cuál es el problema, verifique el voltaje de control en las terminales de la bobina oprimiendo el botón de arranque. El voltaje normal de control en la bobina significa que la bobina está quemada. La falta de voltaje indica un problema en la circuitería de control.

La detección de fallas en el circuito de control por lo general implica verificar, primero, si hay un fusible de circuito de control quemado y si hay energía en el circuito de control. Si, obviamente, el fusible no está quemado, verifique si hay voltaje normal corriente abajo del fusible para asegurarse de que no hay alambres o conexiones con defectos y de que el transformador del circuito de control esté bien. Si el voltaje es normal, verifique el diagrama esquemático del sistema para ver qué componentes -- los interruptores, los sensores o los relés de control -- debieran estar pasando energía. Después, verifique el voltaje de punto a punto para identificar cuál de aquellos elementos está abierto.



- **Si el motor está muerto y hay voltaje en la salida de la sección de control**, tanto el suministro o fuente de energía como las secciones de control de la máquina están haciendo su trabajo. El problema debe ser que la corriente no está pasando a través del motor debido a un circuito abierto en el motor o en las líneas que van hacia él.

Prueba — 1: Para determinar cuál es el problema, enclave la energía, abra la caja de empalmes en el motor y verifique la resistencia entre las líneas de energía. La resistencia normal del motor indica que el circuito abierto está en las líneas que van hacia el motor. La resistencia muy alta o infinita indica un circuito abierto en el motor.



El problema pudiera ser:

- devanados del motor quemados.
- disparo de un disyuntor de sobrecarga térmica en el motor. Muchos motores monofásicos pequeños tienen esta clase de protección térmica integral; los motores trifásicos, de C.D. y los motores grandes de cualquier clase raramente la tienen.
- un alambre roto debido a la vibración, rozadura o fricción.
- una escobilla rota o atorada, un alambre flexible de escobilla roto o soporte de escobilla suelto en un motor de C.D.

Sin importar cuál sea el problema, trate de determinar cuál fue su causa.

## **EJERCICIO DE PRACTICA II**

Se proporciona un motor monofásico a partir de dos líneas de energía cargadas. La resistencia entre las conexiones de línea en el motor es de 4 ohms. La resistencia entre la línea y la tierra es de 2 ohms. Se concluiría que:

- el motor no ha sido dañado.
- hay un corto entre las vueltas del devanado.
- hay un corto total en una de las líneas de energía.
- hay un corto a tierra cerca de la mitad del devanado.

## PROBLEMA II

Síntoma: Se dispararon los disyuntores de protección contra sobrecarga.

Los disyuntores de protección contra sobrecarga en un arrancador característico de motor magnético, constan de:

1. Un calentador de baja resistencia. En los sistemas modernos, hay un calentador en cada línea de energía que lleva corriente al motor, excepto en el caso de los elementos neutrales puestos a tierra. La corriente total hacia el motor pasa a través del calentador en cada línea.
2. Un elemento sensor de temperatura que se encuentra cerca de cada calentador.
3. Un juego de contactos normalmente cerrados operados por cada elemento. Los juegos de contactos están conectados en serie con la bobina del contactor, por lo que si cualquiera de ellos se abre, el contactor se dispara y abre todas las líneas hacia el motor.
4. Un enganche de reposición ("reset") manual que vuelve a cerrar cualquiera de los grupos de contactos que se han disparado y abierto.

Cuando la corriente hacia el motor es demasiado alta (arriba del Amperaje de Plena Carga o FLA del motor) por demasiado tiempo, los calentadores elevan la temperatura de los elementos sensores y los contactos se abren, parando el motor. Esto protege el motor contra el sobrecalentamiento y quemadura que podría resultar si la carga requiriera más de la potencia nominal del motor.

Sin embargo, los dispositivos de protección contra sobrecarga también se dispararán debido a:

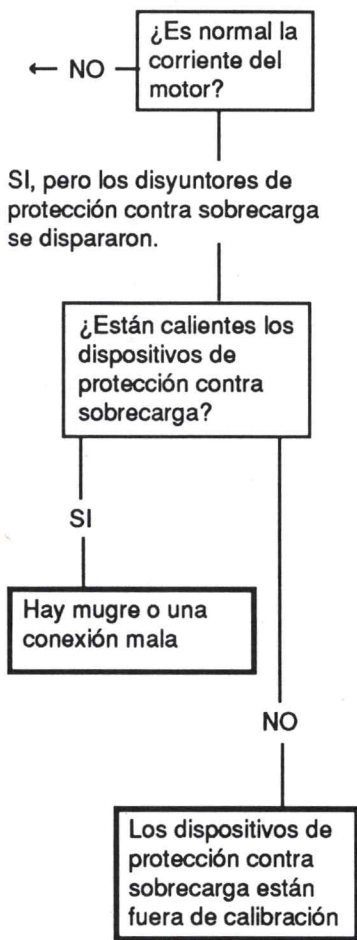
- a) las altas temperaturas, no relacionadas con la corriente del motor en y alrededor de los dispositivos de protección contra sobrecarga.
- b) el voltaje incorrecto hacia el motor.
- c) cualquier defecto en un motor que reduzca su eficiencia, tal como:
  - cortos o circuitos abiertos en los devanados.
  - alta fricción en los cojinetes del motor.

Para determinar la razón del disparo de los disyuntores de protección contra sobrecarga, verifique primero la máquina para ver si hay problemas mecánicos. Por ejemplo, es posible que haya alguna parte rota o atascada en la carga. Si no hay nada obviamente erróneo, será necesario reponer los dispositivos de protección contra sobrecarga, tratar de arrancar el motor y observar los síntomas. Hay varias situaciones posibles:

**Situación I:** El motor arranca y parece operar en forma normal.

Causas probables:

1. Los disyuntores de protección contra sobrecarga se dispararon con una corriente demasiado baja.
2. El motor consumió demasiada corriente durante un tiempo demasiado largo.



