



# Capítulo 13

# Análisis de Motores

# Eléctricos

## *Temas:*

- Motores de inducción y síncronos
  - Problemas en el estator
  - Pata coja
  - Problemas de rotor: rotores excéntricos, pandeo del rotor, barras de rotor agrietadas, rotor suelto, bobinas del estator sueltas
  - Análisis de la corriente del motor
  - Problemas de laminación
  - Conexiones sueltas

## Introducción

Con el fin de entender completamente los motores eléctricos y ser experto en el diagnóstico de las condiciones de falla, ayuda entender cómo estos funcionan. Como cualquier máquina giratoria sufren de fallas mecánicas: desbalance, desalineación, fallas de rodamientos, eje doblado y más. Sin embargo, los motores eléctricos, ya sean síncronos, de CC, de inducción, y si son impulsados desde una frecuencia fija o desde una frecuencia variable, todos tienen vibración que resulta de las fuerzas magnéticas que los hacen girar. Comprender esas fuerzas puede ayudarle a comprender los patrones de vibración que presenciamos.

## Los fundamentos del magnetismo

El primer concepto básico en entender es que el norte atrae al sur, y viceversa. Los motores eléctricos están diseñados básicamente para crear un campo magnético giratorio que un rotor magnetizado se ve obligado a seguir. La diferencia entre cada tipo de motor es cómo crea el campo magnético giratorio y cómo se magnetiza el rotor.

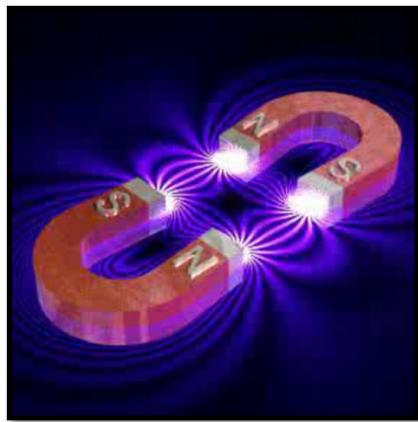


Figura 13-1

### *Creación de un campo magnético con flujo de corriente*

Cuando pasamos una corriente eléctrica a través de un conductor, se crea un campo magnético alrededor del conductor, pero solo mientras la corriente está fluyendo. Cuando la corriente fluye en una dirección, se establecerá un campo magnético con el polo norte y sur definido. Cuando la corriente fluye en la otra dirección, el polo norte y el polo sur invierten la dirección. La fuerza del campo magnético es proporcional a la fuerza del flujo de corriente. Y si el flujo de corriente se detiene, el campo magnético muere.

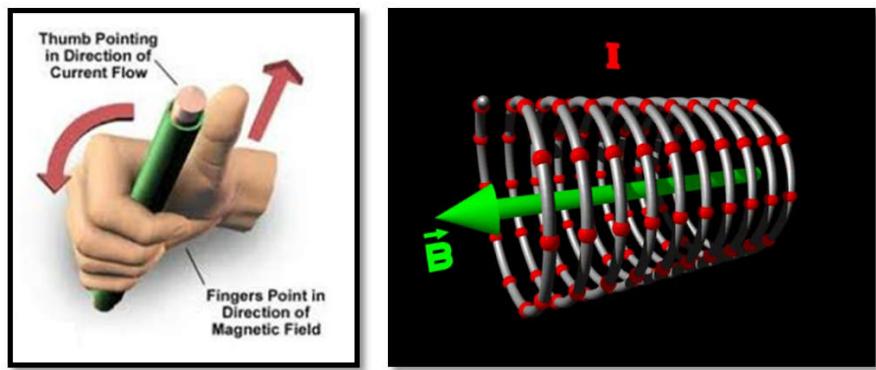


Figura 13-2

Por ejemplo, si se aplica una tensión de CC a los extremos de un conductor, la corriente fluirá y se creará un campo magnético. Pero momentos después, si el flujo actual se detiene, el campo magnético morirá.

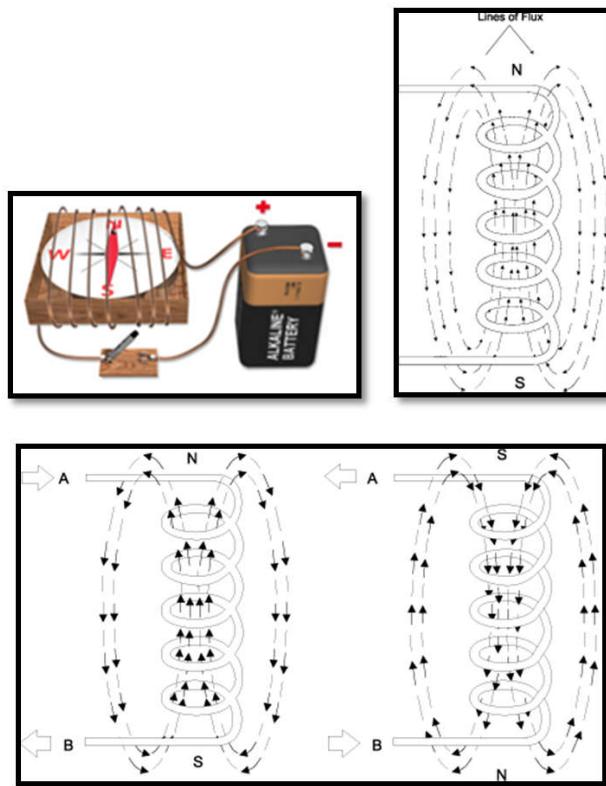


Figura 13-3

Sin embargo, un sistema de CA de corriente alterna es diferente. Una tensión de CA sube y baja en un patrón sinusoidal con una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz. A medida que la tensión sube de cero a la tensión máxima 90 grados más tarde, el flujo de corriente aumentará a un valor máximo. A medida que eso suceda, se establecerá un campo magnético que alcanzará su máximo en fase con el flujo de corriente. Pero a medida que la corriente vuelve a cero, 90 grados más tarde, el campo magnético volverá a cero.

