

FLUKE®

Creado en cooperación
con Fluke Corporation

Solución de problemas del motor y del variador: de la comprobación básica al diagnóstico avanzado



Glen A. Mazur

Solución de problemas del motor y del variador: de la comprobación básica al diagnóstico avanzado contiene los procedimientos más utilizados en el sector y en el mercado. Los procedimientos específicos varían con cada tarea y debe llevarla a cabo personal cualificado. Para mantener la máxima seguridad, consulte siempre las recomendaciones del fabricante, la normativa sobre seguros, el lugar de trabajo específico y los procedimientos de la planta, la regulación estatal, autonómica o local, y cualquier autoridad competente. El material aquí contenido tiene el objeto de servir como recurso educativo al usuario. Ni American Technical Publishers, Inc., ni Fluke Corporation asumen responsabilidad alguna respecto a reclamaciones, pérdidas o daños, entre otros, daños a la propiedad o lesiones personales, en los que se pueda incurrir al hacer uso de esta información.

American Technical Publishers, Inc., Personal editorial

Editor jefe:

Jonathan F. Gosse

Vicepresidente – Producción:

Peter A. Zurlis

Director artístico:

James M. Clarke

Editor técnico:

James T. Gresens

Corrector de estilo:

Jeana M. Platz

Diseño de la cubierta:

Jennifer M. Hines

Ilustración/Diseño:

Thomas E. Zabinski

© 2011 American Technical Publishers, Inc. y Fluke Corporation.

Reservados todos los derechos

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 11 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Impreso en los Estados Unidos

ISBN 978-0-8269-1538-2



Este libro está impreso con papel reciclado.





Contents

1

Principios del motor y del variador 1

Motores eléctricos • Clasificación de potencia del motor • Clasificación de tensión del motor • Clasificación de corriente del motor • Cambios de tensión y corriente • Frecuencia y velocidad del motor • Frecuencia y tensión del motor • Clasificación de aislamiento del motor • Par motor • Relación entre par, velocidad y caballos de potencia del motor • Tipos de carga del motor • Par constante • Par variable • Caballo de potencia constante • Variadores de velocidad eléctricos • Funciones del variador de velocidad • Secciones principales de un variador • Modulación del ancho de pulso • Longitud del cable

2

Seguridad y mediciones de pruebas 25

Seguridad • Equipo de protección individual • Personas cualificadas • Categorías de medición de los instrumentos de medida (clasificación CAT) • Mediciones de pruebas • Tipos de tensión y corriente • Visualización del osciloscopio portátil • Formas de onda

3

Principios de la solución de problemas 39

Instrumentos de medida para la solución de problemas • Multímetros digitales de uso general • Multímetros digitales estándar • Multímetros digitales avanzados • Analizadores de calidad eléctrica • Osciloscopios portátiles • Comprobadores de aislamiento • Instrumentos de medida sin contacto • Estrategias para la solución de problemas • Procedimientos de solución de problemas • Pruebas eléctricas • Pruebas básicas • Pruebas avanzadas • Pruebas de diagnóstico

4

Solución de problemas del motor y del variador 61

Solución de problemas • Solución de problemas con la experiencia • Solución de problemas con la documentación del fabricante • Solución de problemas con procedimientos internos • Listas de comprobación para la solución de problemas • Problemas comunes del motor y del variador • Problemas del motor • Funcionamiento monofásico • Reflexiones de sobretensión • Corriente de los cojinetes • Corrientes de fuga • Ruido eléctrico inducido • Proporción de voltios/hercios (V/Hz) • Circuitos del variador de velocidad de inversor • Inversores PWM • Transitorios y fluctuaciones • Regeneración del motor • Baja tensión • Puentes de diodos • "Muecas" de tensión • Desequilibrio de tensión • Armónicos • Problemas del variador de velocidad

5

Documentación de la condición del motor y del variador . . . 85

Documentación • Registro y análisis de las mediciones a lo largo del tiempo • Registro y análisis de las formas de onda

Apéndice 93

Glosario 101

Índice 105



Introduction

Solución de problemas del motor y del variador: de la comprobación básica al diagnóstico avanzado está diseñada para servir de introducción a los principios y procedimientos del funcionamiento del osciloscopio portátil. Los osciloscopios portátiles se han convertido en herramientas de diagnóstico de mantenimiento predictivo y preventivo para los técnicos del sector. En *Solución de problemas del motor y del variador: de la comprobación básica al diagnóstico avanzado* se cubren los aspectos fundamentales del uso de osciloscopios portátiles para la detección y el análisis de los problemas del variador y motor eléctrico que causan paradas no programadas en el sistema o proceso. Se explican los temas de seguridad, procedimientos de inspección, análisis, informes y documentación. Se incluyen sugerencias técnicas relacionadas con el uso seguro del osciloscopio portátil, solución de problemas, aplicaciones junto con el contenido de cada capítulo.

En otros materiales de formación de ATP dispone de información adicional relacionada con los principios de las pruebas, solución de problemas y mantenimiento. Para obtener información sobre los productos de información relacionados, visite el sitio web de ATP en www.go2atp.com o llame al 1-800-323-3471.



1

Principios del motor y del variador

Los motores eléctricos se utilizan para producir más trabajo que cualquier otro componente eléctrico. Consumen más del 65% de toda la electricidad que se produce y su rango de capacidad de salida va de unos milivatios a miles de kilovatios. Debido a que realizan un trabajo esencial y a que consumen cantidades tan grandes de energía, se deben controlar de la forma más productiva y eficaz posible.

Para garantizar que realizan el trabajo necesario hay que entender su funcionamiento, su aplicación en cada caso así como la mejor forma de controlarlos. Para que funcionen de forma correcta durante más tiempo con el mínimo tiempo de inactividad, es necesario entender qué instrumentos se utilizan para su instalación, mantenimiento y reparación.

MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos están disponibles en diferentes tamaños y tipos para satisfacer los requisitos de aquellas aplicaciones en las que se requiera una fuerza de rotación. El tipo de motor utilizado dependerá de la alimentación disponible (CC o CA), del tipo de carga que se aplique, de las condiciones ambientales y de la eficacia. Los motores eléctricos se clasifican por potencia, tensión, corriente, frecuencia y velocidad. Si se conocen los cambios de tensión, corriente, frecuencia y velocidad de la carga se puede determinar mejor el tipo de motor que se utilizará para la aplicación, sin olvidar el aislamiento correcto del motor.

Un *motor de corriente continua (CC)* es aquel que utiliza la corriente continua conectada a las bobinas de campo y un armazón de rotación para producir la rotación. Los cuatro tipos básicos de motores de CC son los de tipo serie, derivación, compuesto y magnético permanente. La ventaja que conllevan los

motores de CC es que se pueden utilizar en aplicaciones portátiles y la velocidad del motor se puede controlar fácilmente mediante la tensión que se le aplique. Aunque los motores de CC se utilizan con frecuencia en las aplicaciones portátiles, los motores de CA están sustituyendo a los de CC en las demás aplicaciones.

Un *motor de corriente alterna (CA)* es aquel que utiliza la corriente alterna conectada a un estator (bobinas de estator) para generar una fuerza en un rotor mediante un campo magnético. La ventaja de un motor de CA es que necesita menos mantenimiento porque no hay escobillas que mantener. Los dos tipos principales de motores de CA son monofásico (1 ϕ) y trifásico (3 ϕ). Los tipos de motores monofásicos son de polo sombreado, de fase dividida, de arranque por condensador, de funcionamiento por condensador, y de arranque y funcionamiento por condensador; se utilizan principalmente cuando no hay potencia trifásica disponible.

Sin embargo, gracias a los variadores de velocidad que convierten la potencia monofásica en trifásica, los motores trifásicos están sustituyendo a los monofásicos en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado y en otras aplicaciones en las que antes se utilizaban los monofásicos. Los motores trifásicos utilizan la energía de una forma más eficiente y no tienen que mantener los condensadores ni los conmutadores centrífugos. Estos motores han sido los más comunes en la mayoría de aplicaciones que necesitan un motor de más de 1 HP (746 W) y están disponibles en fracciones de HP para sustituir a los motores monofásicos. Los motores trifásicos son el tipo más común que se controla mediante un variador de velocidad.

Clasificación de potencia del motor

Un *motor eléctrico* es una máquina que convierte la energía eléctrica en fuerza mecánica de rotación (par) en un eje, para producir el trabajo. La cantidad de energía que produce un motor se expresa en vatios (W), kilovatios (kW) o caballos de potencia (HP). La clasificación de la potencia del motor se indica en la placa de características del motor, que se encuentra fija en el motor. En estas placas también se incluye información como la clasificación de tensión y RPM. **Consulte la figura 1-1.** Para fines de conversión, 746 W es igual a 1 HP. Si la clasificación del motor se realiza en kW, para compararlo con HP se puede realizar un cálculo multiplicando la clasificación en kW del motor por 1,34 para obtener la clasificación equivalente en HP.

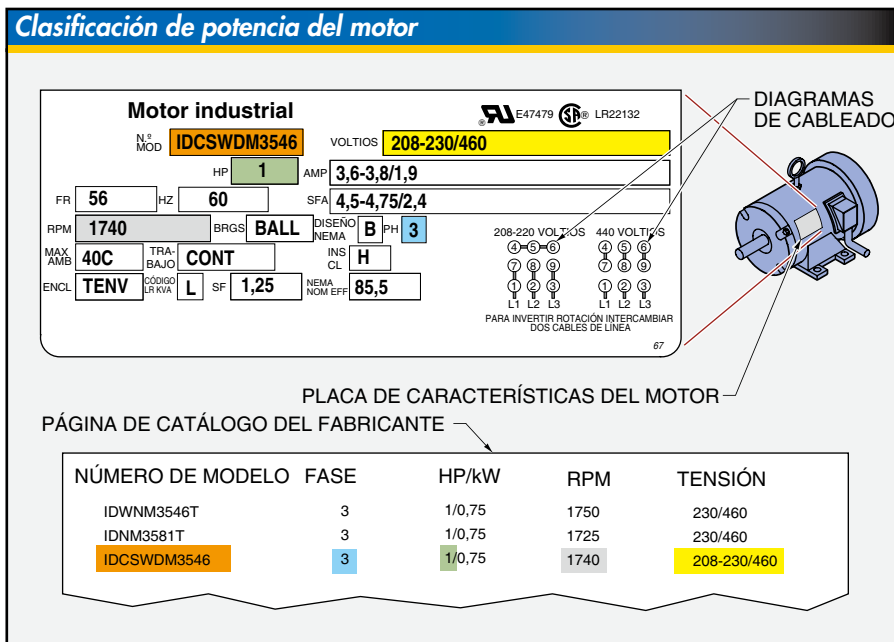


Figura 1-1. La clasificación de la potencia del motor se indica en la placa de características del motor, que se encuentra fija en el motor, también se incluye información como la clasificación de tensión y RPM.