**Prueba — 1:** Verifique la corriente en las líneas hacia el motor. En aquellas máquinas en las que la carga del motor normalmente varía, revise la corriente a través de un ciclo completo para ver si la corriente del motor se eleva y por cuánto tiempo, arriba del amperaje de plena carga del motor. Si la corriente promedio no es superior al amperaje de plena carga del motor, los dispositivos de protección contra sobrecarga no deben volver a dispararse. Si se disparan es debido a que están demasiado calientes o a que están indebidamente calibrados.

**Prueba — 2:** Para determinar cuál es el problema, verifique la temperatura ambiente alrededor de la caja del arrancador y en el arrancador cerca de los dispositivos de protección contra sobrecarga. Si la temperatura es superior a la temperatura de operación nominal de los dispositivos de protección contra sobrecarga, trate de descubrir cuál es la razón. La alta resistencia en las conexiones o en los contactos de los dispositivos de protección contra sobrecarga, debido a partes sueltas, corrosión o mugre puede producir calor. Una capa de mugre en los componentes puede interferir con el flujo de aire libre y producir el calentamiento del dispositivo de protección contra sobrecarga.

Si la temperatura está dentro de los límites especificados, los dispositivos de protección contra sobrecarga necesitan de recalibración. La recalibración correcta de los dispositivos de protección contra sobrecarga requiere de equipo especial para medir no sólo la corriente, sino el tiempo. El factor de servicio del motor también afecta el ajuste. La verificación de la corriente hacia el motor y su comparación con el amperaje de plena carga del motor debe considerarse solamente como una guía aproximada.

*¡No ajuste el disparo de los dispositivos de protección contra sobrecarga, ni reemplace un calentador sobrecargado con otro calentador a menos que haya determinado positivamente que el dispositivo de protección contra sobrecarga se está disparando, de hecho, con un ajuste inferior al especificado para el motor particular de que se trate!*

- Si la corriente promedio que va hacia el motor es mucho más alta que el amperaje de plena carga del motor, no habrá duda de que se volverán a disparar los dispositivos de protección contra sobrecarga. Hay tres causas posibles de corriente alta:

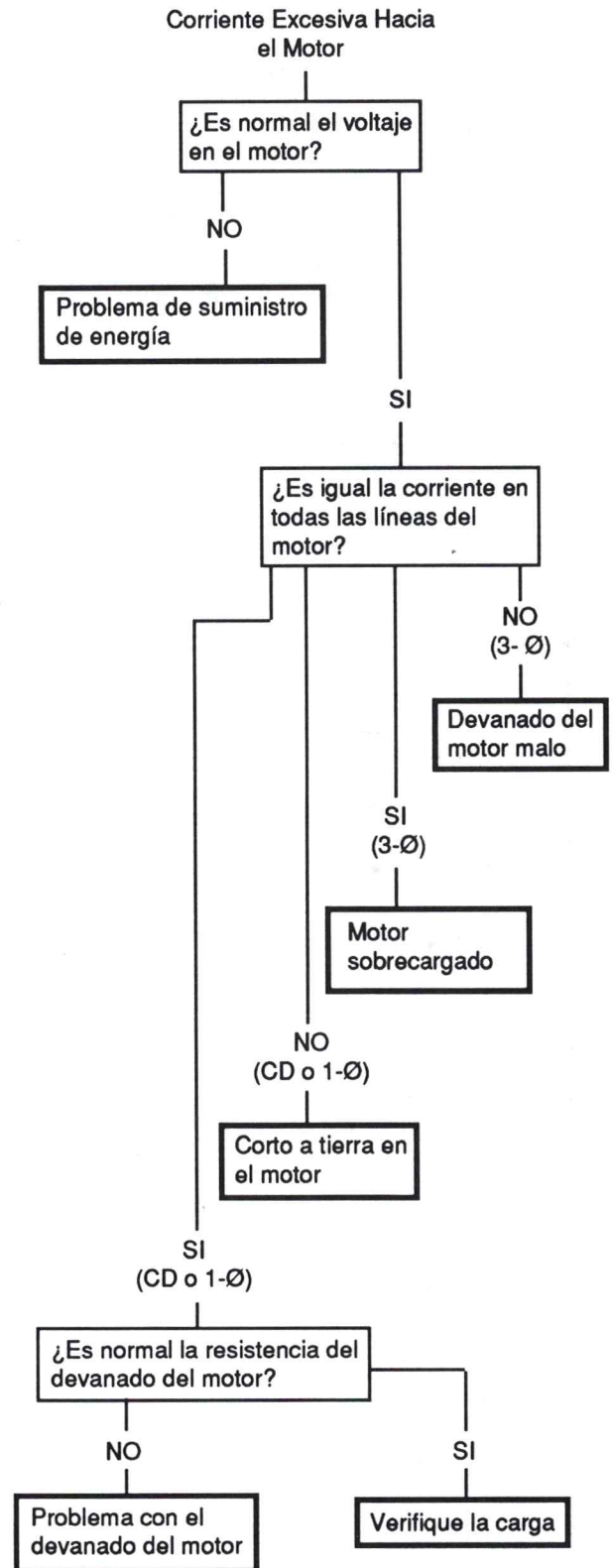
1. el voltaje de alimentación está equivocado.
2. el motor tiene defectos.
3. el motor está sobrecargado.

Prueba — 1: Verifique el voltaje de alimentación en el motor con el motor operando bajo carga completa. Si es de más del 10% arriba o debajo del especificado, hay un problema de suministro de energía. Si el voltaje es normal, se elimina la fuente o suministro de energía como causa problema.

Prueba — 2: Compare las corrientes en todas las líneas hacia el motor.

- a) En el caso de los motores trifásicos, si las corrientes son desiguales en las tres líneas de energía cuando los voltajes de línea a línea son iguales, hay algún defecto en los devanados del motor. Si las corrientes son iguales, los devanados del motor son eliminados como causa problema y ésta última será una falla mecánica en el motor o en la carga.
- b) En el caso de motores de C.D. o de motores monofásicos, si las corrientes son desiguales en las dos líneas, debe haber un corto a tierra en el motor. Sin embargo, las corrientes **iguales** en las dos líneas **no** necesariamente eliminan todos los problemas en los devanados del motor. Todavía podría haber un devanado abierto, cortos entre devanados o cortos entre las vueltas de los devanados.