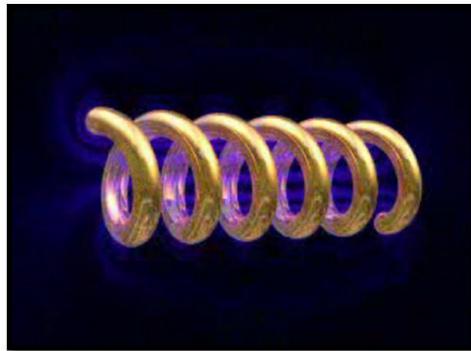


Figura 13-4

Pero entonces la corriente comenzará a fluir en la dirección opuesta. Por lo tanto, el campo magnético se establecerá de nuevo, pero esta vez el polo norte y sur se invertirá. Una vez más el campo magnético alcanzará su máximo cuando el flujo de corriente es mayor, a 270 grados, y muere de nuevo como la corriente vuelve a cero a 360 grados.

Esto sucede con cada ciclo; 50 veces por segundo o 60 veces por segundo.

Si miramos eso una vez más, podemos ver que el campo magnético se vuelve fuerte dos veces por ciclo; una vez con el norte y el sur orientados de una manera, y luego con el norte y el sur orientados hacia el otro lado. Es por eso que a menudo vemos una fuerte fuente de vibración que ocurre al doble de la frecuencia de línea; 100 Hz o 120 Hz.

Cada vez que un objeto magnético, u objeto ferroso, es sometido a un campo magnético, reacciona a las fuerzas. Este fenómeno se llama magnetostricción. La magnetostricción es la deformación de un material magnético en presencia de un campo magnético, y causa vibración a 100 o 120 Hz en todos los dispositivos eléctricos como motores, generadores, transformadores, etc. Por lo tanto, es común observar vibraciones de 100 Hz o 120 Hz en motores eléctricos.

### ***Bobinas y campos magnéticos***

El siguiente tema para considerar es el efecto de tomar el conductor y crear una bobina. Cuando la corriente fluye a través de un conductor, se crea un campo magnético, como se acaba de describir. Sin embargo, cuando el conductor tiene forma de bobina, la intensidad del campo magnético se duplica. Si hacemos dos lazos, el campo magnético se fortalece aún más. Por lo

tanto, los motores eléctricos utilizan bobinas de alambre aislado para crear campos magnéticos muy fuertes. Las bobinas están integradas en el estator y, opcionalmente, en el rotor (depende del tipo de motor).



Figura 13-5 Una bobina moviéndose sobre un imán induce una corriente

### ***Induciendo corriente en un conductor***

Otro hecho importante es que cuando un conductor es sometido a un campo magnético en movimiento, la corriente fluirá en ese conductor. Funciona a la inversa a lo que acabamos de describir. El flujo de corriente crea un campo magnético, y eso puede inducir la corriente en otro conductor. La cantidad de flujo de corriente depende de la fuerza del campo magnético y la longitud del conductor (el número de bobinas) que pasa a través del campo magnético.

Ignorando las pérdidas por un momento, si usamos una corriente alterna de 5A para crear un campo magnético usando 10 bobinas de conductor, y había otra bobina de 10 conductores en el campo magnético, entonces 10 A fluirán a través de la segunda bobina. Así es como funcionan los transformadores, y así es como funcionan los motores de inducción. Verá, cuando los 5A son inducidos a fluir en la segunda bobina, esta también genera un campo magnético. Discutiremos esto con más detalle en breve.

El punto principal es que la corriente que fluye a través de un conductor generará un campo magnético, y un conductor que se mueve a través de un campo magnético, o se coloca en un campo magnético en movimiento, tendrá el flujo de corriente inducido en ese conductor.

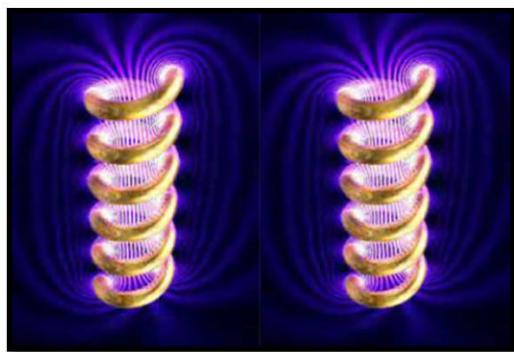


Figura 13-6

## La aplicación a motores eléctricos

Esta característica del magnetismo inducido y el flujo de corriente se pone en práctica al diseñar motores eléctricos. El estator está construido con bobinas de alambre distribuidas alrededor del interior de la carcasa del motor. Cuando se aplica la tensión de CA a las bobinas, hacen que se cree un campo giratorio. La velocidad de rotación depende del número de polos en el motor. Se llama velocidad síncrona.

$$\text{Synchronous speed, } n_s = \frac{120f}{p} \text{ [rpm]}$$

Un motor de dos polos y 3 fases genera un campo giratorio que gira a 60 Hz, o 3000 rpm.

Un motor de cuatro polos creará un campo magnético giratorio a 30 Hz, o 1500 rpm.

Un motor de seis polos creará un campo magnético giratorio a 20 Hz, o 1200 rpm.

Tenga en cuenta que si utilizamos un variador de frecuencia, en lugar de utilizar 60 Hz (o 50 Hz), podemos utilizar cualquier frecuencia que elijamos.

Ahora que tenemos un campo magnético giratorio podemos ponerlo a trabajar para mover un rotor.

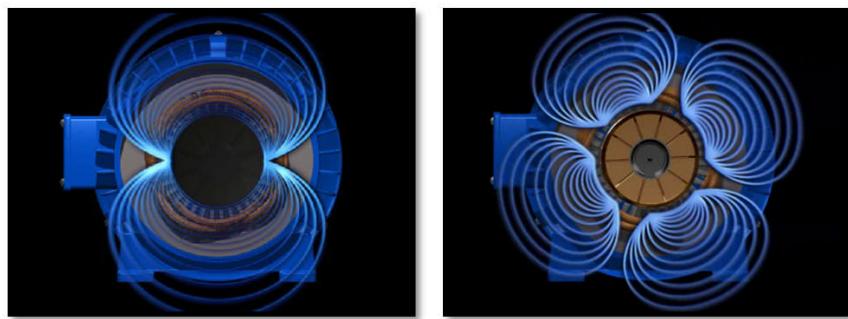


Figura 13-7 – Campos magnéticos giratorios en estator de motores de dos y cuatro polos

## Motores sincrónicos

Si el rotor es en sí mismo un imán, entonces seguirá el campo magnético giratorio a la velocidad síncrona. Se llama **motor sincrónico**. Se puede lograr de dos maneras:

Si colocamos un rotor de imán permanente dentro del campo giratorio, entonces girará a la velocidad síncrona.