Un *osciloscopio portátil* (Scope-Meter™) es un instrumento que mide y muestra las formas de onda de alta tensión, baja tensión y las señales digitales. Cuando se utiliza un instrumento de medida como un osciloscopio portátil para comprobar los motores eléctricos, se puede medir los diferentes tipos de energía relacionados con el motor. Por ejemplo, se puede utilizar para medir la potencia real, la potencia aparente, la potencia reactiva o el factor de potencia. Los osciloscopios portátiles de varios canales pueden medir varias señales a la vez (por ejemplo, las tres fases de un variador de velocidad) así como distintos aspectos de la misma señal al mismo tiempo (por ejemplo, la tensión y la corriente). **Consulte la figura 1-2.**

La *potencia real* (P_T) es la potencia que en realidad se utiliza en un circuito eléctrico y se mide en vatios (W) o kilovatios (kW). Las compañías eléctricas cobran a sus clientes

según la cantidad de potencia real utilizada. La *potencia aparente* (P_A) es el producto de la tensión y la corriente en un circuito calculado sin tener en cuenta el cambio de fase que puede existir entre la tensión y la corriente en ese circuito, se mide en voltio amperios (VA) o kilovoltio amperios (kVA). La *potencia reactiva* (VAR) es la energía suministrada a las cargas reactivas, como las bobinas del motor y se mide en voltio amperios reactivos (VAR).

SUGERENCIA TÉCNICA

Las compañías eléctricas penalizan a los clientes con factores de potencia bajos. Las instalaciones con numerosas cargas inductivas, como bobinados de motor, solenoides o transformadores, tienen un factor de potencia bajo porque la tensión conduce la corriente.

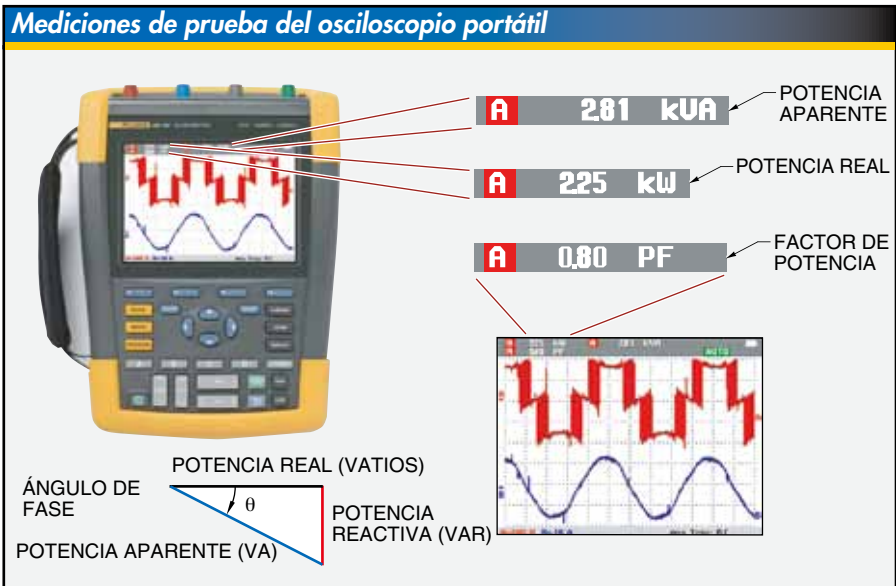


Figura 1-2. Se puede utilizar un osciloscopio portátil para medir la potencia real, la potencia aparente, la potencia reactiva o el factor de potencia.

El *factor de potencia (PF)* es la proporción de potencia real utilizada en un circuito CA frente a la potencia aparente utilizada o proporcionada al circuito y se expresa como porcentaje. La potencia real es igual a la potencia aparente sólo si el factor de potencia es 100% o 1. Si es inferior al 100%, el circuito es menos eficiente y tiene un coste de funcionamiento mayor porque no toda la corriente realiza el trabajo. Las fuentes de alimentación, como los transformadores, se clasifican en potencia aparente (kVA) ya que deben proporcionar toda la energía independientemente del factor de potencia de la carga.

todas las fuentes de alimentación pueden proporcionar la tensión especificada en todo momento y cualquier aumento o reducción de la tensión aplicada a un motor afecta a su rendimiento.

Al reducir la tensión aplicada a un motor, disminuye su par y eficiencia a la vez que aumenta su corriente y el factor de potencia. Al aumentar la tensión, disminuye la eficiencia y el factor de potencia pero aumenta la corriente y el par. La tensión que se aplica al motor debe estar entre -10% y +5% de su clasificación de tensión para obtener el mejor rendimiento.

Consulte la figura 1-3.

Clasificación de tensión del motor

Todos los motores están diseñados para tener un rendimiento óptimo a un nivel de tensión determinado. Sin embargo, no

SUGERENCIA TÉCNICA

El factor de potencia (PF) de un motor es menor cuando el motor no está cargado y mayor cuando está cargado del 50% a plena carga.

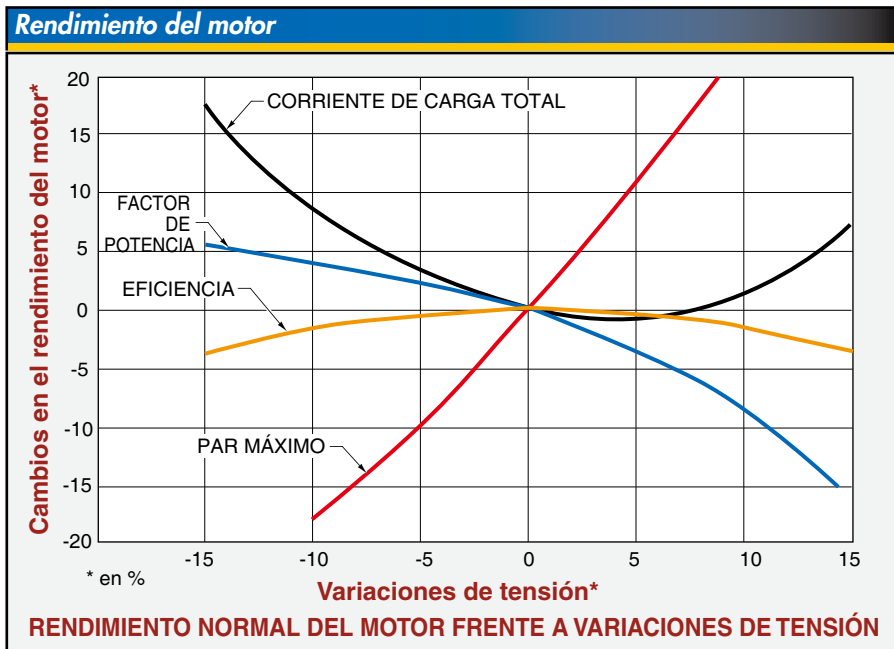


Figura 1-3. La tensión que se aplica al motor debe estar entre -10% y +5% de su clasificación de tensión para obtener el mejor rendimiento.

Clasificación de corriente del motor

Todos los motores consumen corriente para producir potencia. La corriente cambia con un cambio en la carga del motor, si aumenta la carga del motor, también aumenta la corriente consumida y si se reduce, también se reduce la corriente. La corriente especificada en la placa de características de un motor es la cantidad que consume el motor a plena carga. **Consulte la figura 1-4.**

El motor intenta satisfacer la carga incluso si ésta excede la clasificación de potencia del motor. La clasificación de factor de servicio del motor indica si éste puede resistir con seguridad una condición de sobrecarga. La clasificación

de servicio de la placa específica 1 (o no aparece nada) si el motor está diseñado para resistir con seguridad una condición de sobrecarga por encima de la potencia nominal del motor. Un factor de servicio de 1,15 indica que el motor puede resistir con seguridad una sobrecarga un 15% superior a la especificaciones. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) utiliza ocho designaciones (de S1 a S8) para describir los ciclos de trabajo de los motores eléctricos. Por ejemplo, S1 indica “trabajo continuo” y S8 designa el “funcionamiento continuo con cambios periódicos en carga y velocidad”.

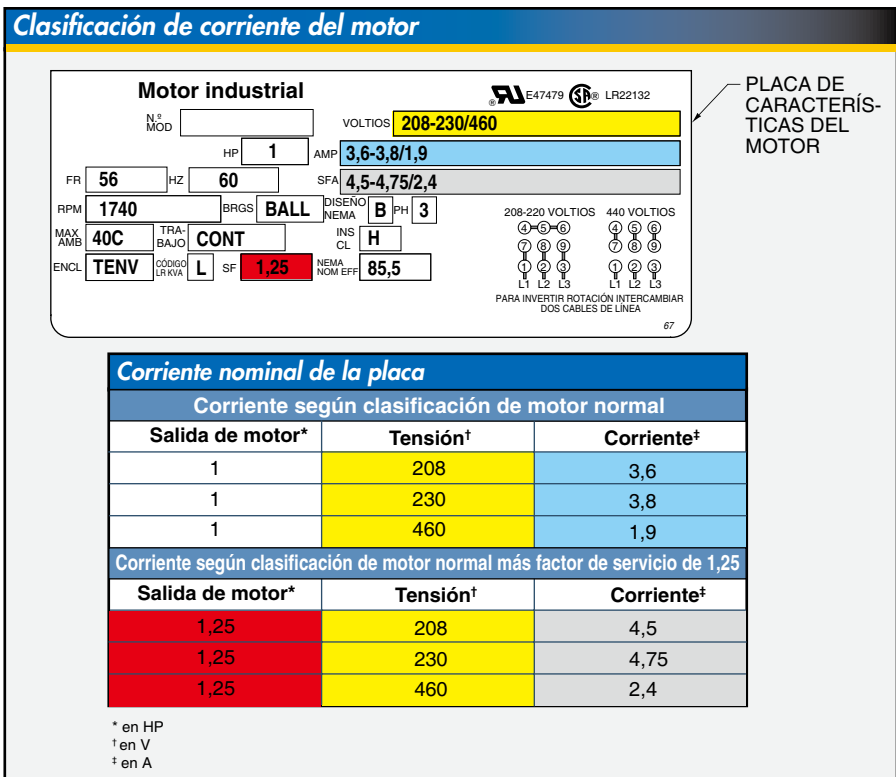


Figura 1-4. La corriente especificada en la placa de características de un motor es la cantidad que consume el motor a plena carga.

Para proporcionar la potencia más alta (P), el motor debe consumir más corriente (I) ya que la tensión (E) permanece constante en el motor. La fórmula de la potencia es $P = E \times I$. Por lo tanto, para que un motor produzca más potencia, debe consumir más corriente. El *amperaje de factor de servicio (SFA)* es la clasificación de corriente máxima que puede consumir un motor con seguridad y se muestra en la placa de características del motor eléctrico. Si un motor consume más corriente que la especificada en SFA se puede producir una sobrecarga y dañar con facilidad, normalmente debido a una ruptura del aislamiento.



Baldor Electric Co.

La clasificación del motor se indica en la placa de características del motor, que se encuentra fija en el motor

Cambios de tensión y corriente

En la mayoría de los circuitos, la tensión se mantiene en un rango aceptable (de -10% a $+5\%$) respecto a la clasificación de la placa de características, a menos que se produzca algún problema. Sin embargo, la corriente cambia de forma constante al conectar y desconectar las cargas, cambiando las cargas del motor. Si parece que existe un problema en un circuito debido a una

condición de tensión baja, por ejemplo si se reinician los ordenadores o parpadean las lámparas, un osciloscopio portátil puede ayudar a determinar el tipo de problema y cuándo se produce. En este caso, las dos condiciones principales que hay que observar son la relación entre cuándo existe un cambio de tensión y la dirección del cambio de corriente (si aumenta o disminuye) en ese momento.