Prueba — 3: Para eliminar con mayor seguridad los problemas eléctricos en los motores monofásicos y de C.D., enclave la energía, desconecte los cables o terminales del motor en la caja de empalmes del motor y mida la resistencia a tierra, la resistencia entre los devanados que no están internamente conectados y la resistencia de los devanados individuales. Las lecturas anormales indican problemas eléctricos en los devanados del motor.



Las resistencias a tierra y entre devanados deben ser infinitas y la resistencia de los devanados individuales debe ser baja.

Nota: La resistencia a tierra y entre devanados puede, normalmente, ser leída con precisión con un ohmímetro estándar. Sin embargo, la resistencia de muchos devanados de motor es tan baja que un ohmímetro regular no puede detectar los cortos entre las vueltas. Es posible que se necesiten otros instrumentos de prueba:

- a) Un probador de sobretensión aplica un impulso a dos devanados idénticos en un motor al mismo tiempo y muestra su respuesta en una pantalla de osciloscopio. Las diferencias en el trazo de la pantalla en el caso de los dos devanados, indican un problema en uno de los devanados.
- b) Una herramienta de prueba conocida como probador de inducidos puede detectar cortos en los devanados del rotor y envía un flujo magnético a través del rotor. Los cortos cambian las propiedades magnéticas del rotor y producen un ruido tipo zumbido cuando el rotor está en determinadas posiciones. El rotor debe ser removido del motor para ser probado.

Si las pruebas eliminan un defecto en un devanado de motor, el problema debe estar en la carga. La inspección cuidadosa normalmente revelará problemas tales como:

- cojinetes malos. Siempre que los cojinetes del motor y los cojinetes en la carga estén calientes, sueltos o presenten ruidos habrá que sospechar que tienen problemas.
- partes dobladas, trabadas o que se arrastran.
- error del operador al imponer una carga excesiva en el equipo, impulsarlo demasiado rápido o detener, arrancar, invertir la dirección, hacer marchar en reversa o frenar eléctricamente el motor con demasiada frecuencia.
- mal ajuste de la presión y flujo del sistema. Si se ajusta la válvula de alivio de presión para una presión superior a la indicada se incrementará la carga sobre el motor de la bomba. A veces, cuando se abren las válvulas o los amortiguadores para aumentar el flujo, se aumenta la carga sobre los motores de la bomba centrífuga y del ventilador.
- la carga extra impuesta por el equipo recientemente adicionado o alterado.
- herramientas de corte sin filo, una alimentación demasiado rápida, material demasiado grueso o muy duro.

- La situación más difícil en la detección de fallas ocurre cuando su amperímetro indica que la corriente hacia el motor es normal y que los dispositivos de protección contra sobrecarga no se vuelven a disparar dentro de un lapso razonable. ¿Por qué se dispararon en un principio?

El problema puede haber sido un evento accidental o un error del operador de alguna clase. Determine, junto con el operador, las condiciones exactas que prevalecían cuando se dispararon los dispositivos de protección contra sobrecarga. ¿Estaba la máquina sobrecargada? ¿Era el ambiente de la fábrica demasiado caliente? ¿Había alguna indicación de bajo voltaje en la planta, tal como luces opacas? Si no se puede encontrar alguna razón para que los dispositivos de protección contra sobrecarga se dispararan, no habrá nada que hacer sino prepararse para verificar el motor con más frecuencia de lo normal para ver si hay alguna señal de problema.

### **EJERCICIO DE PRACTICA III**

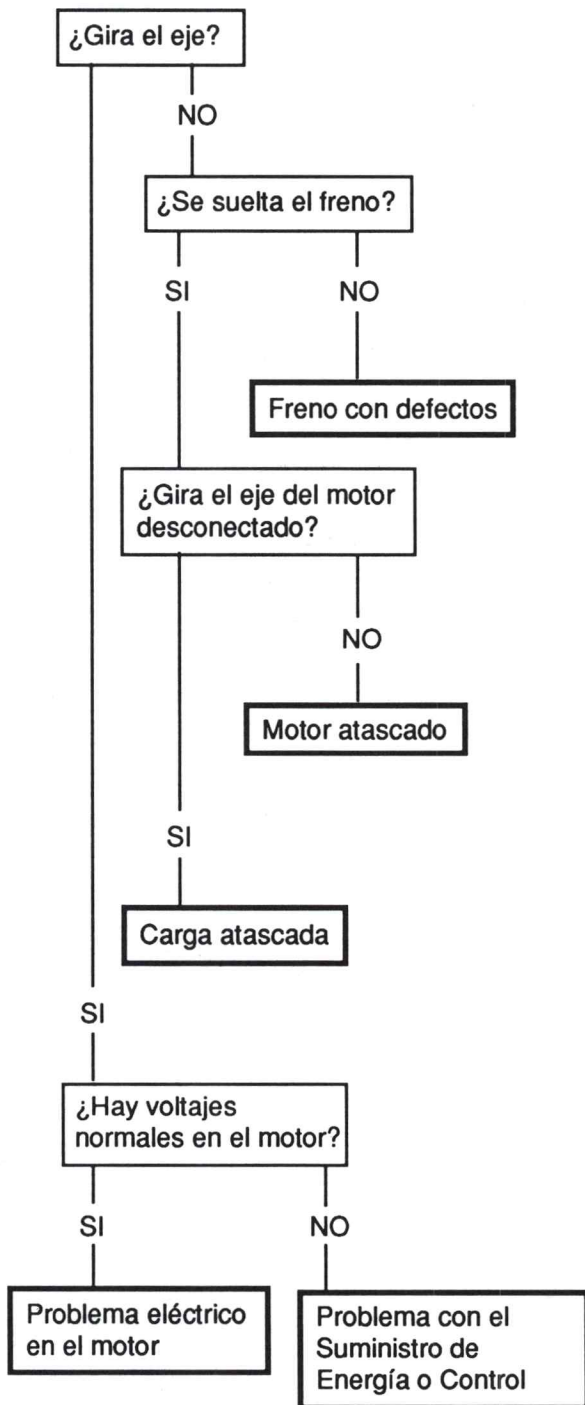
Un motor de inducción particular consume más corriente de la normal, pero no dispara los disyuntores de protección contra sobrecarga. El voltaje es normal. La condición que, sin duda, se observará es:

- a) una velocidad del motor inferior a la normal.
- b) una resistencia del devanado del estator inferior a la normal.
- c) una resistencia del circuito del rotor superior a la normal.
- d) un ajuste demasiado bajo del disyuntor de protección contra sobrecarga.