Si colocamos un bobinado dentro del estator, y suministramos la misma tensión de CA al rotor, generará un campo magnético que también seguirá el campo magnético giratorio a la velocidad síncrona.

## Motores de inducción

La tercera opción es más complicada. Los motores de inducción también incluyen un rotor con conductores, sin embargo, estos conductores no se alimentan. En su lugar, cuando se inicia el motor y el campo magnético comienza a girar, se induce una corriente en los conductores del rotor. Una fuerte corriente comenzará a fluir porque está estacionaria dentro de un campo en movimiento fuerte. Tan pronto como la corriente comience a fluir se generará un campo magnético. Esto hace que el rotor se comporte como un imán, por lo que gira para seguir el campo magnético giratorio. Sin embargo, a medida que la velocidad del rotor se acerca a la velocidad síncrona, los conductores ya no se mueven dentro de un campo magnético en movimiento tan rápido (relativamente hablando). Si el rotor girara a la velocidad síncrona, no fluiría ninguna corriente, el campo magnético se alejaría y el rotor comenzaría a ralentizarse.

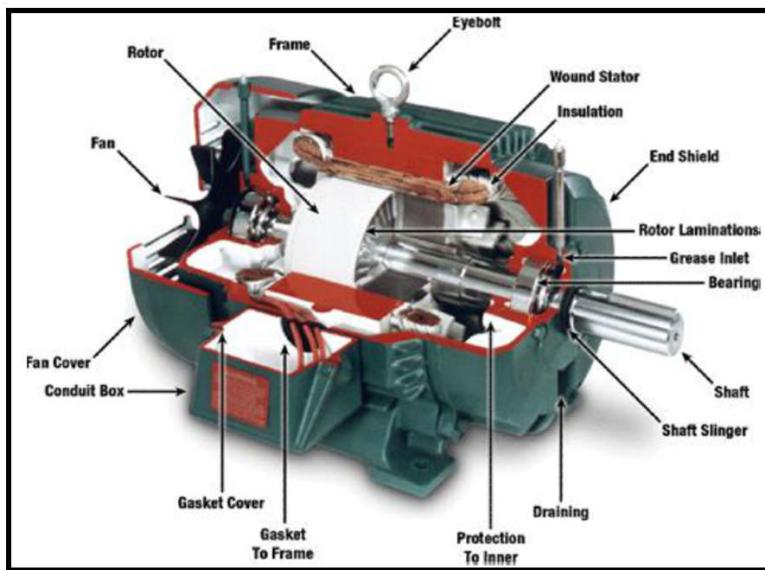


Figura 13-8 – Motor de inducción

El resultado es que el rotor viaja más lentamente que el campo magnético. La diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad real se llama frecuencia de deslizamiento.

Un motor de cuatro polos en un entorno de frecuencia de línea de 60 Hz tiene una velocidad de 1800 RPM. Si su velocidad real es de 1760 RPM, entonces la frecuencia de deslizamiento es igual a:  $1800 - 1760 = 40 \text{ RPM}$ .

Si el rotor se ralentiza (o aumenta la frecuencia de deslizamiento) el campo magnético pasa sobre las barras más rápidamente. Esto genera un campo magnético más fuerte que produce más torque. Del mismo modo, un motor sin carga no requiere mucho torque y por lo tanto tendrá una pequeña frecuencia de deslizamiento.

$$\text{Rotor speed, } n_r = n_s(1 - s)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

### **Motores de inducción de jaula de ardilla**

Los motores de jaula de ardilla son muy comunes en la industria. En forma general, el rotor es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o cobre en ranuras o “ranuras” y conectadas entre sí en ambos extremos por anillos de cortocircuito formando una forma similar a una jaula.



Figura 13-9

El núcleo del rotor se compone de una pila de laminaciones de hierro. La fotografía de abajo muestra una laminación del rotor y una laminación del estator.

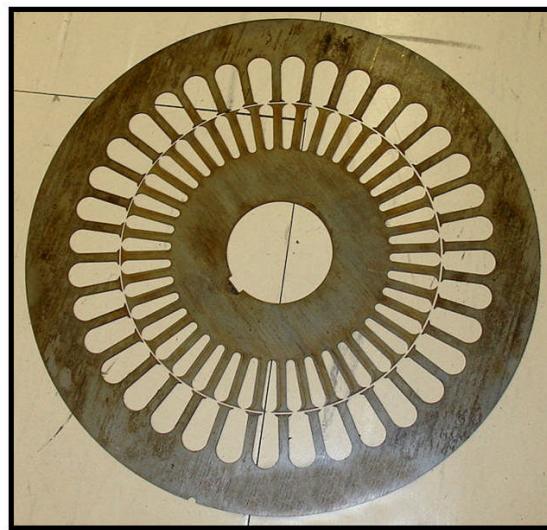


Figura 13-10

La siguiente es una fotografía de un estator.



Figura 13-11

## Puntos clave

- FO Los estudiantes deben entender los componentes básicos y el funcionamiento de los motores de inducción de CA y motores síncronos.
- FO Los estudiantes deben entender el electromagnetismo básico y el concepto de inducción.
- FO Los estudiantes deben entender los polos de motor y la relación entre el número de polos y la velocidad síncrona
- FO Los estudiantes deben entender la frecuencia de deslizamiento
- FO Los estudiantes deben entender la relación general entre deslizamiento y torque

## Diagnóstico de fallas

Como se indicó anteriormente, todos los motores eléctricos son susceptibles a desbalances; el rotor puede doblarse o deformarse debido al sobrecalentamiento; pueden estar desalineados con el componente que están conduciendo; y sus rodamientos pueden comenzar a desgastarse. Estas, y otras condiciones de fallas, son de naturaleza mecánica y pueden ser diagnosticadas de maneras que han sido cubiertas en otras partes del curso.

Sin embargo, los motores eléctricos desarrollan condiciones de falla únicas debido a las fuerzas electromecánicas que hemos discutido. Hay fuerzas muy fuertes entre el rotor y el estator. La distancia entre el rotor y el estator debe ser igual y balanceada y el campo magnético debe ser uniforme. Por una variedad de razones esto puede no ser el caso:

- FO Rotor fuera del centro
- FO Movimiento del rotor: eje doblado
- FO Estator excéntrico (no redondo)
- FO Laminación de estator o rotor u otros problemas

- F0 Barras rotas del rotor (campo magnético inconsistente)
- F1 Ranuras de estator rotas/dañadas (campo magnético inconsistente)
- F2 Pérdida de una fase o desbalance de tensión de fase (3 fases)

### Fuentes de vibración en motores eléctricos

El doble de frecuencia de línea (100 Hz o 120 Hz) es siempre un componente de vibración medible en un motor eléctrico. La atracción magnética entre el estator y el rotor varía a este ritmo, y el hierro en sí cambia de dimensión un poco en presencia del campo magnético variable debido a la “magnetostricción”.