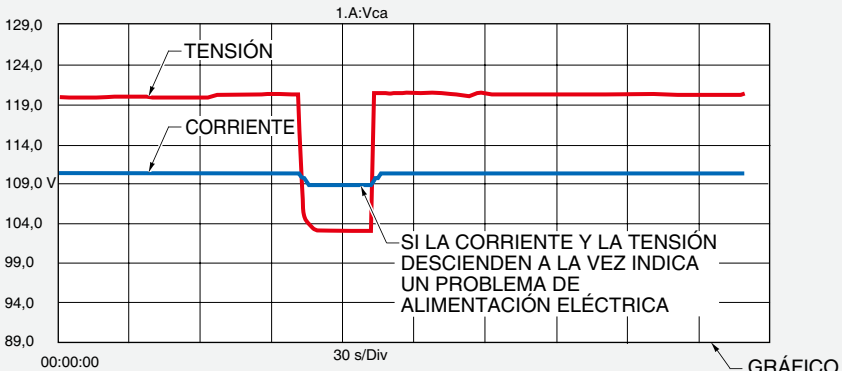
Reducción de tensión y corriente. Si se reduce la tensión y la corriente a la vez, el problema radica en la fuente de alimentación y en el sistema de distribución. No hay una sobrecarga en el circuito. Con un osciloscopio portátil, se puede registrar los datos para consultarlos como ayuda para analizar el circuito. Por ejemplo, si se reduce la tensión en un $14,5\%$ también se reduce la corriente. La reducción de la tensión y la corriente también produce una disminución de la potencia en las cargas eléctricas como motores, lámparas y elementos calefactores. **Consulte la figura 1-5.**

Los técnicos deben ser conscientes del momento en el que se produce el problema para entenderlo mejor y aplicar una solución. Mediante un osciloscopio portátil, los datos se pueden analizar colocando cursores al principio y al final del problema. Con un osciloscopio de varios canales, se puede supervisar hasta cuatro señales a la vez lo que permite la supervisión simultánea de los cambios de tensión y corriente de más de una señal.

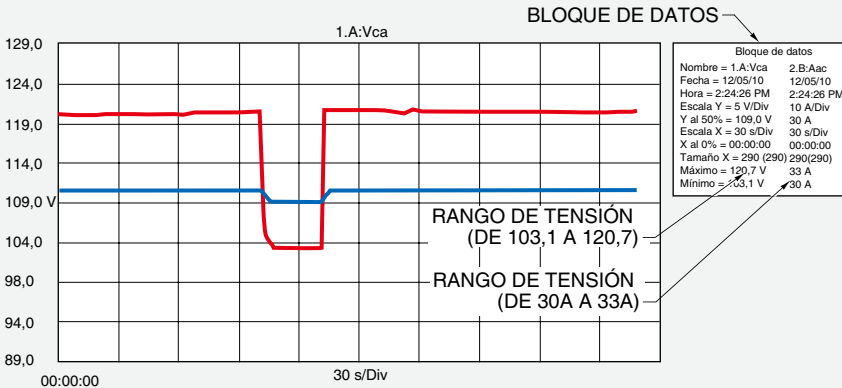
SUGERENCIA TÉCNICA

Con un osciloscopio portátil de mano, cada medición se puede ampliar con la función de "zoom", lo que permite a los técnicos observar de cerca la forma de onda en busca de ligeras diferencias en las lecturas que pueden indicar un problema.

Reducción de tensión y corriente a la vez



REDUCCIÓN DE TENSION Y CORRIENTE A LA VEZ – GRÁFICO



REDUCCIÓN DE TENSION Y CORRIENTE A LA VEZ – GRÁFICO Y BLOQUE DE DATOS

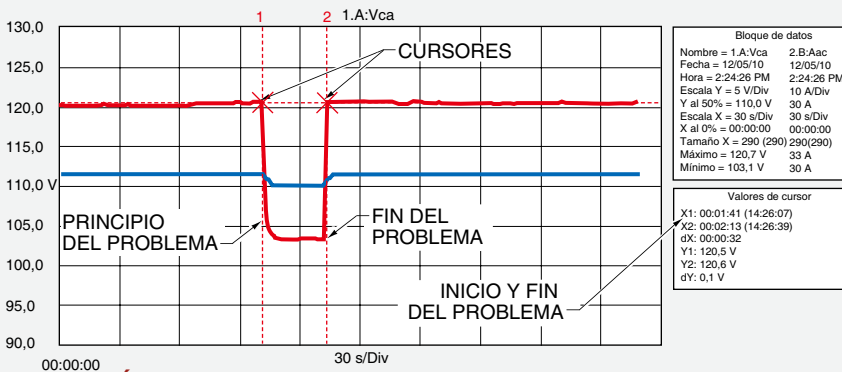


GRÁFICO Y BLOQUE DE DATOS CON CURSORES

Figura 1-5. Si se reduce la tensión y la corriente a la vez, el problema radica en la fuente de alimentación y en el sistema de distribución.

Reducción de tensión y aumento de corriente. Al conectar una carga los motores necesitan más potencia por lo que aumenta la corriente. Si no hay una sobrecarga en la fuente de alimentación, el aumento de corriente no debería causar una bajada de tensión. Por ejemplo, en un circuito en el que la corriente aumenta de 33 a 152 A, la tensión se reduce pero permanece en el rango de funcionamiento aceptable. Consulte la figura 1-6.

Frecuencia y velocidad del motor

La *frecuencia de la línea* es el número de ciclos eléctricos completos por segundo de una fuente de alimentación. Un ciclo es una onda completa de corriente o tensión alterna. Una alternancia es la mitad de un ciclo. El período (T) es el tiempo necesario para producir un ciclo completo de una forma de onda. La clasificación de frecuencia de la línea de un motor eléctrico aparece abreviada en las placas de características como CY o CYC para ciclo o bien Hz para hercio. El *hercio* (Hz) es la unidad internacional de frecuencia y es igual a los ciclos por segundo.

En Estados Unidos, 60 Hz es la frecuencia de la línea estándar de las fuente de alimentación. En Canadá, México y la mayoría del Caribe (Bahamas y las Islas Caimán, por ejemplo) también se utiliza 60 Hz como frecuencia estándar de la línea de la fuente de alimentación. En los demás países se utiliza una frecuencia de 50 Hz. En los países en vías de desarrollo (Arabia Saudí, Colombia, Costa Rica, etc.) y en los países en los que se utiliza una gran cantidad de productos eléctricos fabricados en EE.UU. se está cambiando la frecuencia de funcionamiento de 50 Hz a 60 Hz.

Los motores de CA pueden tener una clasificación de frecuencia de 50 Hz, 60 Hz o 50/60 Hz. Si se cambia la frecuencia se cambia la velocidad del motor, al aumentarse se aumenta la velocidad y al reducirse se reduce la velocidad. Por ejemplo, un motor en el que la clasificación que aparece en su placa sea de 60 Hz funcionará al 75% de velocidad a 45 Hz, al 50% de velocidad a 30 Hz y al 25% de velocidad a 15 Hz.

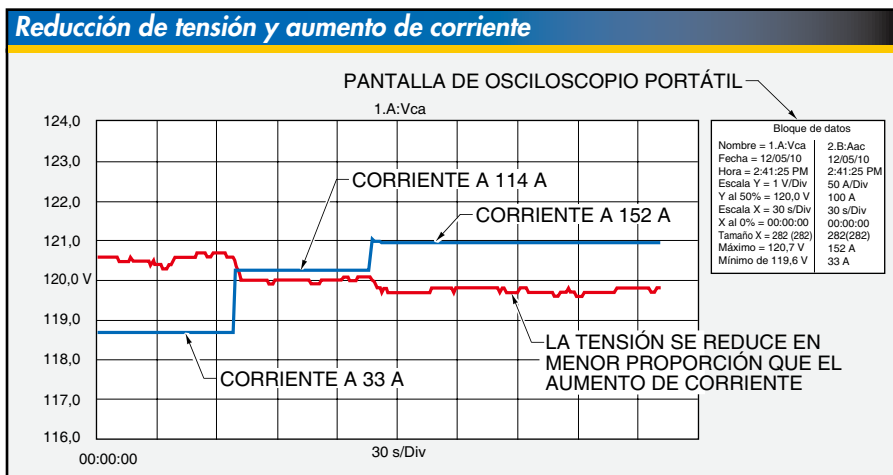


Figura 1-6. Al aumentar la corriente en el circuito, se reduce la tensión a un valor menor.

Un *variador de velocidad* es una unidad electrónica diseñada para controlar la velocidad de un motor mediante dispositivos en estado sólido. Con los variadores de velocidad modernos, un motor que antes sólo podía funcionar a la velocidad especificada en la placa de características ahora puede funcionar a velocidades superiores o inferiores. Aunque un variador de velocidad permite que el motor funcione a una velocidad superior de la especificada, normalmente no es seguro ya que se podría dañar durante su funcionamiento, creando un entorno peligroso.

La mayoría de fabricantes de motor establecen un equilibrio a velocidades un 25% por encima de lo establecido en la placa, por este motivo, se recomienda que el motor no funcione a más del 20% de la velocidad especificada. Para garantizar que la frecuencia máxima está en el +20% o menos de la clasificación que aparece en la placa del motor, se debe programar el parámetro de “frecuencia máxima” en no más de 60 Hz para un motor a 50 Hz y de 72 Hz para un motor de 60 Hz. **Consulte la figura 1-7.**

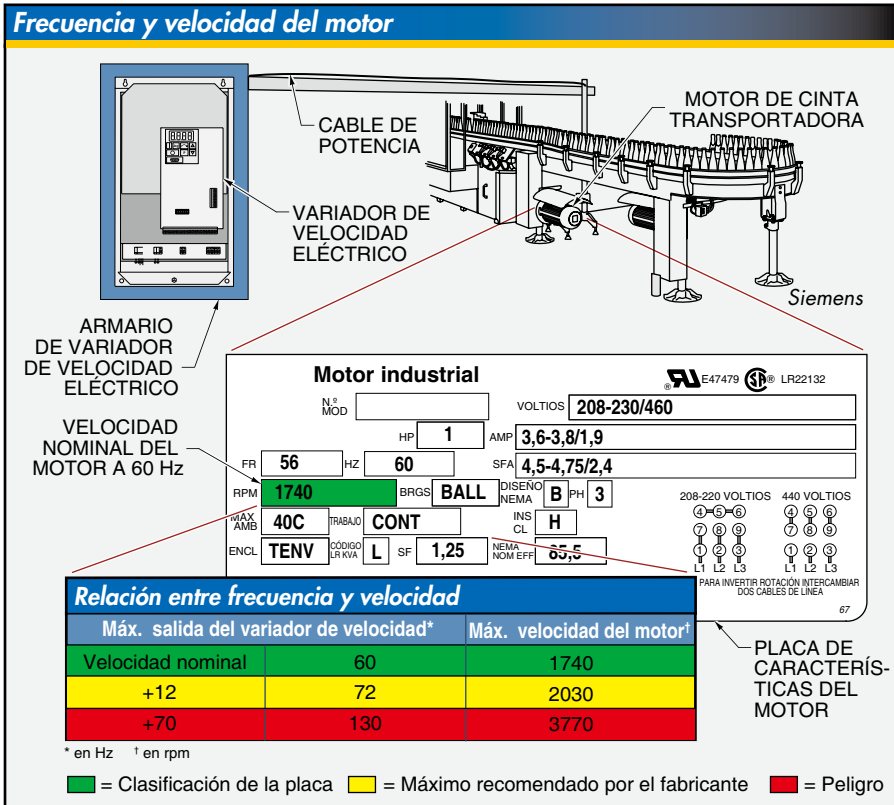


Figura 1-7. Ya que la mayoría de fabricantes de motor establecen un equilibrio a velocidades un 25% por encima de lo establecido en la placa, se recomienda que el motor no funcione a más del 20% de la velocidad especificada.