**Situación II:** El eje del motor no gira y en el motor se escucha un zumbido hasta que los dispositivos de protección contra sobrecarga se vuelven a disparar rápidamente.

Causas probables:

1. Una parte atascada ha trabado el eje.
2. El freno no se suelta en los motores con un freno electromecánico.
3. Un problema eléctrico en el motor o en el suministro.



Prueba — 1: Trate de girar el eje manualmente. Si no gira, se eliminará como causa probable un problema eléctrico en el motor; algo está atorado o el freno no se está soltando.

Prueba — 2: Si el motor tiene un freno, suéltelo manualmente cuando sea posible, o desconéctelo y aplíquelo energía en forma independiente para ver si se está soltando. Si el freno está funcionando en forma correcta o si no hay freno alguno,

Prueba — 3: Separe el eje del motor de la carga removiendo la banda o desconectando el acoplamiento. Si el eje del motor no gira aún cuando esté desconectado, algo ha atascado el motor. Si el eje del motor gira libremente, pero la carga no gira, algo ha atascado la carga.

Si el eje del motor acoplado gira manualmente, se eliminará como causa del problema un freno que no se está soltando o una parte mecánicamente atascada. Debe haber un problema eléctrico en el motor o en el suministro.

Prueba — 4: Verifique el voltaje hacia el motor. Un motor trifásico no arrancará si una fase está muerta. Los motores de inducción y los motores sincrónicos deben tener un voltaje adecuado para arrancar bajo carga. Los motores en derivación de C.D. deben tener voltaje hacia el campo y, también, hacia la armadura o inducido. Si todos los voltajes son correctos en el motor, el suministro de voltaje se eliminará como una causa del problema. Habrá un problema eléctrico en el motor. Pruebe para ver si esto es cierto, tal como se especificó en el caso del ejemplo anterior.

Cuando los motores monofásicos zumban y se disparan rápidamente sus dispositivos de protección contra sobrecarga, otra causa probable podría ser una falla eléctrica en el circuito de arranque:

1. un devanado de arranque abierto.
2. un interruptor centrífugo atorado en la posición abierta.
3. un capacitor defectuoso.

Estos componentes deben ser desconectados y verificados individualmente.

*Antes de medir la resistencia de un capacitor -- o de tocar algún circuito que incluye un capacitor -- asegúrese de que el capacitor esté completamente descargado.*

Un ohmímetro detectará un devanado de arranque abierto, un interruptor centrífugo abierto y un capacitor con corto. Sin embargo, la resistencia tanto de un capacitor bueno como de un capacitor abierto es infinita; un ohmímetro no puede distinguir estas condiciones. Para una indicación precisa utilice un verificador de capacitor.

Sin embargo, si no tiene un verificador de capacitor, un ohmímetro ajustado a la escala de ohms más alta le dará cierta indicación de la condición del capacitor. La resistencia de un capacitor bueno será baja, en un principio, pero dentro de unos cuantos segundos la lectura deberá acumularse hasta llegar, por lo menos, a varios cientos de miles de ohms conforme la batería interna del ohmímetro cargue el capacitor. Mientras más alta es la capacitancia, más lento será el ascenso de la lectura. Los capacitores de arranque característicamente tienen una capacitancia muy alta. Los capacitores de operación o marcha tienen menos capacitancia, por lo que la lectura se acumula más rápidamente.

Si la lectura:

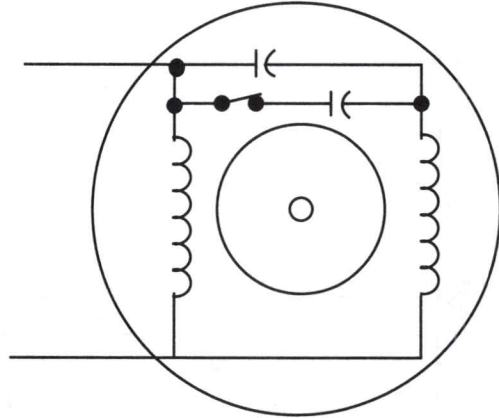
- a) es inmediatamente muy alta, sin ningún indicio de una lectura inicial baja, es posible que el capacitor esté abierto.
- b) permanece siendo baja, el capacitor tiene un corto.
- c) no se acumula a, por lo menos, varios cientos de miles de ohms, el capacitor tiene fugas.

En los tres casos, el capacitor debe ser reemplazado.

## EJERCICIO DE PRACTICA IV

Un motor con capacitor de arranque y capacitor de operación/marcha, no arrancará bajo carga. Sin embargo, arrancará sin carga y una vez que alcance su velocidad accionará su carga en forma normal. ¿Cuál es la causa probable?

- a) Que el fusible principal está quemado en una fase.
- b) Que hay un capacitor de arranque abierto.
- c) Que la jaula del rotor tiene grietas.
- d) Que el interruptor centrífugo no se abre.
- e) Que los disyuntores de protección contra sobrecarga están incorrectamente calibrados.
- f) Que hay vueltas con corto en el devanado de operación.



**Situación III:** El motor opera pero no alcanza su velocidad total y pronto se vuelven a disparar los dispositivos de protección contra sobrecarga.

**Causas probables:**

1. Problema con el suministro de energía.
2. Motor sobrecargado
3. Problema eléctrico en el motor.

Prueba — 1: Mida el voltaje de línea a línea en las terminales del motor. Si el voltaje de suministro es normal, el problema está en el motor o carga.

Prueba — 2: Verifique el motor en cuanto a defectos eléctricos como en el ejemplo anterior. Si se encuentran defectos, inspeccione la carga para ver si hay problemas.