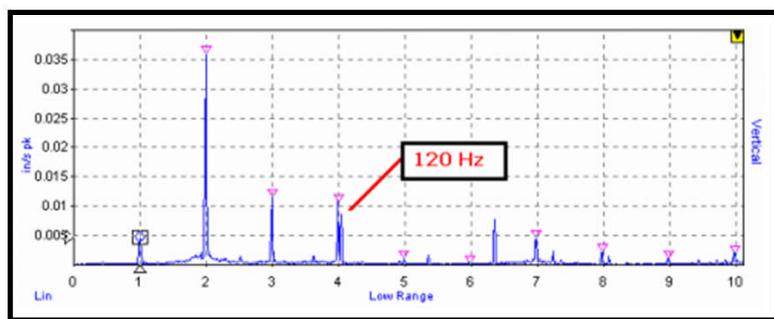


Figura 13-12 – Un pico a  $2x$  FL está cerca de  $4x$ .  $2x$  FL es común en motores eléctricos.

En motores de dos polos (velocidad sincrónica de 3000 CPM o 3600 CPM), a veces es difícil distinguir el pico de 100 o 120 Hz (2x frecuencia de línea) del pico 2X en el espectro de vibración. Esta es otra buena razón para recolectar espectros con alta resolución. En un motor de cuatro polos,  $2x$  LF será poco más de  $4x$ . Tenga cuidado de no confundirlo con frecuencias de rodamiento!

Una prueba para verificar la presencia de un pico 2X en lugar de 100 o 120 Hz, es tomar una medida mientras el motor está en funcionamiento, y luego cortar la energía al motor. El pico de 100 o 120 Hz desaparecerá, mientras que 2X permanecerá (a medida que el motor caiga en velocidad). Este enfoque funciona en general para determinar si alguno de los picos del espectro es eléctricos en lugar de mecánico.

El pico de frecuencia de línea  $2x$  puede dominar el espectro y puede ser muy fuerte y dominar el espectro.

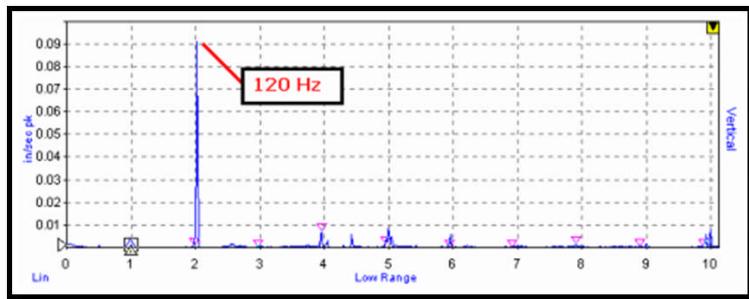


Figura 13-13 –  $2x\text{fL}$  puede dominar el espectro. Está cerca de  $2x$ .

### Variadores de frecuencia

Un variador de frecuencia funciona de forma similar, sin embargo, en lugar de una frecuencia de línea de 50 Hz o 60 Hz, la tensión se suministra a una frecuencia diferente, controlando así la velocidad del motor.

El pico  $2x\text{fL}$  seguirá presente, pero aparecerá en  $2x$  cualquiera que sea la frecuencia de línea real en el momento.

### Problemas en el estator

Los problemas del estator generarán una alta vibración al doble de la frecuencia de línea (100 o 120 Hz).

#### **Excentricidad estática**

La excentricidad estática produce un entrehierro desigual entre el rotor y el estator que produce una fuente muy direccional de vibración. En lugar de que las fuerzas magnéticas estén equilibradas entre el rotor y el estator, habrá fuerzas muy fuertes entre el rotor y el estator en el punto donde estén más cerca. A 180 grados de distancia la fuerza será más débil porque el rotor y el estator estarán más separados.

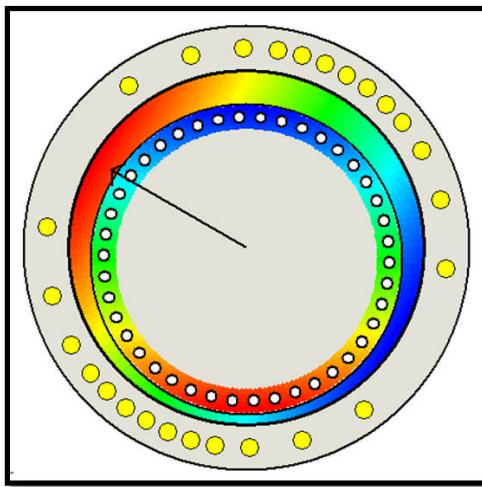


Figura 13-14

Debido a que las fuerzas magnéticas suben y bajan dos veces por ciclo eléctrico, veremos un pico alto en 120 Hz o 100 Hz.

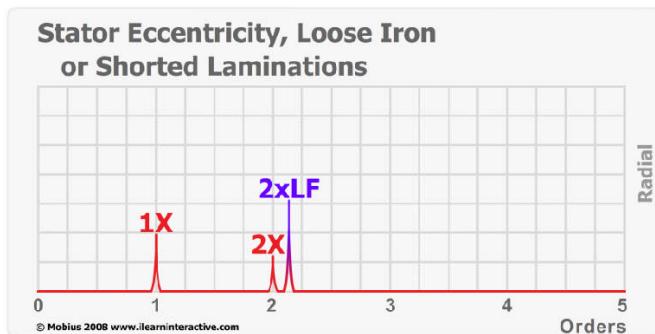


Figura 13-15 – Problemas de estator

### Caso de estudio

El siguiente conjunto de datos demuestra cómo puede aparecer un espectro cuando el rotor no gira en el centro del estator.