Los variadores de velocidad se pueden configurar y programar mediante conmutadores y potenciómetros o con un teclado. Por ejemplo, un variador de velocidad puede utilizar potenciómetros y conmutadores de dos posiciones para establecer las condiciones de funcionamiento del motor. El variador permite que se establezca la salida de frecuencia máxima, que también establece la velocidad de funcionamiento máxima del motor. Para establecer la salida de frecuencia máxima de un variador de velocidad, aplique el siguiente procedimiento:

1. Establezca el conmutador de dos posiciones en la posición de 50 Hz o de 60 Hz, dependiendo de las especificaciones de frecuencia del motor de la placa de características.
2. Configure el potenciómetro de alta frecuencia en la posición "nominal" para limitar la salida de frecuencia del variador a 50 Hz o 60 Hz, según la posición del conmutador.

3. Establezca el potenciómetro de alta frecuencia en un máximo de 70 Hz adicional respecto a la posición nominal.

Aunque los variadores de velocidad se pueden configurar y programar mediante conmutadores y potenciómetros, la mayoría utiliza un teclado para programar los parámetros de funcionamiento del variador.

Consulte la figura 1-8. Para programar la salida de frecuencia máxima de un variador de velocidad mediante un teclado, aplique el siguiente procedimiento:

1. Identifique el número de parámetro utilizado por el fabricante del variador para establecer la salida de frecuencia máxima (lo puede encontrar en el manual de instrucciones del fabricante).
2. Acceda al programa y establezca la salida de frecuencia máxima del variador. *Nota:* al introducir este parámetro, aparece el valor predeterminado en fábrica (o el último cambio introducido).

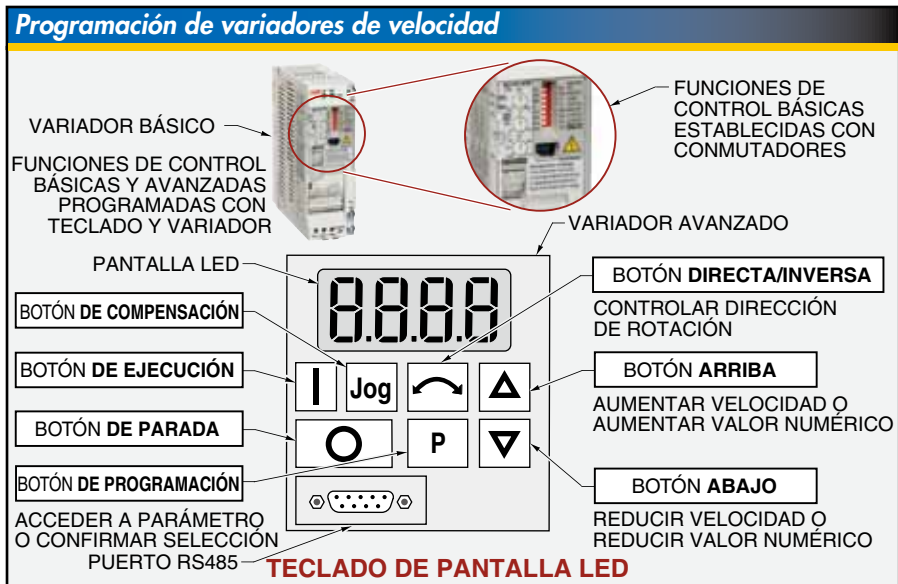


Figura 1-8. Aunque los variadores de velocidad se pueden configurar y programar mediante conmutadores y potenciómetros, la mayoría utiliza un teclado para programar los parámetros de funcionamiento del variador.

Precaución: aunque el variador se puede establecer en una salida de frecuencia superior a la indicada, no supere el 20% de los hercios especificados en la placa ya que se podría dañar durante su funcionamiento, creando una situación de peligro.

Frecuencia y tensión del motor

Para controlar la velocidad del motor, se debe reducir la tensión aplicada al estator de un motor de CA en aproximadamente la misma cantidad que la frecuencia. Las bobinas del motor se pueden sobrecalentar con rapidez, causando daños en el motor si no se reduce la tensión al reducir la frecuencia. La *proporción de voltios/hercios (V/Hz)* es la relación de tensión y frecuencia que se aplica a un motor.

La proporción de V/Hz se calcula dividiendo la tensión que aparece en la placa de características entre la frecuencia especificada en la placa. Por ejemplo, la proporción de V/Hz para un motor de

230 V/50 Hz es 4,6 V/Hz ($230 \div 50 = 4,6$), para un motor de 230 V/60 Hz es 3,83 V/Hz, para un motor de 460 V/50 Hz es 9,2 V/Hz y para uno de 460 V/60 Hz es 7,67 V/Hz.

El aumento abarca dos parámetros independientes pero muy relacionados: el aumento de arranque y el aumento continuo. Algunas aplicaciones de variador de velocidad eléctrico necesitan un par de arranque adicional a velocidades bajas, mientras que otras necesitan un par adicional para alcanzar la velocidad base. El aumento de arranque proporciona el par adicional al arrancar mediante la aplicación inicial de una tensión superior. El aumento continuo proporciona el par adicional mediante la aplicación de una tensión superior para alcanzar la velocidad base, sin que la tensión supere la especificación de la placa del motor. Ambos parámetros modifican la curva de V/Hz para proporcionar más par y corriente. **Consulte la figura 1-9.**

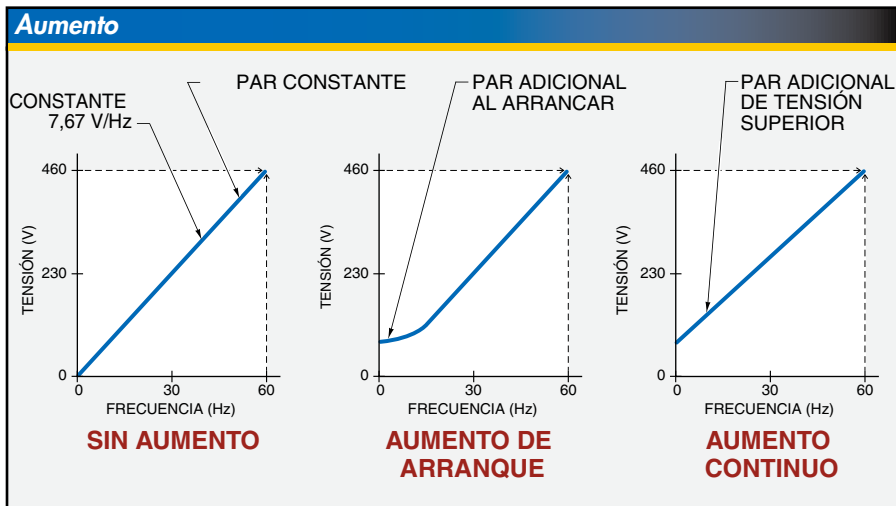


Figura 1-9. El aumento de arranque aplica más tensión al principio y luego sigue un patrón V/Hz de par constante. El aumento continuo aplica más voltaje desde cero a la velocidad base.

El aumento de arranque y el continuo se miden en voltios o porcentaje de la corriente del motor y hay cierta interacción entre ambos parámetros. Los parámetros predeterminados varían según los fabricantes del variador de velocidad eléctrico.

Por encima de unos 15 Hz, la cantidad de tensión necesaria para mantener la proporción de V/Hz lineal es un valor constante. Por debajo de los 15 Hz, la tensión que se aplica a un estator de motor debe aumentar para compensar la gran pérdida de potencia que experimentan los motores de CA a velocidades bajas. La cantidad de aumento de tensión depende de cada motor y del tipo de carga para el que se utilice (par constante, par variable, etc.). Consulte la figura 1-10.

SUGERENCIA TÉCNICA

Además de los osciloscopios portátiles, se puede utilizar cámaras termográficas para realizar análisis de los circuitos del motor (MCA).

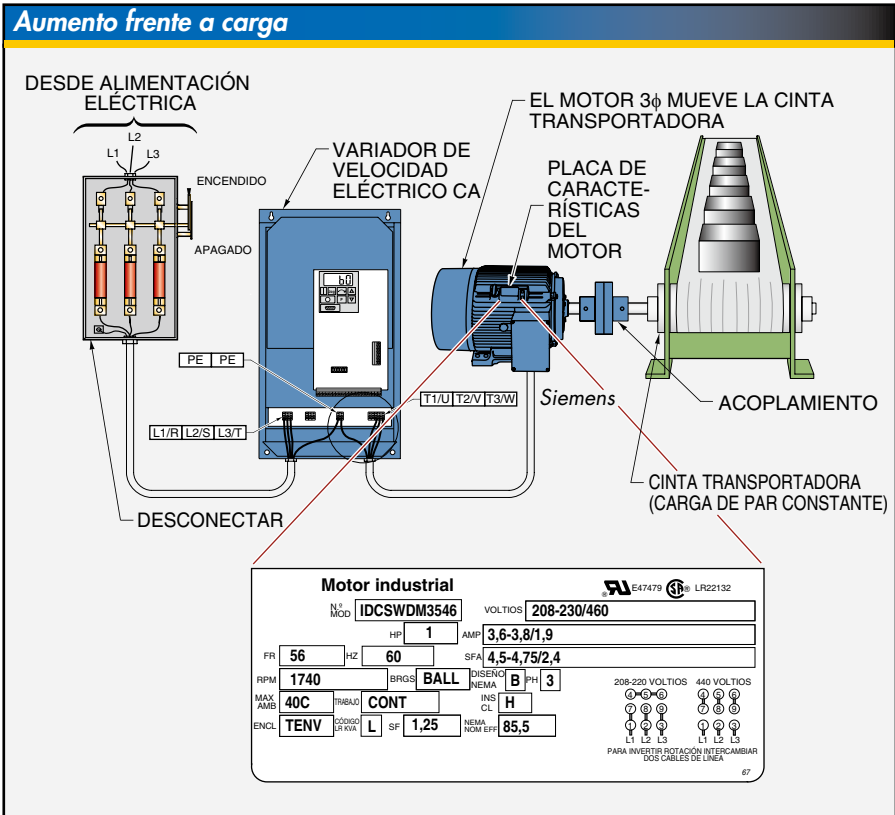


Figura 1-10. La cantidad de aumento que requiere un motor depende del tipo de carga que tenga.