**NOTA:**

La mayoría de los motores de C.D. y algunos motores de C.A. son controlados por unidades motrices que proveen un voltaje variable al motor. Los defectos en estos dispositivos pueden ocasionar una marcha lenta y el disparo de los dispositivos de protección contra sobrecarga bajo ciertas condiciones de carga.

Si el fabricante puede suministrar curvas de velocidad/corriente para el motor y puede medirse la velocidad del motor, compare la corriente que el motor está realmente consumiendo con la corriente que debiera consumir a la velocidad medida.

Si el motor está consumiendo más corriente de la que debiera, quiere decir que tiene defectos y así quedará eliminado todo problema con la carga. Si el motor está operando a una velocidad inferior a su velocidad nominal, pero está consumiendo la corriente correcta para la velocidad a la que está operando, quiere decir que está sobrecargado.

## **EJERCICIO DE PRACTICA V**

Un motor carece de energía; su velocidad se reduce demasiado bajo carga y se atasca fácilmente. La primera prueba consistiría en verificar:

- a) si hay cortos a tierra en las terminales del motor.
- b) la carga en cuanto a fricción alta producida por partes dobladas, desgastadas o no lubricadas.
- c) la corriente del motor.
- d) el voltaje hacia el motor.
- e) cojinetes defectuosos del motor o un eje doblado del motor.
- f) la temperatura del bastidor del motor.

## **RUIDOS Y VIBRACION EN EL MOTOR**

El ruido y la vibración frecuentemente indican que un motor está dañado y está operando en forma ineficiente o que está siendo dañado y que fallará muy pronto. En cualquier caso, el problema debe ser identificado y corregido aún cuando el motor siga llevando a cabo su trabajo y no esté produciendo el disparo de los disyuntores de protección contra sobrecarga.

Tanto las fallas mecánicas, como las eléctricas, pueden producir el ruido o la vibración.

Fallas eléctricas:

- el voltaje monofásico es bajo en un sistema trifásico.
- hay un devanado monofásico abierto en el motor.
- la jaula del rotor, en el motor de jaula de ardilla, está agrietada.
- hay un devanado de rotor abierto en el rotor devanado o en el motor de C.D.

Bajo carga pesada, estos defectos producirían la falta de potencia, la operación lenta y una tendencia al atascamiento y a disparar los dispositivos de protección contra sobrecarga. Sin embargo, si la carga es ligera, el motor puede operar sin problemas notorios, excepto por lo que se refiere al ruido y a la vibración. El voltaje con fase perdida y el devanado con fase abierta evitarán el arranque, pero si esta condición ocurre cuando un motor está operando, podría pasar desapercibida.

### Fallas mecánicas:

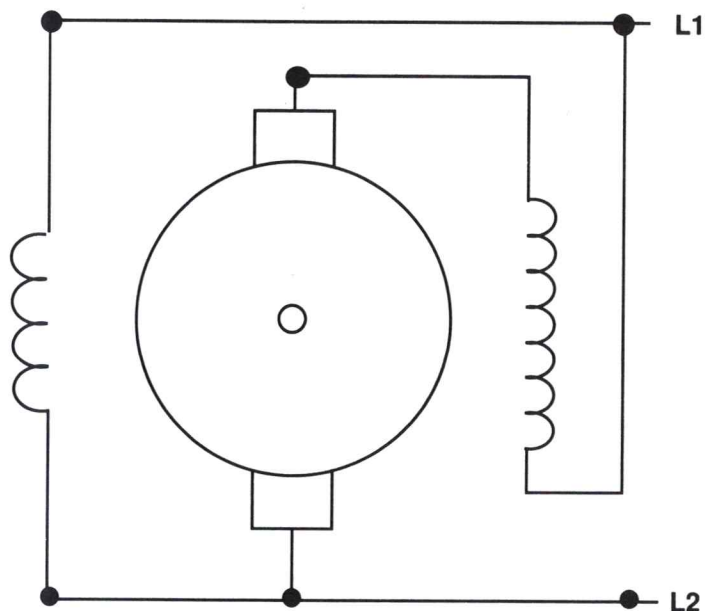
- cojinetes sueltos, desgastados o no lubricados.
- eje doblado.
- partes desbalanceadas.
- correas o acoplamientos mal alineados.
- pernos (tornillos) de montaje u otros sujetadores sueltos en o cerca del motor.
- traqueteo de escobillas, colector (conmutador) o anillos de fricción ásperos.
- ventilador dañado; aro de refuerzo de ventilador doblado.

Por lo general, la inspección ayuda a encontrar los problemas mecánicos; esto se logra escuchando con atención, posiblemente con la ayuda de un estetoscopio y verificando, con un indicador de cuadrante, si el eje está suelto o desviado.

### EJERCICIO DE PRACTICA VI

Para detectar una bobina de derivación abierta en el motor compuesto mostrado, mida la resistencia en las líneas de energía con:

- las escobillas puestas en corto.
- una escobilla levantada.
- la bobina en serie con corto.
- la bobina en derivación desconectada.



## **EJERCICIO DE PRACTICA VII**

Al oprimir el botón de arranque, se supone que la bobina del contactor en un arrancador de motor entra en contacto y cierra los contactos de la línea de energía hacia el motor.

En una unidad en particular en la que la bobina es accionada directamente por el voltaje de línea, al oprimir el botón de arranque se observa el traqueteo violento en los contactos, conectando y desconectando el contacto del motor. ¿Qué podría ocasionar esto?

- a) Bobina con corto.
- b) La resistencia en las líneas de energía entre la fuente y el contactor.
- c) Contactos con alta resistencia o una mala conexión entre el contactor y el motor.
- d) Un devanado abierto en el motor.

## CAUSAS FUNDAMENTALES

Para evitar la recurrencia de la falla de un motor, trate de determinar la causa del problema.

### A. Calor

Prácticamente todas las fallas de un motor están relacionadas con el calor.

Desafortunadamente, el calor no es un síntoma tan obvio como el atascamiento, el ruido o el disparo del disyuntor de sobrecarga. Normalmente pasa inadvertido, debido a que no interfiere, en lo absoluto, con la operación de un motor. Sin embargo, finalmente, el calor destruye el motor quemando el aislamiento.