En el primer conjunto de datos podíamos pensar fácilmente que teníamos alta vibración 2X

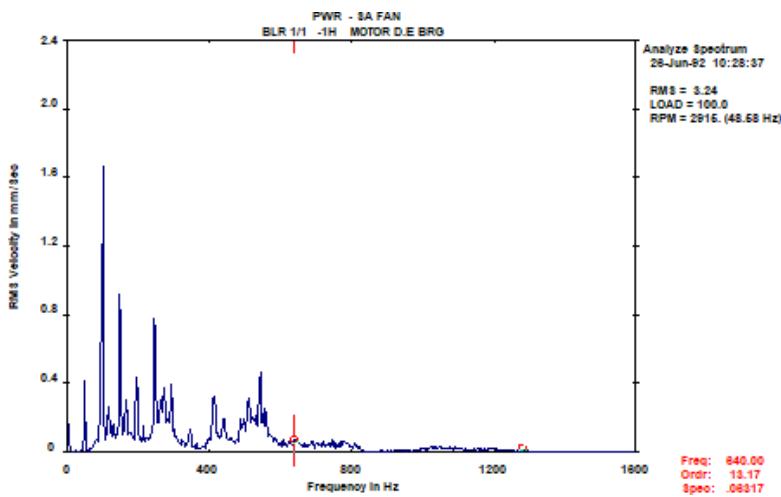


Figura 13-16

Cuando hacemos un acercamiento (zoom) (o tomamos una lectura con mayor resolución), es evidente que de hecho hay un pico 2X y un pico de frecuencia de dos veces la línea.

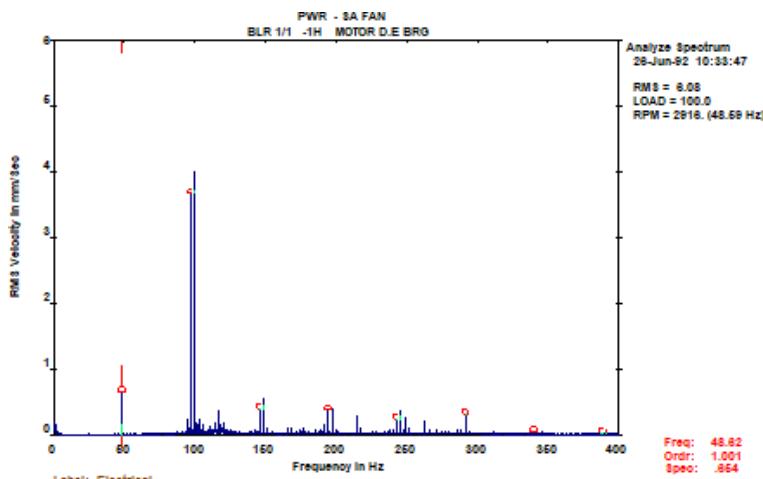


Figura 13-17

### ***Pata coja***

La pata coja y las bases deformadas pueden producir un estator excéntrico. Alterar el apriete en los pernos de retención, calzar correctamente las patas, reducir la tensión mecánica de conductos o tuberías, o reparar la base puede resolver este problema.

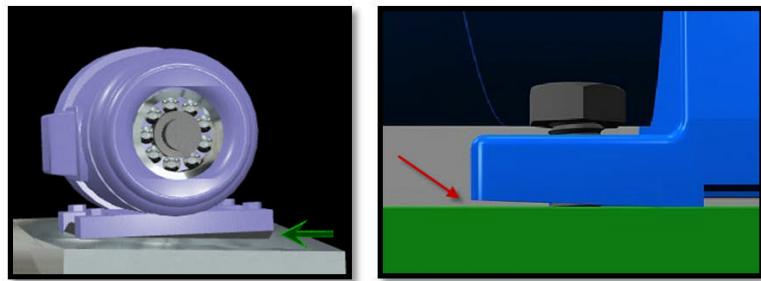
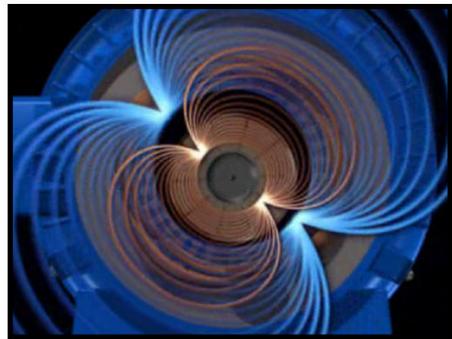


Figura 13-18 – Pata coja causa excentricidad del estator

La vibración tendrá de nuevo un pico grande a 120 Hz o 100 Hz. Dependiendo de la forma del estator, puede ser que haya dos puntos donde la vibración es más alta - los dos lugares donde el estator está más cerca del rotor.



13-19 Estator excéntrico

Cada vez que tenga excentricidad estática o un problema de pata coja, también puede escuchar un sonido de batido al probar el motor, especialmente en motores de 2 polos. El batido proviene de la interacción entre la vibración  $2X$  y la vibración  $2xLF$ . El período del batido corresponderá a la frecuencia de deslizamiento.

## Problemas con el rotor

Hay una serie de fallas relacionadas con el rotor que se pueden detectar con el análisis de vibración y el análisis de corriente del motor. Incluyen excentricidad del rotor, pandeo del rotor, problemas con las barras del rotor (agrietamiento, rotura, etc.), bobinados o barras de rotor sueltos, y rotor suelto en el eje. Los problemas con las laminaciones o las barras del rotor pueden causar sobrecalentamiento que causa el pandeo del rotor. Se resumen a continuación.

## Rotores excéntricos

Los rotores excéntricos producen un entrehielo variable giratorio entre el rotor y el estator, lo que induce una fuente pulsante de vibración. Una vez más verá el componente de  $2x$  frecuencia de línea, sin embargo, esta vez habrá bandas laterales de paso de polo alrededor de esta frecuencia y el pico  $1X$ .

La frecuencia de paso de polo es la **frecuencia de deslizamiento por el número de polos**. La frecuencia de deslizamiento es la diferencia entre las RPM reales y la velocidad síncrona.

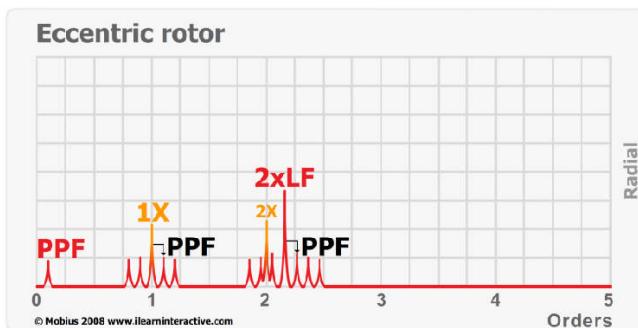


Figura 13-20 – Rotores excéntricos

Debido a que la frecuencia de deslizamiento es bastante pequeña, la frecuencia de paso del polo es por lo tanto pequeña, y por lo tanto una medición de alta resolución puede ser necesaria para identificar estas bandas laterales. Algunas personas toman una sola lectura, típicamente en la dirección horizontal en el extremo acoplado del motor con un  $F_{max}$  igual a la más grande de  $10x$  o  $400$  Hz, con  $6400$  líneas de resolución. Esta condición de falla también se puede detectar utilizando otras tecnologías de prueba de motores eléctricos.