Clasificación de aislamiento del motor

La ruptura del aislamiento debido a una exposición al calor es la principal causa de las averías del motor. La Asociación Estadounidense de Fabricantes Eléctricos (NEMA) proporciona una clasificación para el aislamiento del motor según su resistencia térmica. Las cuatro clases de aislamiento del motor son Clase A, Clase B, Clase F y Clase H y aparecen especificadas en la placa de características del motor. Debido a su clasificación de temperatura baja, la Clase A es el aislamiento de menos uso. El aislamiento de la Clase B es el más utilizado en motores de 60 Hz, mientras que la Clase F es la más utilizada en motores de 50 Hz. La Clase H es el aislamiento superior para la temperatura y se debe utilizar siempre que sea posible. **Consulte la figura 1-11.**

PAR MOTOR

Un motor sólo puede producir trabajo si su eje gira una carga y debe producir bastante par para empezar a girar una carga y mantenerla girando el tiempo necesario. El *par* es la fuerza que produce la rotación. El *par motor* es la fuerza que produce la rotación en un motor. La clasificación de par, velocidad y caballos de potencia de funcionamiento de un motor determina el

trabajo que puede producir el motor. Un motor conectado a una carga produce cuatro tipos de par que son par de rotor bloqueado (LRT), par de enganche (PUT), par máximo (BDT) y par de plena carga (FLT). **Consulte la figura 1-12.**

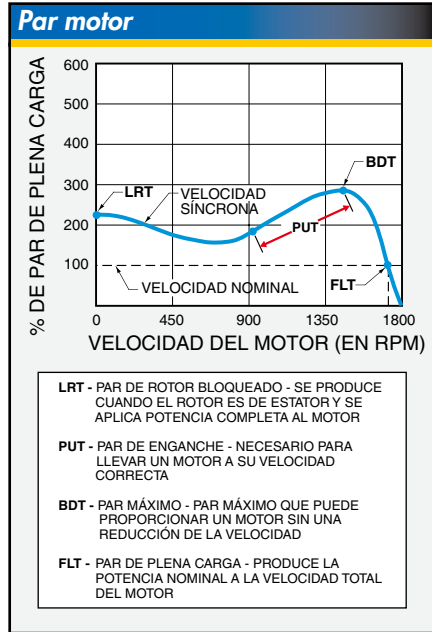


Figura 1-12. Los cuatro tipos de par producidos por un motor son par de rotor bloqueado (LRT), par de enganche (PUT), par máximo (BDT) y par de plena carga (FLT).

Temperaturas de funcionamiento de aislamiento del motor	
Clasificación NEMA e IEC	Temperaturas máximas de funcionamiento
A	221 °F (105 °C)
B	266 °F (130 °C)
F	311 °F (155 °C)
H	356 °F (180 °C)

Figura 1-11. Las temperaturas de funcionamiento máximas para el aislamiento del motor se clasifican según la Asociación Estadounidense de Fabricantes Eléctricos (NEMA) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

El *par de rotor bloqueado (LRT)* es el par que produce un motor cuando su rotor es de estator y se aplica potencia completa al motor. Los motores deben producir suficiente par de rotor bloqueado para que el eje empiece a moverse. También se conoce como par de despegue o de arranque.

El *par de enganche (PUT)* es el par necesario para llevar una carga a su velocidad nominal. Si un motor no puede producir suficiente par de enganche, el motor puede girar el eje pero no a la velocidad nominal. También se conoce como par de aceleración.

El *par máximo (BDT)* es el par máximo que puede proporcionar un motor sin una reducción brusca de la velocidad del motor. Al aumentar la carga del motor, éste produce más par hasta que la carga es demasiado grande para que el motor la gire a su velocidad nominal.

El *par de plena carga (FLT)* es el par necesario para producir la potencia nominal a la velocidad total del motor. Aunque el par de plena carga es igual que la potencia nominal especificada en la placa de características del motor con la tensión y corriente especificadas para el motor, en la mayoría de las aplicaciones, un motor eléctrico no debe trabajar al 100% (plena carga) para mover la carga.

Relación entre par, velocidad y caballos de potencia del motor

La clasificación de par, velocidad y caballos de potencia de funcionamiento de un motor determina el trabajo que puede producir el motor. Estos tres factores están interrelacionados cuando se aplican a una carga: si un motor está a plena carga, produce un par de plena carga; si está por debajo de su carga, produce menos que el par de plena carga si está por encima de su

carga, debe producir más que el par de plena carga para que continúe su funcionamiento a la velocidad nominal del motor. **Consulte la figura 1-13.**

Tipos de carga del motor

Los motores se utilizan para satisfacer muchos tipos de carga que pueden necesitar un par constante (CT), un par variable (VT) o caballo de potencia constante (CH) en su funcionamiento a diferentes velocidades. Es necesario conocer cada tipo de carga del motor para configurar o programar los variadores de velocidad según el tipo de carga que tenga el motor. **Consulte la figura 1-14.**

Par constante

Una *carga de par constante (CT)* es aquella en la que la necesidad de par motor es constante. Cualquier cambio en la velocidad de funcionamiento requiere un cambio en los caballos de potencia. En este tipo se incluyen las cargas que producen fricción, como las cintas transportadoras, las máquinas operadas con motor, los equipos de elevación de carga y demás cargas que pueden funcionar a diferentes velocidades.

Par variable

Una *carga de par variable (VT)* es aquella que requiere un par y caballos de potencia variables a diferentes velocidades. En este tipo de carga, el motor debe trabajar más para proporcionar más salida a mayor velocidad. Tanto el par como los caballos de potencia aumentan al aumentar la velocidad. Entre estas cargas se incluyen las bombas, los ventiladores, las mezcladoras y los agitadores.

Características de par, velocidad y caballos de potencia del motor

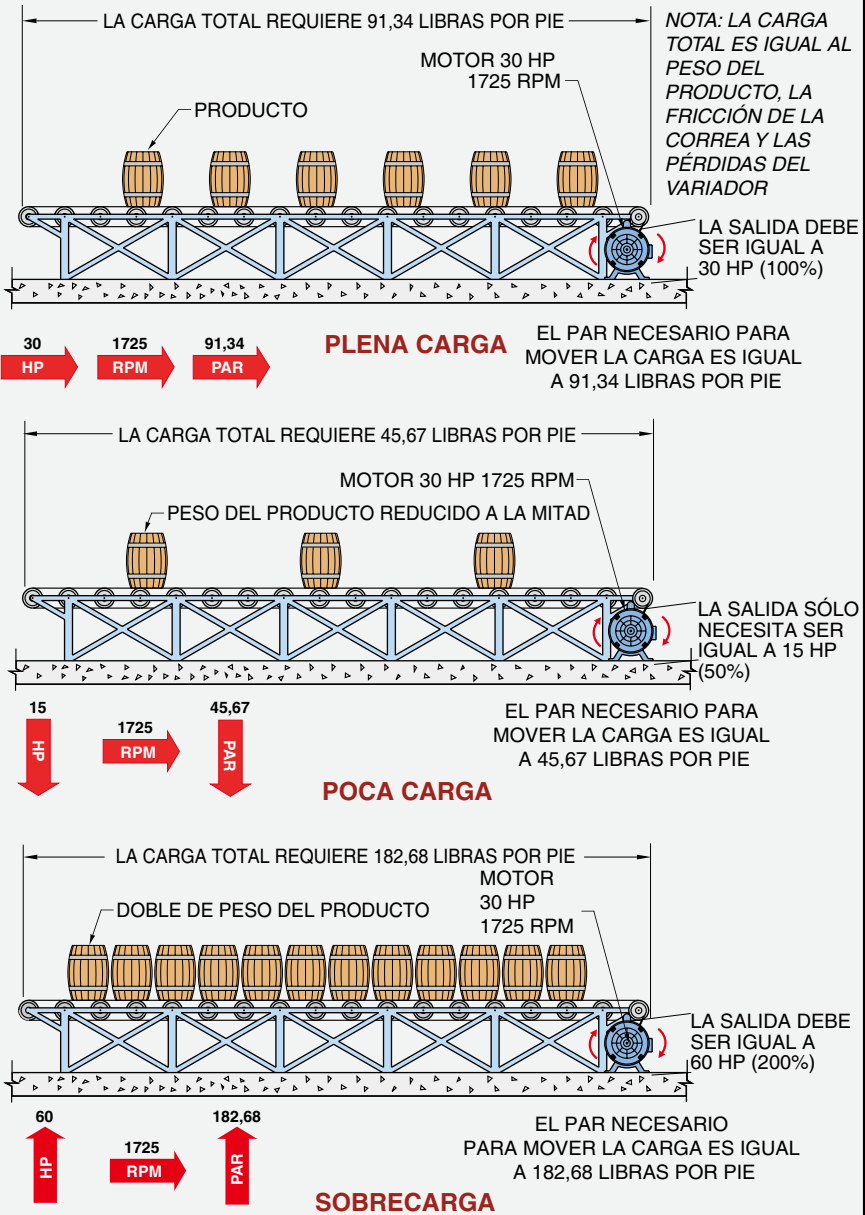
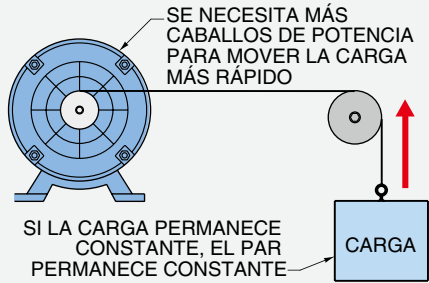
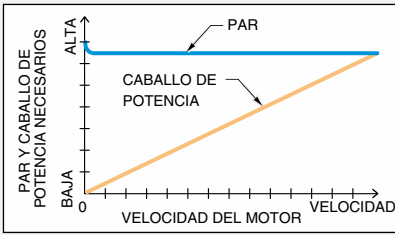
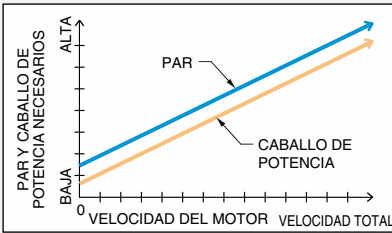


Figura 1-13. Un motor puede estar a plena carga, por debajo de la carga o por encima de la carga.

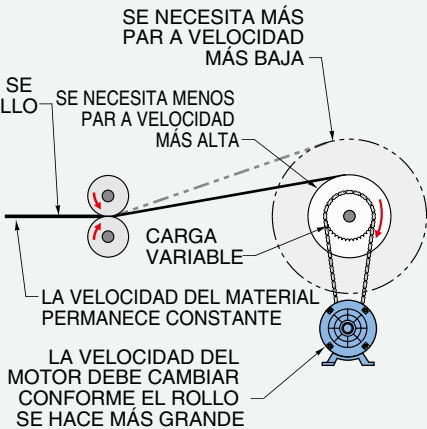
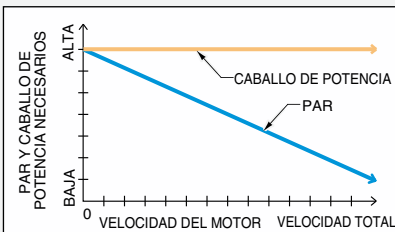
Tipos de carga del motor



PAR CONSTANTE (CT)



PAR VARIABLE (VT)



CABALLO DE POTENCIA CONSTANTE (CH)

Figura 1-14. Las cargas de motor pueden necesitar un par constante (CT), un par variable (VT) o caballo de potencia constante (CH) en su funcionamiento a diferentes velocidades.