Hay muchas condiciones que pueden hacer que un motor se caliente. Las causas más comunes son:

1. La sobrecarga. Cualquier motor se sobrecalentará si se espera que produzca mucha potencia durante demasiado tiempo. La alta potencia requiere de la corriente alta y la corriente alta significa calor.
2. Voltaje incorrecto. Tanto el voltaje bajo como el voltaje alto pueden producir el sobrecalentamiento. También una forma distorsionada de onda de voltaje -- C.D. no filtrada y C.A. distorsionada -- pueden contribuir al sobrecalentamiento.
3. Ventilación inapropiada.
  - a) La operación lenta. Los motores con velocidad controlada por un ventilador impulsado por eje tienden a sobrecalentarse cuando el eje y el ventilador giran demasiado lentamente para mover aire suficiente.
  - b) Operación del motor en un ambiente demasiado caliente.
  - c) Operación del motor en donde la ventilación está restringida o en donde ha fallado un ventilador externo que no produce aire de enfriamiento.
  - d) Motor sucio. La mugre, tanto en el interior de los motores abiertos como en el exterior de los motores encerrados, puede evitar que el motor pierda calor lo suficientemente rápido.
4. Defecto eléctrico en el motor. Los cortos en las vueltas de los devanados, los devanados abiertos, los cortos a tierra o cualquier otro problema en los devanados del motor pueden hacer que un motor se caliente. Los problemas en el colector (conmutador)/escobilla también pueden contribuir al calentamiento.
5. Defectos mecánicos en el motor. La fricción en los cojinetes o sellos produce calor y aumenta la carga del motor por lo que éste se sobrecalienta.

## B. Ejes Doblados

Algunas veces se doblan los ejes del motor que giran rápidamente cuando son detenidos repentinamente por un atascamiento en la maquinaria o cuando giran repentinamente a partir de la posición estática. Los ejes doblados causan vibración y la falla de los cojinetes y, en casos extremos, permitirán la fricción del rotor contra el estator. Con frecuencia, el resultado de esto es el ruido, el trabamiento total o la falla para arrancar. Los ejes de los motores muy grandes, que permanecen sin girar durante mucho tiempo, podrían doblarse en forma permanente debido al peso del rotor.

## C. El arranque con voltaje completo, el avance lento y la inversión repentina de la dirección de un motor en forma repetida

Las corrientes altas de arranque y de reversa en los devanados del motor producen fuerzas magnéticas poderosas que tensionan todas las partes del motor. Los cortos o los circuitos abiertos ocurren debido a que los alambres de devanados, que son forzados repetidamente a salir de su lugar, se vuelven quebradizos y se rompen o se produce el ludimiento (desgaste por roce y calentamiento) en el aislamiento.

## D. Vibración

Las partes sueltas en el montaje de un motor, la desalineación de los ejes del motor, las partes rotatorias desequilibradas, los cojinetes sueltos o defectuosos y los ejes doblados pueden producir vibración. El desequilibrio eléctrico, tal como el que ocurre cuando son desiguales las corrientes trifásicas, también produce la vibración y ésta hace que los cojinetes fallen.

## E. Exceso de Velocidad

El rotor de cualquier motor tiene una velocidad segura máxima. Arriba de esa velocidad, la fuerza centrífuga podría romper y aflojar los devanados o hacer que todo el rotor volara en pedazos. Mientras más grande es el rotor, más lenta es la velocidad segura. Los motores de C.D. en serie y cualquier motor de C.D. que pierde su flujo de campo, tienden a presentar una velocidad excesiva. Una sobrecarga puede hacer que un motor sea impulsado demasiado rápidamente.

## F. Daños por agua u otras condiciones ambientales

La lluvia, el aire salino, el fuego cercano, el polvo, la arena y otros ambientes corrosivos o abrasivos pueden arruinar un motor. Por lo general, el motor falla debido a daños en el aislamiento. La humedad, la sal y cualquier otro material conductor en el aislamiento permitirá la tensión de salto que quema las secciones del aislamiento. Los vapores de solventes pueden suavizar o degradar algunos tipos de aislamiento y los abrasivos harán que se desgaste.

## **EJERCICIO DE PRACTICA VIII**

Los cojinetes de bolas de un motor de inducción de jaula de ardilla fallaron. Al investigar las causas fundamentales de la falla, es posible que se considere una pérdida de tiempo el verificar:

- a) el ambiente del motor en cuanto a contaminantes que pudieran haber dañado los sellos de los cojinetes.
- b) el programa de lubricación y los registros de mantenimiento.
- c) la tensión de la correa o la alineación del eje.
- d) si hay evidencia del sobrecalentamiento de los cojinetes.
- e) si hay un rotor partido u otro defecto eléctrico en el motor.

## RESPUESTAS A LOS EJERCICIOS DE PRACTICA:

### Respuesta al Ejercicio de Práctica I

- c) Sin duda alguna no habrá voltaje en el motor, debido a que está corriente abajo del contactor. Si no hay voltaje en la bobina del contactor, el contactor no hará contacto y no enviará la energía al motor.

Por otro lado, el contactor no envía la energía al panel principal (a), al transformador de control (b) o a la entrada del arrancador (d). El voltaje en estos lugares es independiente del voltaje en el contactor. Por ejemplo, podría haber voltaje en la entrada del arrancador; sin embargo, un relé con fallas en el circuito de control podría no estar pasando energía a la bobina del contactor.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica II

- d) Hay un corto a tierra cerca de la mitad del devanado del motor. La resistencia a tierra en las terminales del motor deben ser de, por lo menos, varios megohmios. Una lectura baja, como de 2 ohms, definitivamente indica un corto en algún lado.

Si hubiera un corto muerto en una de las líneas de energía (c), la resistencia a tierra en una terminal sería de 0 ohms. En la otra terminal, la lectura sería de 4 ohms del devanado del motor. No todos los cortos están "muertos". En otras palabras, los cortos tienen resistencia en ocasiones. Sin embargo un corto con 2 ohms, en una terminal de línea de energía, produciría una lectura de 6 ohms en la otra terminal de la línea de energía -- la resistencia del devanado del motor adicionada a la resistencia del corto. Por lo tanto, el corto debe estar en el motor. El motor se ha dañado (a).