Velocidades sincrónicas para  $60$  Hz y  $50$  Hz

- 2 polos:  $3600$  RPM o  $3000$  RPM
- 4 polos:  $1800$  RPM o  $1500$  RPM
- 6 polos:  $1200$  RPM o  $1000$  RPM
- 8 polos:  $900$  RPM o  $750$  RPM

## Problemas con las barras del rotor

Barras de rotor rotas, agrietadas o corroídas pueden ocurrir dentro de los motores de inducción, especialmente en motores que se arrancan y detienen bajo carga. La corriente de arranque es mucho mayor que la corriente de operación, y somete un esfuerzo en las barras del rotor, haciendo que se calienten. A medida que se calientan, se expanden y esta rápida expansión, junto con altos niveles de torque, puede hacer que se agrieten.

### Barras de rotor agrietadas



13-21 Barras rotas del rotor

Las barras rotas del rotor generarán bandas laterales de frecuencia de paso de polo alrededor de  $1X$  y sus armónicos ( $2X$ ,  $3X$ , etc.). A menudo verá un espectro muy ocupado con armónicos de  $1X$ , cada uno con “faldas” de bandas laterales de paso de polo.

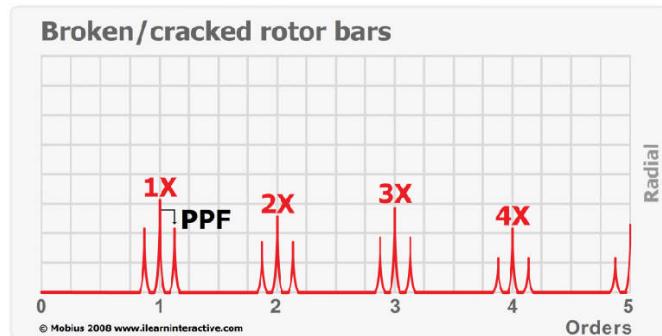


Figura 13-22– Barras del rotor rotas generan bandas laterales a la frecuencia de paso de polo en  $1X$  y sus hamónicos.

Un motor de inducción con barras de rotor defectuosas producirá una firma de vibración que varía lentamente hacia arriba y hacia abajo en amplitud al doble de la frecuencia de deslizamiento del motor. **Este fenómeno se llama batido**, y a menudo se puede escuchar, así como ser medido. La amplitud y frecuencia de batido dependen de la carga en el motor (porque eso afecta a la frecuencia de deslizamiento).

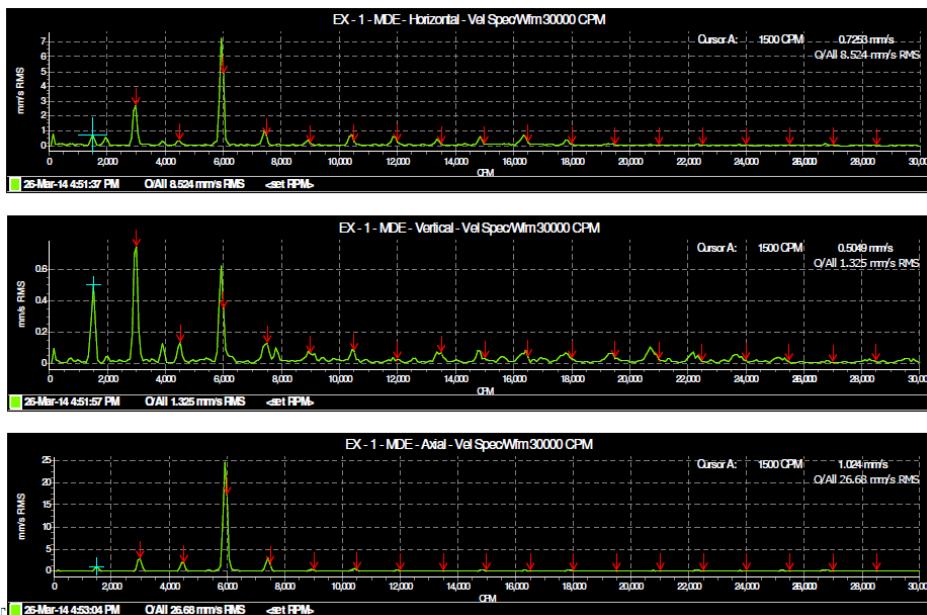
### Caso de estudio

Extractor de gas del horno de coque 4 polos, 1500 RPM, motor de inducción A.C. con 64 barras de rotor y con cojinetes de deslizamiento. El motor impulsa un extractor de gas a través de una caja multiplicadora.



13-23

Los datos espectrales de baja resolución muestran jorobas anchas en la base de los armónicos de velocidad de eje.



13-24 Datos en baja resolución

Los datos de mayor resolución muestran bandas laterales de frecuencia de paso de polo alrededor de los armónicos de velocidad del eje, lo que indica barras de rotor agrietadas.



13-25 Bandas laterales a la frecuencia de paso de polo



13-26 Barras del rotor dañadas

### ***Frecuencia de paso de la barra del rotor***

Es común ver la frecuencia de la barra del rotor (RBF - el número de barras del rotor por las RPM) debido al hecho de que cada barra del rotor pasa ligeras interrupciones en el campo magnético debido a la trayectoria de la corriente a través del rotor y el estator. Un RBF alto indica barras de rotor agrietadas o rotas o juntas de barra de rotor defectuosas o sueltas.

Si usted no sabe el número de barras del rotor, busque un pico entre 36x y 96x (porque normalmente hay 35 - 96 barras) con bandas laterales 2xLF. Nada más creará este patrón y por lo tanto las barras de motor son bastante fáciles de identificar desde el espectro.