Caballo de potencia constante

Una *carga de caballo de potencia constante (CH)* es aquella que requiere un par alto a velocidades bajas y un par bajo a velocidades altas. Ya que las necesidades de par se reducen al aumentar la velocidad, los caballos de potencia permanecen constantes. En este tipo se incluyen los equipos de bobinado de papel, metal y tela utilizados en instalaciones de fabricación de producción.

Si se utiliza un variador para controlar un motor, se configura o programa el variador para el tipo de carga. La configuración o programación de un tipo de carga suele depender del tipo de carga y de la configuración o programación del variador para un tipo determinado de aplicación.

Si se necesita verificación, documentación o análisis, se puede utilizar un osciloscopio portátil para capturar y mostrar las mediciones tomadas con diferentes valores y condiciones de funcionamiento del circuito. Por ejemplo, se puede tomar diferentes mediciones con el variador de velocidad establecido en la posición “CT” (par constante) y en la posición “P&F” (bombas y ventiladores). Con el valor CT, el variador tiene mayor potencia a velocidades inferiores y superiores para mantener un par constante en la carga. Además, con el valor P&F, el variador tiene menos potencia con velocidades bajas y aumenta la potencia para mover más líquido o aire a velocidades más altas. **Consulte la figura 1-15.**

VARIADORES DE VELOCIDAD ELÉCTRICOS

Un variador de velocidad es una unidad electrónica diseñada para controlar la velocidad de un motor mediante dispositivos en estado sólido. Los variadores de velocidad se dividen en tres secciones y pueden ser variadores de CA o de CC, siendo los de

CA los más comunes. Tradicionalmente, se utilizaban los motores de arranque magnéticos para controlar los motores eléctricos, sin embargo, ahora el método preferido para controlarlos es el variador de velocidad. A veces se utilizan los motores de arranque magnéticos en aplicaciones básicas para activar y desactivar los motores así como para proporcionar una protección ante sobrecargas.

Los variadores de velocidad además de activar y desactivar los motores y de proporcionar una protección ante sobrecargas, se diferencian de los motores de arranque en que disponen de más funciones como control de la velocidad, aceleración y desaceleración programadas, aumento de arranque del motor, supervisión de averías, velocidades programables, diferentes métodos de detención, modulación del ancho de pulso y otras funciones de control. La mayoría de los parámetros se pueden programar en el variador de velocidad y están visibles en las pantallas de funcionamiento. La longitud del cable utilizado para conectar el variador al motor también influye en el funcionamiento del motor.

Funciones del variador de velocidad

Los variadores de velocidad eléctricos incluyen una serie de funciones que los hacen versátiles, asequibles y permiten el ahorro de energía. Permiten la programación de los parámetros de funcionamiento y ofrecen indicadores de averías detectadas en el variador o en el motor. La mayoría de los variadores también incluyen funciones de medición y visualización de los parámetros de funcionamiento básicos. Se puede establecer los parámetros que mejor se ajusten al funcionamiento deseado del sistema. Además, los indicadores de averías y de medición del funcionamiento pueden ayudar a determinar los problemas para su solución.

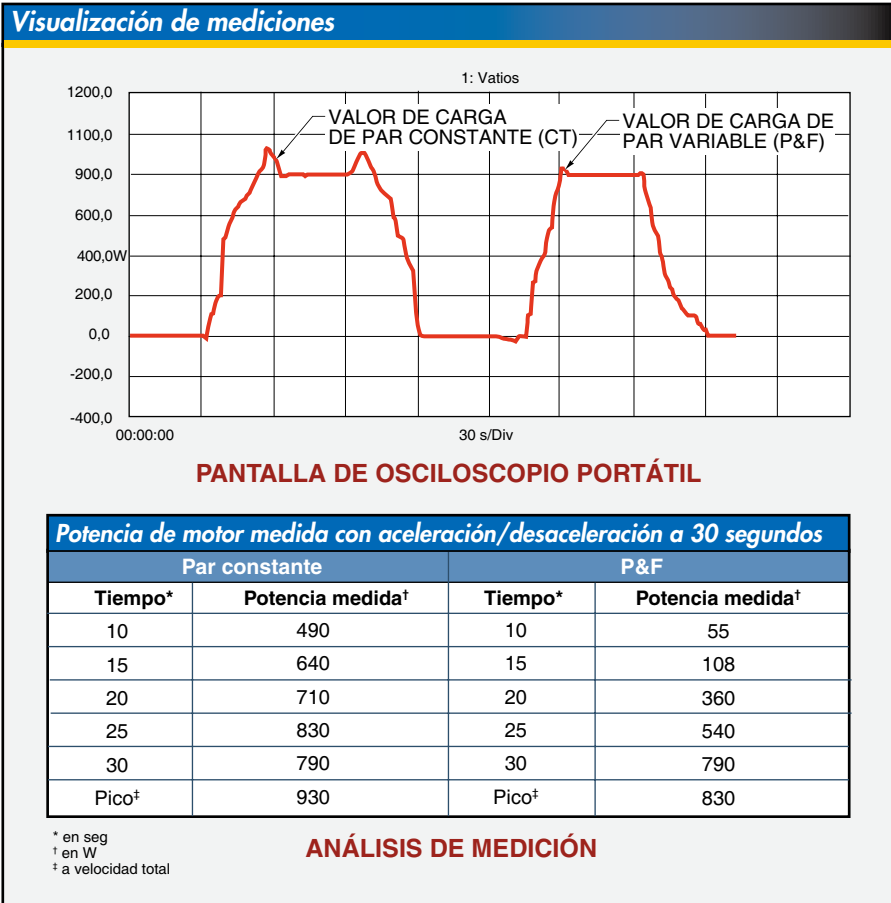


Figura 1-15. Si se necesita verificación, documentación o análisis, se puede utilizar un osciloscopio portátil para capturar y mostrar las mediciones tomadas con diferentes valores y condiciones de funcionamiento del circuito.

Programación de los parámetros. El formato del menú de parámetros y los métodos de programación varían dependiendo del fabricante, pero todos los variadores de velocidad permiten la programación de las condiciones de funcionamiento. La mayoría ofrece una serie de parámetros que se pueden programar para personalizar el variador y el motor para una aplicación concreta. Sin embargo, sólo en el caso de algunos es necesario que se configuren o

programen para adaptarse mejor al motor y a la aplicación. Aunque la mayoría de los variadores de velocidad incluyen numerosos parámetros para personalizar el variador para el motor y la aplicación, normalmente no es necesario reprogramar muchos de los parámetros respecto a los predeterminados de fábrica. Para simplificar la programación, algunos fabricantes agrupan los parámetros programados más comunes. **Consulte la figura 1-16.**

Parámetros de programación básicos

Parámetros de programación básicos
 = Parar el variador antes de cambiar este parámetro.

N.º	Parámetro	Mín/Máx	Visualización/Opciones	Valor predeterminado	
P031 <input type="radio"/>	[Motor NP Volts]	20/Voltios nominales del variador	1 VCA	Según clasificación del variador	
P032 <input type="radio"/>	[Motor NP Hertz]	10/240 Hz Establecer según la frecuencia nominal de la placa de características del motor.	1 Hz	60 Hz	
P033	[Motor OL Current]	0,0/(Amperios nominales del variador x 2)	0,1 amperios	Según clasificación del variador	
P034	[Minimum Freq]	0,0/240,0 Hz Establece la frecuencia mínima a la que la salida del variador será constante.	0,1 Hz	0,0 Hz	
P035 <input type="radio"/>	[Maximum Freq]	0/240 Hz Establece la frecuencia máxima de la salida del variador.	1 Hz	60 Hz	
P036 <input type="radio"/>	[Start Source]	0/5 Establece el esquema de control utilizado para arrancar el variador.	0 = "Keypad" ⁽¹⁾ 1 = "3-Wire" 2 = "2-Wire"	3 = "2-W Lvl Sens" 4 = "2-W Hi Speed" 5 = "Comm Port"	0

(1) Si se activa, también se activa la tecla Reverse a menos que se desactive mediante A095 [Reverse Disable].

Figura 1-16. Los parámetros de programación básicos son los más utilizados.

Visualización del funcionamiento. La mayoría de los variadores supervisan y muestran las condiciones de funcionamiento como la tensión de salida, la corriente, la potencia, la frecuencia y la temperatura. Los parámetros de visualización se utilizan para mostrar las condiciones de funcionamiento, útiles para la instalación, comprobación,

y solución de problemas de un circuito con un variador de velocidad. Los datos que se muestran también ayudan a determinar los tipos de instrumentos de medida adicionales que se deben utilizar para solucionar los problemas del sistema. **Consulte la figura 1-17.**

Visualización del funcionamiento

Parámetros de visualización

N.º	Parámetro	Mín/Máx	Visualización/Opciones
d001	[Output Freq]	0,0/[Maximum Freq]	0,1 Hz
d002	[Commanded Freq]	0,0/[Maximum Freq]	0,1 Hz
d003	[Output Current]	0,00/(Amperios del variador x 2)	0,01 amperios
d004	[Output Voltage]	0/Voltios nominales del variador	1 VCA
d005	[DC Bus Voltage]	Según clasificación del variador	1 VCC
d006	[Drive Status]	0/1 (1 = Condición verdadera)	Bit 3 Desaceleración Bit 2 Aceleración Bit 1 Adelante Bit 0 Funcionamiento
d007- d009	[Fault x Code]	F2/F122	F1

Figura 1-17. Los parámetros de visualización se utilizan para mostrar las condiciones de funcionamiento.

Visualización de averías. Los variadores de velocidad incorporan funciones de supervisión para realizar el seguimiento del funcionamiento del sistema, cerrar el sistema automáticamente si se detecta algún problema y mostrar un código de avería o información relacionada. Al igual que con la visualización del funcionamiento, la visualización de averías también ayuda a determinar los tipos de instrumentos de medida adicionales que se deben utilizar para solucionar los problemas del sistema.

Secciones principales de un variador

Las tres secciones principales de un variador de velocidad de CA son la sección del convertidor, la sección del bus CC y la sección del inversor. **Consulte la figura 1-18.** La sección del convertidor (rectificador) recibe la tensión CA de entrada y la cambia a CC. Si es necesario, también sube o baja la tensión de entrada para adaptarse a la tensión de salida necesaria.

La sección del bus CC filtra la tensión y mantiene el nivel adecuado de tensión

CC. Se encarga de suministrar la tensión CC a la sección del inversor para volver a convertirla en tensión CA. La sección del inversor vuelve a cambiar la tensión CC en CA trifásica para suministrarla al motor. Se encarga de controlar el par y la velocidad del motor.