El corto está cerca de la mitad del devanado debido a que la resistencia a tierra, en cada terminal de motor es de aproximadamente la mitad de la resistencia de todo el devanado que conecta las terminales del motor. Un corto como éste llevaría poca o ninguna corriente y podría no afectar la operación del motor. Sin embargo, es un signo de un motor con defectos. Cuando se desarrolla un corto, hay muchas posibilidades de que ocurra otro más y es probable que el motor empiece a quemar fusibles o que se convierta en un riesgo de choque eléctrico.

Los cortos entre las vueltas del devanado (b) no tendrán efecto alguno sobre la resistencia a tierra.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica III

- a) La velocidad del motor será inferior a la normal. El motor está consumiendo demasiada corriente debido a que tiene defectos o está sobrecargado. Un motor de inducción defectuoso no podrá correr tan rápido como lo hace un motor bueno bajo la misma carga y un motor de inducción sobrecargado reducirá su velocidad sin importar que tenga, o no, defectos.

Tanto lo indicado en el punto b) como en el punto c) podría hacer que un motor consumiera alta corriente; sin embargo, ninguna de esas condiciones es necesaria en el caso de una corriente alta de motor. Las vueltas con cortos en los devanados del estator producirían una resistencia baja del devanado del estator (b) y un devanado abierto de rotor, en un motor de rotor devanado, produciría una alta resistencia en el circuito del rotor (c). Sin embargo, la sobrecarga es una causa de problema más remota.

El dispositivo de protección contra sobrecarga (d) está ajustado demasiado alto, ya que los disyuntores de sobrecarga no se están disparando a pesar de que la corriente es muy alta.

### Respuesta al Ejercicio de Práctica IV

- b) Un capacitor de arranque abierto reduciría, en forma importante, la torsión de arranque. En el arranque, el capacitor de arranque y el capacitor de marcha están en paralelo y ambos alimentan la corriente al devanado de arranque. Si ambos capacitores están bien, serán altas tanto la corriente del devanado de arranque como la torsión de arranque. Sin embargo, si el capacitor de arranque está abierto, el devanado de arranque obtiene corriente a través del capacitor de marcha solamente, por lo que la corriente y la torsión son bastante bajas.

Una vez que el motor alcanza su velocidad, el interruptor centrífugo corta el capacitor de arranque del circuito, por lo que un capacitor de arranque abierto no afectaría la operación normal del motor. Si no se abriera el interruptor centrífugo (d), el motor arrancaría en forma normal, pero pronto se dispararían sus disyuntores de protección contra sobrecarga al alcanzar su velocidad.

Una jaula de rotor agrietada (c) y las vueltas con corto en un devanado de operación (f) reducirían la energía a todas las velocidades. La calibración del disyuntor de sobrecarga (e) no afecta la torsión de arranque de un motor -- a menos que los dispositivos de protección contra sobrecarga se disparen y el motor no opere en lo absoluto.

Un motor de capacitor es monofásico; un fusible principal quemado (a) cortaría toda la energía hacia él.

## **Respuesta al Ejercicio de Práctica V**

Haga, primero, la prueba más fácil y aquéllas que eliminarán positivamente una o más de las secciones principales de la máquina como causa del problema. En la mayoría de los casos, la verificación del voltaje hacia el motor (d) eliminará las secciones de la alimentación de energía y de control o las secciones del motor y de carga. Para eliminar, también, las líneas que van hacia el motor, cuando sea posible mida el voltaje en el motor. Sin embargo, es muy útil una lectura en la salida del arrancador; además esa lectura es muy fácil de tomar.

Las demás opciones podrían ser necesarias en algún punto en el proceso de detección de fallas, pero son más difíciles y no tan concluyentes. Para interpretarlas, de todos modos se requeriría de la lectura del voltaje que llega al motor.

## **Respuesta al Ejercicio de Práctica VI**

- b) Al levantar una escobilla se abre el circuito que incluye la armadura (inducido) y los devanados de campo en serie. El único circuito completo que queda a través del motor son los devanados en derivación. La medición de la resistencia en las conexiones de las líneas de energía proveerá una lectura de su resistencia.

El cortocircuitar las escobillas juntas y medir la resistencia del motor (a) equivale a medir la resistencia de la bobina en serie. Al cortocircuitar la bobina en serie (c) y medir la resistencia del motor, se verifica la resistencia de la armadura (inducido) y de las escobillas. En ambos casos, los devanados en derivación también están en paralelo, pero su resistencia es tan superior a la de los devanados en serie y a la de las escobillas y de los devanados de la armadura (inducido) que tiene poco efecto sobre la lectura.

Si usted desconecta el devanado de campo en derivación de las líneas de energía (d), la resistencia entre las líneas de energía será la resistencia del devanado de campo en serie con las escobillas y los devanados de la armadura (inducido). Se estaría midiendo todo, excepto la bobina en derivación.

## **Respuesta al Ejercicio de Práctica VII**

- b) La resistencia en las líneas de energía entre la fuente y el contactor puede hacer que el contactor vibre. Cuando el contactor se cierra y conecta el motor a la línea, fluye la corriente alta y produce la caída de voltaje en las líneas. Si la resistencia y la corriente son lo suficientemente altas, el voltaje se reducirá tanto que la bobina del contactor se disparará, abriendo el circuito del motor. El voltaje se elevará otra vez, el contactor hará contacto y el ciclo se repetirá.

Es probable que una bobina con corto (a) no trabaje en lo absoluto y que funda el fusible del circuito de control. La alta resistencia en los contactos del contactor o entre el contactor y el motor (c) no tendría efecto alguno sobre el voltaje de la bobina; la bobina trabajaría en forma normal al oprimir el botón de arranque aunque podría volver a dispararse al soltar el botón de arranque si los contactos auxiliares tienen defectos.

Un devanado abierto en el motor (d) no tendría efecto alguno sobre la operación del contactor.