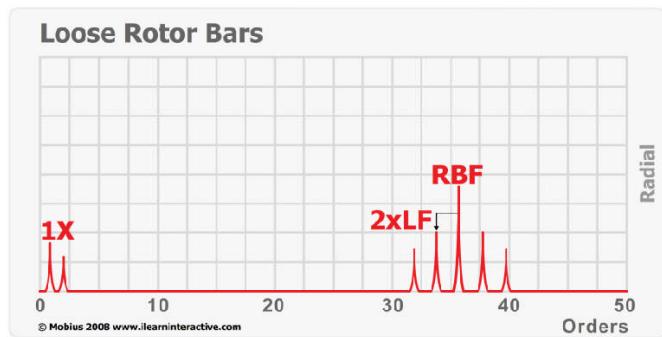


Figura 13-27 – Es normal ver RBF pero una alta amplitud puede implicar daño de barras.

### Pandeo del rotor

El calentamiento desigual del rotor debido a la distribución desequilibrada de la corriente de las barras del rotor hace que este se deforme, y el pandeo del rotor da lugar a una condición de desbalance con todos sus síntomas habituales. Se puede detectar por el hecho de que desaparece cuando el motor está frío. La calefacción local puede ser tan grave en los motores que la barra infractora puede derretirse y alojarse en el entrehierro.

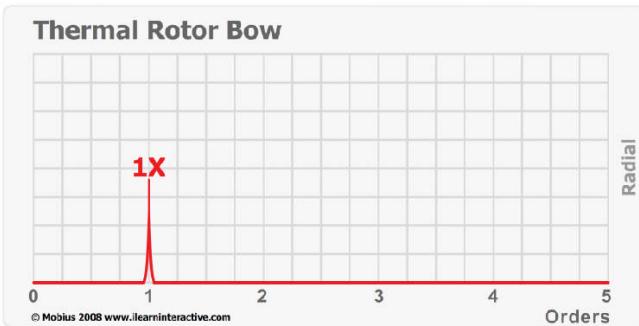


Figura 13-28 – Pandeo del rotor parece desbalance

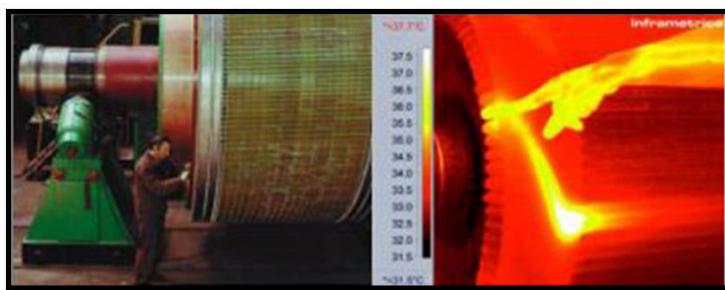


Figura 13-29 – Barras del rotor rotas hacen corto y se calientan

### **Rotorsuelto**

A veces el rotor puede deslizarse en el eje, por lo general intermitentemente dependiendo de la temperatura, y esto causa una vibración severa en 1X y armónicos. Los cambios bruscos en la carga o la tensión de línea pueden instigar esta condición.

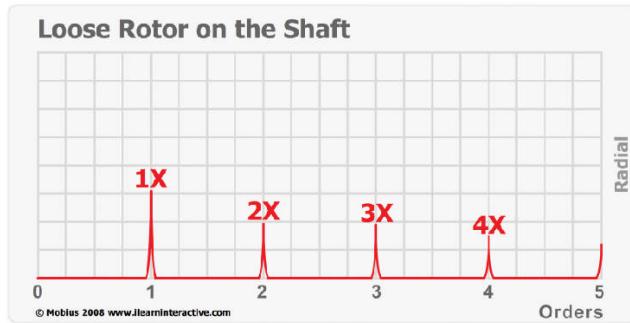


Figura 13-30 – El rotor suelto produce armónicos de la frecuencia de giro.

### **Bobinas de estator sueltas**

Si los bobinados eléctricos del estator del motor están incluso un poco sueltos, el nivel de vibración a dos veces la frecuencia de línea se incrementará. Esta condición es muy destructiva porque abrasa el aislamiento del conductor, dando lugar a cortos en puntas y eventuales cortocircuitos a tierra y falla del estator.

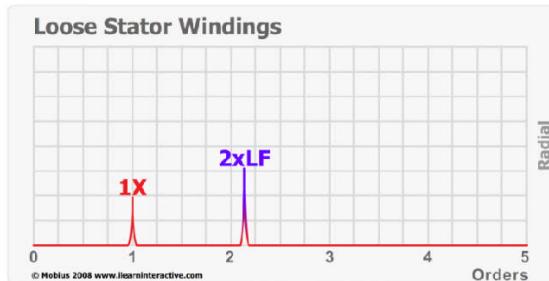


Figura 13-31– Bobinas del estator sueltas aumenta el pico a 2x FL

### **Problemas de laminado**

El rotor y el estator de los motores de CA están hechos de laminaciones delgadas que están aisladas entre sí. Si las laminaciones hacen corto, se producirá la calefacción local y la deformación térmica resultante.

Las laminaciones en corto también causan niveles más altos de vibración al doble de frecuencia de línea.

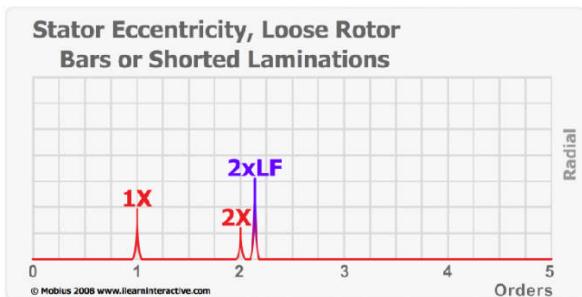


Figura 13-32

La deformación puede hacer que el nivel 1X aumente, y a menudo se observan bandas laterales de paso de polo.

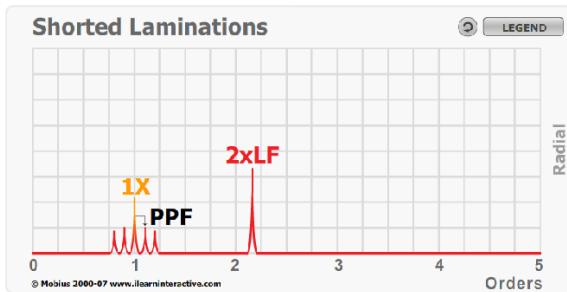


Figura 13-33 – Láminas en corto

### Conexiones sueltas

Los problemas de fases debidos a conectores sueltos pueden causar vibración excesiva al doble de la frecuencia de línea (100 o 120 Hz), con bandas laterales de un tercio de la frecuencia de línea (16.67 o 20 Hz).