Modulación del ancho de pulso

La *modulación del ancho de pulso (PWM)* es un método que permite controlar la cantidad de tensión que se envía al motor. Los variadores de velocidad de CA deben controlar la cantidad de tensión producida para poder controlar la velocidad y el par de un motor. La modulación del ancho de pulso controla la cantidad de salida de tensión mediante la conversión de la tensión CC en valores fijos de pulsos de CC individuales mediante la conmutación a alta velocidad de los transistores. Mediante la variación del ancho de cada pulso (tiempo de actividad) y/o la variación de la frecuencia, se puede aumentar o reducir la tensión. Cuanto más ancho sea cada pulso, mayor será la salida de tensión CC. **Consulte la figura 1-19.**

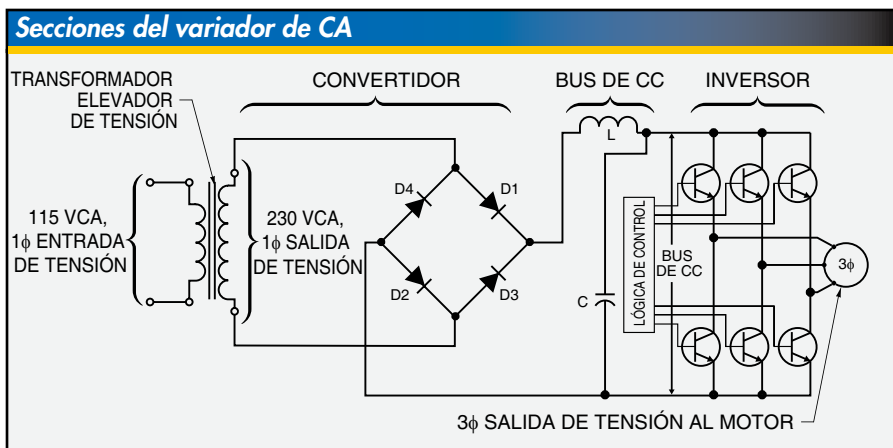


Figura 1-18. Las tres secciones principales de un variador de CA son las secciones de convertidor, bus CC e inversor.

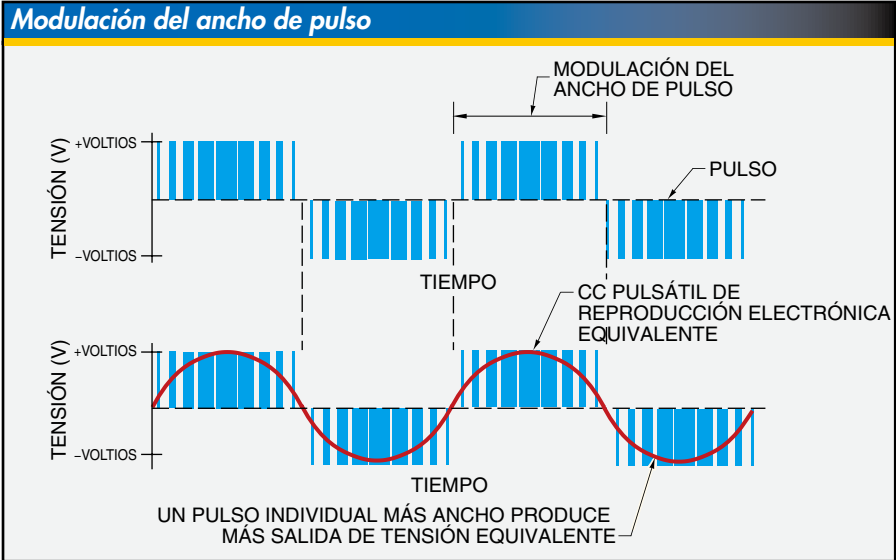


Figura 1-19. Se utiliza la modulación del ancho de pulso para producir una salida de CC de pulso.

SUGERENCIA TÉCNICA

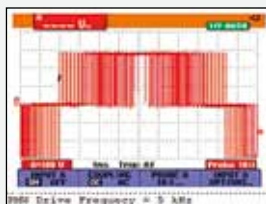
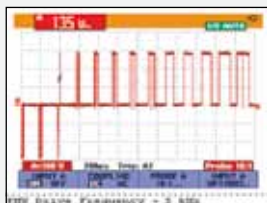
La frecuencia fundamental es la frecuencia de la tensión que utiliza un motor. La frecuencia de la portadora es la frecuencia a la que el variador envía pulsos de CC al motor.

La *frecuencia de la portadora* es la frecuencia que controla la velocidad de activación y desactivación de los conmutadores de estado sólido del inversor de un variador de velocidad de PWM. Cuanto mayor sea la frecuencia de la portadora, más pulsos individuales serán necesarios para reproducir la frecuencia fundamental. Una *frecuencia fundamental* es la frecuencia de la tensión utilizada para controlar la velocidad del motor. La frecuencia de la portadora en la mayoría de variadores de velocidad puede estar entre 1 kHz y 16 kHz aproximadamente. Cuanto mayor sea la frecuencia de la portadora, más cercana estará la onda senoidal de salida de la onda senoidal de frecuencia fundamental

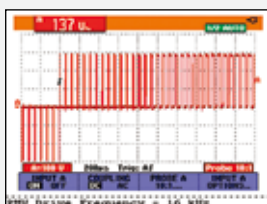
pura. Sin embargo, también es cierto que cuanto mayor sea la frecuencia de la portadora, mayor será la cantidad de tensión transitoria producida en los encendidos/apagados y mayor será el calor producido.

Al comprobar o solucionar los problemas de un variador ya instalado, se puede utilizar un osciloscopio portátil para analizar con mayor detenimiento la salida de PWM del variador. En primer lugar, se debe revisar cada fase para comprobar que no hay reflexiones. Al establecer el variador en una frecuencia de portadora de 5 kHz, hay menos pulsos individuales presentes para reproducir la frecuencia fundamental. Al establecer el variador en una frecuencia de portadora de 16 kHz, hay más pulsos individuales presentes para reproducir la frecuencia fundamental. Sin embargo, una frecuencia de portadora de 16 kHz puede influir en los armónicos y posiblemente acortar la longitud de cable permitida entre el variador y el motor. **Consulte la figura 1-20.**

Análisis de osciloscopio portátil de salida de PWM



FRECUENCIA DE LA PORTADORA DE 5 kHz



FRECUENCIA DE LA PORTADORA DE 16 kHz

Figura 1-20. Al comprobar o solucionar los problemas de un variador ya instalado, se puede utilizar un osciloscopio portátil para analizar con mayor detenimiento la salida de PWM del variador.

SUGERENCIA TÉCNICA

Aunque la mayoría de motores tienen salvaguardias incorporadas para evitar que el motor funcione a frecuencias superiores a la nominal, algunos motores pueden funcionar correctamente por encima de su frecuencia nominal, creando una situación de peligro. Nunca ponga el motor en funcionamiento a frecuencias superiores a la nominal.

Longitud del cable

En cualquier sistema eléctrico, la distancia entre los componentes y los dispositivos afecta al funcionamiento. El principal límite a la distancia entre un motor de arranque magnético y el motor es la caída

de tensión de los conductores que no debe exceder del 3%. El factor limitador cuando se utiliza un variador de velocidad es la cantidad de caída de tensión y capacitancia entre los conductores calientes que proporcionan la potencia al motor y los conductores calientes a tierra. Cuando mayores sean los conductores mayor capacitancia se producirá, causando altas tensiones transitorias hacia el motor. Ya que las tensiones transitorias se reflejan en el sistema, se conocen como picos de las ondas reflejadas u ondas reflejadas. Al aumentar la longitud del conductor e incrementarse la frecuencia de la portadora de salida del variador de velocidad eléctrico, las tensiones transitorias son mayores. **Consulte la figura 1-21.**

Longitud del cable

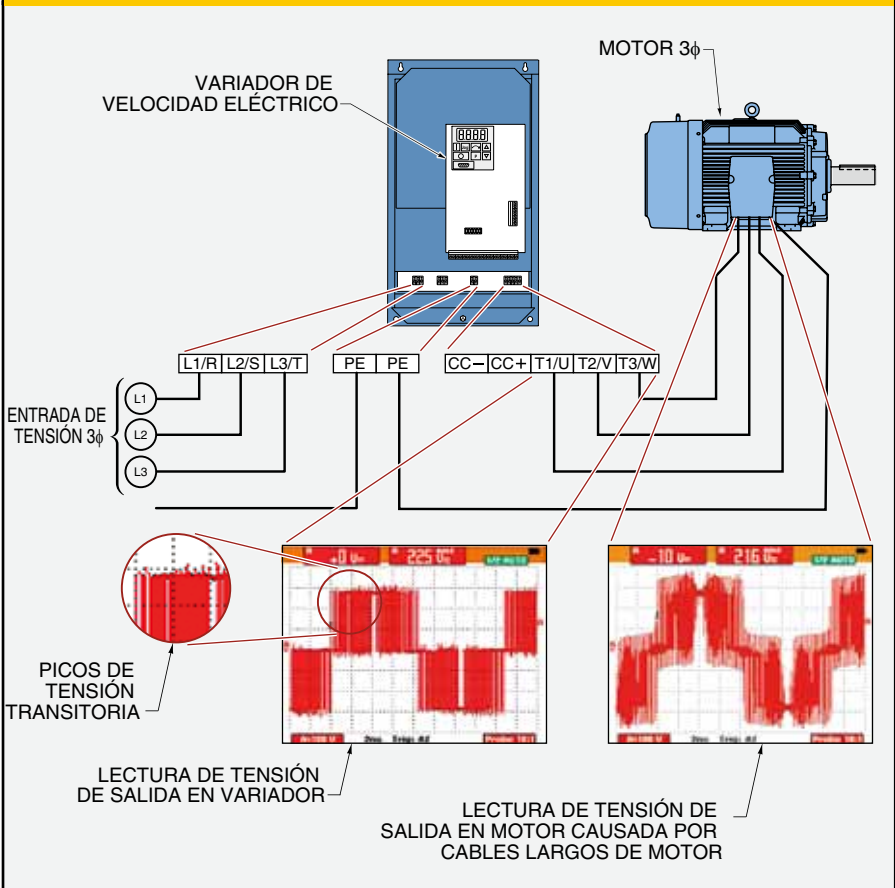


Figura 1-21. Al aumentar la longitud del conductor e incrementarse la frecuencia de la portadora de salida del variador de velocidad eléctrico, las tensiones transitorias son mayores.

SUGERENCIA TÉCNICA

Cuanto mayor sea la frecuencia de la portadora del variador, más ruido electromagnético se produce, por lo que la longitud del cable del motor al variador de velocidad debe ser menor. Una longitud menor del cable reduce los problemas de ruido y cumple determinadas regulaciones, como la EMC europea.



2

Seguridad y mediciones de pruebas

Para solucionar los problemas de los equipos eléctricos se necesitan instrumentos de medida con los que realizar mediciones en los circuitos eléctricos de energía así como en los componentes. El trabajo en estos circuitos (o cerca de ellos) puede producir descargas eléctricas, quemaduras y lesiones. Para reducir estos riesgos, se debe seguir las adecuadas medidas de seguridad y utilizar un equipo de protección individual (PPE). Para localizar el problema, se debe entender las mediciones de las pruebas. Si se utiliza osciloscopios portátiles, es necesario conocer tanto la presentación numérica como la forma de onda.

SEGURIDAD

Las reglas y las normas de seguridad son diferentes en cada país y es necesario que todo el personal conozca y siga la normativa local. Sin embargo, las ideas subyacentes de precaución y sentido común son universales y se puede ofrecer algunas recomendaciones generales sobre seguridad.