### **Respuesta al Ejercicio de Práctica VIII**

- d) No cabe duda de que los cojinetes que tengan fallas se habrán sobrecalentado; sin embargo, la evidencia de un sobrecalentamiento no nos dice nada acerca de las condiciones que produjeron la falla.

Por otro lado, las otras cuatro opciones podrían revelar la causa fundamental del problema. Con frecuencia, los cojinetes fallarán si los sellos no impiden la entrada de contaminantes (a). También podrían fallar si no son lubricados en la forma debida (b); si la tensión de la banda es demasiado alta o si los ejes están desalineados (c) o si un rotor partido o con algún otro defecto eléctrico produce la vibración excesiva del motor (f).

## REPASO FINAL

1. Ponga los pasos de la detección de fallas en el orden en que se llevarían a cabo.
  - A. Identifique las causas fundamentales.
  - B. Haga una lista de las causas probables.
  - C. Investigue los síntomas.
  - D. Pruebe para eliminar las causas probables

\_\_\_\_\_

INSTRUCCIONES: Encierre en un círculo la letra que **mejor** complete los siguientes enunciados:

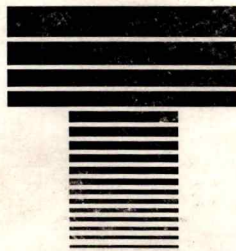
2. Las secciones funcionales de la mayoría de los sistemas de motores son:
  - A. la lógica, la protección contra la sobrecarga y la conmutación.
  - B. el suministro, el control, el motor y la carga.
  - C. la entrada, el rotor/estator y la salida.
  - D. el bastidor (carcasa), los devanados y los cojinetes.
3. Es muy probable que la causa del disparo de los disyuntores de protección contra sobrecarga sea:
  - A. el exceso de la corriente que pasa al motor durante un lapso prolongado.
  - B. un devanado de motor defectuoso (con corto o abierto).
  - C. la alta temperatura en la caja del controlador del motor.
  - D. el alto voltaje en el motor.
4. Los disyuntores de protección contra sobrecarga, en un arrancador de motor trifásico:
  - A. solamente abrirán la línea sobrecargada.
  - B. se dispararán de inmediato si el voltaje monofásico es alto o bajo.
  - C. detendrán el motor si la corriente es alta en cualquier línea.
  - D. se dispararán si se eleva demasiado la temperatura ambiente alrededor del motor.
5. Cuando un motor no opera, es posible que se encuentre(n):
  - A. disyuntores de protección contra sobrecarga disparados.
  - B. devanados de motor quemados.
  - C. un fusible quemado.
  - D. un corto en el motor.

6. Al llevar a cabo la detección de fallas en un motor, las primeras pruebas deben diseñarse para eliminar, como causa del problema:
- A. los componentes individuales.
  - B. bloques o secciones de componentes.
  - C. el motor o la carga.
  - D. las líneas de energía o los componentes.
7. Los fusibles y los disyuntores de circuito se disparan cuando:
- A. se sobrecarga un motor.
  - B. se interrumpe la fuente de energía.
  - C. la corriente fluye en un corto circuito.
  - D. el voltaje del sistema es demasiado alto o demasiado bajo por alguna razón.
8. Cuando un contactor magnético no trabaja, las causas probables son:
- A. contactos de contactor malos o disyuntores de sobrecarga abiertos.
  - B. líneas de energía hacia el motor abiertas o un motor abierto.
  - C. un problema mecánico en el motor o en la carga.
  - D. una bobina quemada o la falta de voltaje en la bobina.
9. Las corrientes altas, pero iguales, en las líneas hacia un motor trifásico indican que el motor:
- A. tiene defectos.
  - B. está frenando la carga.
  - C. tiene el voltaje correcto.
  - D. está sobrecargado.
10. Situación: Al oprimir el botón de arranque el contactor trabaja, pero el motor no arranca, ni hace ruido. Los dispositivos de protección contra sobrecarga no se disparan. Se debe probar:
- A. el voltaje en el panel principal.
  - B. el voltaje de salida del arrancador.
  - C. si el eje puede girar.
  - D. la corriente hacia el motor.

11. Situación: Un motor opera lentamente, se sobrecalienta y dispara sus disyuntores de protección contra sobrecarga. Se debe probar:
- A. si hay restricción de ventilación.
  - B. la calibración de los disyuntores de protección contra sobrecarga.
  - C. el voltaje hacia el motor.
  - D. el voltaje del sistema de control.
12. Situación: Un motor zumba y el eje no gira. Los disyuntores de protección contra sobrecarga se disparan rápidamente. El voltaje es normal. Se debe verificar:
- A. la corriente hacia el motor.
  - B. si el eje está enclavado.
  - C. la resistencia de los devanados del motor.
  - D. la temperatura en la caja del arrancador.

**INSTRUCCIONES:** Indique si las siguientes oraciones son Ciertas o Falsas.

13. \_\_\_\_ Aparentemente, un motor funciona normalmente; sin embargo, ocasionalmente dispara los disyuntores de protección contra sobrecarga. No tiene caso verificar el voltaje de línea.
14. \_\_\_\_ El motor no arranca a pesar de que hay voltaje en la salida del arrancador. No cabe duda de que el problema reside en las líneas hacia el motor, en el motor o en la carga.
15. \_\_\_\_ Con el motor enclavado en el panel principal y los cables del motor todavía conectados a las líneas, se mide la resistencia entre las líneas en la caja de empalmes. Una lectura que muestra una alta resistencia significa que hay un problema eléctrico en el motor.
16. \_\_\_\_ Al encontrar que se ha disparado un disyuntor del circuito principal, se debe, simplemente, reponer el disyuntor y probar la máquina para localizar el corto.
17. \_\_\_\_ Hay voltaje de línea presente y los disyuntores de protección contra sobrecarga del motor no se han disparado. Cuando se encuentra que no hay voltaje en la salida del arrancador, se elimina la carga como una posible causa de problema.



**TEL-A-TRAIN**  
*A Westcott Company*

P.O. Box 4752 ■ 309 North Market Street ■ Chattanooga, Tennessee 37405  
1-800-251-6018 ■ 423-266-0113 ■ Fax 423-267-2555