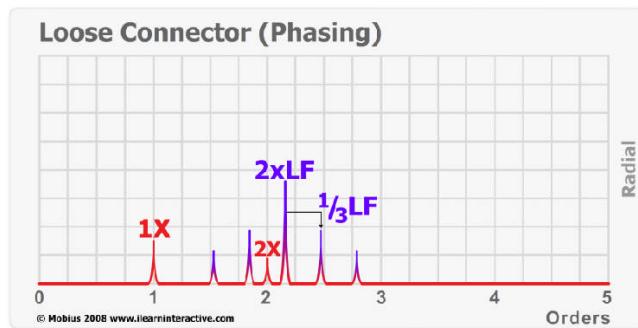


Figura 13-34 - Conexiones sueltas causan problemas en las fases

## Análisis de la corriente del motor

Una prueba para comprobar el estado de las barras del rotor que se ha vuelto muy común es medir la corriente del motor (sólo se requiere una fase) y generar un espectro de alta resolución. Se utiliza una abrazadera de corriente portátil o un transformador de corriente. La salida está conectada al recopilador de datos (o analizador de espectro) como de costumbre (consulte el manual del recopilador de datos para conocer los requisitos de configuración).



Figura 13-35 – Pinza de corriente

Si los niveles son altos, puede ser necesario un transformador de corriente reductor (CT). Si es posible, se requiere una medición de alta resolución centrada en la frecuencia de la línea. Las mediciones se realizan a menudo en el centro de control del motor.

Es mejor que la vibración porque la amplitud de frecuencia de línea se puede comparar con precisión con las bandas laterales para una indicación más precisa de las barras rotas del rotor. La vibración está influenciada por el desbalance y otras fuentes, pero una medición de corriente es sólo de corriente.

Algunos desafíos son que se necesita una medición de alta resolución y puede ser difícil determinar la frecuencia de deslizamiento si no está en la máquina.

La medición de alta resolución consiste en ver las bandas laterales de frecuencia de paso de polo alrededor de la frecuencia de línea (50 o 60 Hz). Utilice 1600 líneas y un rango de frecuencia de 0-70 Hz.

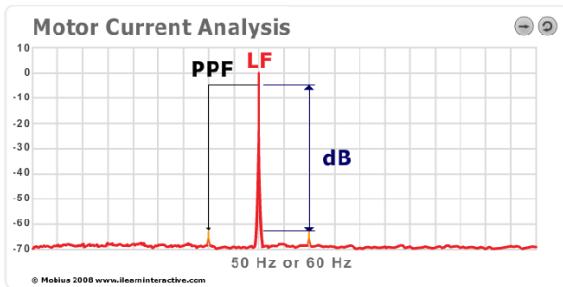


Figura 13-36

A continuación se muestra una muestra de datos reales.

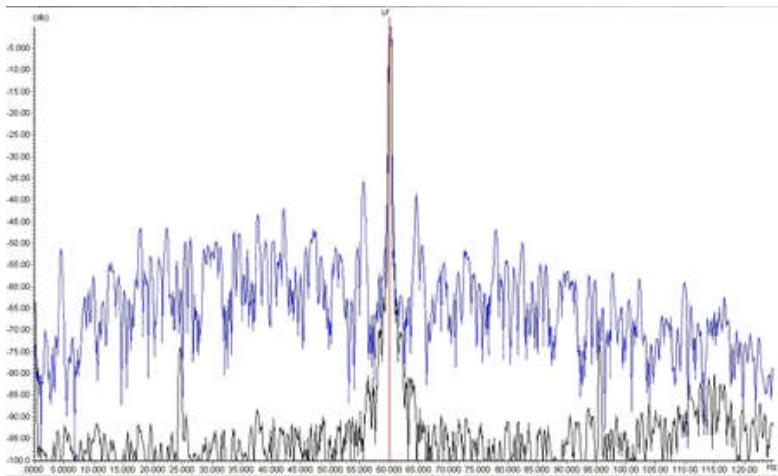


Figura 13-37

El objetivo es comparar el nivel de amplitud de los picos en las bandas laterales de la frecuencia de paso del polo (los polos x la frecuencia de deslizamiento), y compararlos con el nivel de la frecuencia de línea (no dos veces la frecuencia de línea).

Por ejemplo, si la velocidad síncrona era de 1800 RPM y la velocidad real es 1760 CPM, la frecuencia de deslizamiento será de 40 CPM, o 0.667 Hz. En este ejemplo (en los EE.UU.), examinaríamos el pico a 60 Hz, y a 58.666 Hz y 61.334 Hz.

La tabla siguiente proporciona una guía en cuanto a la relación entre la altura del pico de frecuencia de línea y la altura de la banda lateral.

-dB	Condición del rotor	Acción recomendada
>60	Excelente	Ninguna
54 – 60	Buena	Ninguna
48 – 54	Moderada	Monitorear tendencia de condición
42 – 48	Conexión de alta resistencia o barras quebradas	Incremente la frecuencia de medición y tendencia
36 – 42	Barras de rotor rotas se verán en vibración	Confirmar con Vibración, Planear Reparación / Reemplazo
30 – 36	Múltiples barras rotas/quebradas, posibles problemas de anillo colector	Reparar/Reemplace lo antes posible
<30	Fallas severas del rotor	Repare/Reemplace Inmediatamente

Tabla 13-1

## Puntos clave

- Los estudiantes deben estar familiarizados con las frecuencias forzadas comunes en motores A.C. de inducción
  - o 2xLF, frecuencia de deslizamiento, PPF, frecuencia de barra del rotor, etc.
  - o Los estudiantes deben ser capaces de encontrar el pico de la barra del rotor en el espectro sin saber cuántas barras hay.
- Los estudiantes deben entender los problemas relacionados con las máquinas controladas con variadores de frecuencia
- Los estudiantes deben ser capaces de diagnosticar las condiciones comunes de falla encontradas en los motores CA de inducción
  - o Nota: En el examen se le proporcionarán los patrones de falla en el mouse pad
- Los estudiantes deben ser conscientes de que existen otras tecnologías para las pruebas de motores. (se puede encontrar más en la sección de tecnologías de monitoreo de condición)