Al instalar o modificar los circuitos eléctricos, se pueden desconectar y bloquear los equipos y circuitos con energía. El *bloqueo* es el proceso de desconexión de la fuente de alimentación eléctrica y la instalación de un bloqueo que evite la conexión de la alimentación. El *etiquetado* es el proceso de colocación de una etiqueta de peligro en la fuente de la alimentación eléctrica, en la que se indique que no se puede poner en funcionamiento el equipo hasta que se retire la etiqueta. La etiqueta de peligro tiene la misma importancia y fin que un bloqueo y se utiliza sólo cuando el bloqueo no se puede adaptar al dispositivo desconectado.

Para realizar la reparación necesaria, se debe bloquear y etiquetar la fuente de alimentación eléctrica si ésta no es

necesaria. Sin embargo, se debe conectar la alimentación eléctrica para las pruebas y la solución de problemas de un circuito mediante los instrumentos de medida. Para evitar descargas eléctricas o cualquier tipo de lesión, se debe utilizar el equipo de protección individual así como seguir los procedimientos y las normas de seguridad necesarias. Además, sólo el personal cualificado debe trabajar en los equipos y circuitos eléctricos (o cerca de ellos).

La aplicación de los procedimientos de seguridad adecuados también incluye el conocimiento de los instrumentos de medida que se debe utilizar en cada caso, el conocimiento de su uso con seguridad, la lectura y seguimiento de los procedimientos y las recomendaciones del fabricante y la verificación de que estos instrumentos son adecuados para su uso en el área, en el equipo o en el circuito que se va a comprobar. Si no dispone del manual de instrucciones del instrumento de medida original, la mayoría de los fabricantes proporcionan los manuales a través de Internet o pueden enviarle una copia si se solicita.

Equipo de protección individual

El *equipo de protección individual (PPE)* es la ropa y el equipo que lleva el personal para reducir la posibilidad de lesiones en el área de trabajo. Se debe utilizar PPE siempre que se trabaje o compruebe cualquier circuito eléctrico expuesto a una fuente de alimentación.

En el PPE se incluye la ropa de protección, protección para cabeza, ojos, oídos, manos, pies, espalda y rodillas, así como esteras aislantes de goma. **Consulte la figura 2-1.**

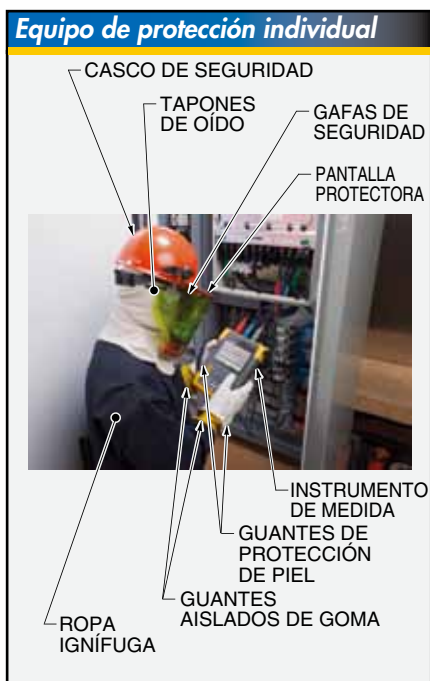


Figura 2-1. El equipo de protección individual (PPE) se utiliza mientras se realizan las mediciones eléctricas para evitar posibles lesiones.

Todo PPE debe cumplir los códigos de designación y normas, como las normas del Instituto Nacional Estadounidense de Normas (ANSI) y de la Administración de

Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), Código de Normativas Federales (CFR) 29, 1910, subapartado I sobre *equipo de protección individual*, secciones de 1910,132 a 1910,138.

Personas cualificadas

Una *persona cualificada* es aquella que ha recibido formación y tiene conocimientos especiales sobre la estructura y el funcionamiento de los equipos eléctricos o se encarga de una tarea concreta y es capaz de reconocer y evitar los peligros eléctricos que pueden existir en el trabajo con los equipos o en tareas concretas. Sólo las personas cualificadas deben trabajar con los equipos eléctricos o cerca de ellos. Por ejemplo, en Estados Unidos, la norma NFPA 70E® establece que sólo el personal cualificado debe realizar pruebas en las piezas que tengan una tensión de 50 V o más. En muchos otros países, el límite de tensión es inferior, 24 V. Una persona cualificada debe cumplir los siguientes requisitos:

- tener conocimientos del tipo de PPE necesario para áreas concretas así como de los procedimientos de prueba necesarios
- tener la formación adecuada en el uso de PPE, en los procedimientos de prueba, en las leyes, reglas, códigos, normas y procedimientos de la empresa, así como cualquier otro conocimiento necesario para garantizar el entorno de trabajo más seguro posible
- tener conocimientos de las herramientas e instrumentos de medida necesarios y del uso correcto y seguro de los procedimientos de prueba en cuestión

Categorías de medición de los instrumentos de medida (clasificación CAT)

La *Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)* es una organización que desarrolla normas internacionales para los equipos eléctricos. La norma IEC 61010 clasifica las aplicaciones en las que se puede utilizar los instrumentos de medida en cuatro categorías: CAT I, CAT II, CAT III y CAT IV. **Consulte la figura 2-2.** La clasificación CAT determina la magnitud máxima de sobretensión (tensión transitoria) que puede soportar un instrumento de medida cuando se utiliza en un sistema de distribución de energía.

Una *tensión transitoria* es un pulso de tensión momentáneo y no deseable que varía en amplitud y nivel de energía según la fuente (bobina de solenoide o rayo) transitoria.

Los equipos de prueba con una clasificación CAT alta permite a los técnicos trabajar con mayor seguridad y en más tipos de aplicaciones eléctricas que los que tienen una clasificación CAT baja.

En las aplicaciones de variador de velocidad, hay una tensión positiva y negativa en relación a la toma de tierra o con tensión de salida en configuraciones en triángulo. Una vez conectado un instrumento de medida, cada vez que se realiza una nueva conexión, puede haber una conexión con alto riesgo de seguridad. Esto se debe a que se realiza con una tensión positiva o negativa mayor, mientras que la otra conexión puede estar en potencial de tierra con lo que el riesgo de seguridad es bajo, como en una configuración en estrella.

En las demás aplicaciones, cada conexión de prueba puede tener una tensión alta (positiva y negativa en relación a la toma de tierra), lo que significa que puede haber algún riesgo de seguridad al establecer estas conexiones. Por ejemplo, una conexión en triángulo comporta riesgos de seguridad porque cada conductor lleva casi el mismo nivel de tensión sobre tierra.

ADVERTENCIA: el entorno de trabajo de un variador de velocidad variable puede ser diferente en cada instalación. Por lo tanto, es recomendable consultar al fabricante del variador de velocidad y al personal cualificado para obtener información sobre los procedimientos de seguridad concretos.

Existen diferencias entre un multímetro de CAT II–1000 V y otro de CAT III–600 V. Mientras que el multímetro de CAT II–1000 V tiene una tensión de trabajo superior que el de CAT III–600 V, el multímetro de CAT III–600 V puede soportar de forma segura seis veces más corriente y seis veces más potencia que un multímetro de CAT II–1000 V.

Entre las recomendaciones de uso de los instrumentos de medida en los variadores de velocidad variables se incluyen las siguientes:

- Los instrumentos deben tener una clasificación mínima de CAT IV–600 V o CAT III–1000 V.
- Los instrumentos con la clasificación CAT III–1000 V y CAT IV–600 V permiten un trabajo seguro en una amplia gama de aplicaciones eléctricas.

Nota: en el caso de las aplicaciones de variador de velocidad industriales, se debe evitar el uso de instrumentos de medida con la clasificación CAT I y CAT II a menos que se realice el trabajo en pequeños derivadores de potencia fraccionaria conectados a tomas de pared. Evite el uso de multímetros que indiquen que están “diseñados para cumplir” la norma IEC 61010 o que no incluyan la certificación de prueba de un laboratorio de pruebas independiente como UL, CSA, VDE, TÜV o MSHA ya que no cumplen todos los requisitos asociados a las especificaciones que indican.

Algunas de las directrices de seguridad para la toma de mediciones de prueba en variadores de velocidad eléctricos son las siguientes:

Categorías de medición de los instrumentos de medida (clasificación CAT)		
Categoría	En resumen	Ejemplos
CAT I	Equipo electrónico	<ul style="list-style-type: none"> Equipo electrónico protegido Equipo conectado a circuitos (de fuente) en los que se han tomado medidas para reducir las sobretensiones de los transitorios a un nivel bajo apropiado Cualquier fuente de alta tensión y baja potencia derivada de un transformador de alta resistencia de devanado, como la sección de alta tensión de una fotocopiadora
CAT II	Cargas conectadas a toma 1φ	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivos eléctricos, instrumentos portátiles y otras cargas domésticas similares Tomas de corriente y ramales largos Tomas de corriente a más de 10 metros de una fuente CAT III Tomas de corriente a más de 20 metros de una fuente CAT IV
CAT III	Distribución 3φ, incluida la iluminación comercial 1φ	<ul style="list-style-type: none"> Equipos en instalaciones fijas, como cuadros de conmutación y motores polifásicos Barras y sistemas de alimentación de plantas industriales Alimentadores y ramales cortos, dispositivos de cuadros de distribución. Sistemas de iluminación en grandes edificios Tomas de corriente de dispositivos eléctricos con conexiones cortas a entradas de servicio
CAT IV	3φ en conexión de instalación, cualquier conductor exterior	<ul style="list-style-type: none"> Indica el "origen de la instalación", es decir, donde se realiza la conexión de baja tensión (acometida) a la alimentación de alta tensión. Multímetros de electricidad, equipo primario de protección contra sobrecorrientes Acometida exterior y de servicio, cable de acometida desde el origen de media tensión al edificio, tramo entre el contador y el cuadro Línea suspendida al edificio independiente

Figura 2-2. La norma 61010 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) clasifica las aplicaciones en las que se puede utilizar los instrumentos de medida en cuatro categorías (Categoría I a Categoría IV).

- Siempre que sea posible, trabaje con circuitos sin energía, siguiendo los procedimientos de bloqueo/etiquetado adecuados. Verifique que las demás personas saben que está trabajando en el sistema.
- Utilice el PPE y las herramientas portátiles adecuadas cuando trabaje en circuitos con tensión.
- No mida la tensión por encima de la clasificación de tensión de trabajo indicada en el instrumento de medida.
- No realice mediciones en entornos de alta energía para los que no está indicado el instrumento.
- Conecte primero el cable a tierra y después el cable con tensión.
- Mantenga una mano en el bolsillo para reducir la posibilidad de un circuito cerrado a través del pecho y del corazón.
- Si es posible, cuelgue el multímetro en una correa o en un apoyo para evitar sujetarlo.
- Utilice el método de prueba de tres pasos: pruebe un circuito que sepa que tiene tensión, pruebe el circuito deseado y vuelva a probar el circuito con tensión para verificar el funcionamiento correcto del multímetro.

Para evitar descargas eléctricas u otras lesiones cuando realice la medición en circuitos CAT III, no se debe utilizar sondas de divisor de tensión (por ejemplo, 10:1, 100:1, 1000:1, etc.) que tengan sólo la clasificación IEC 61010 CAT I o CAT II. Se debe verificar que la sonda del osciloscopio utilizada tenga la clasificación adecuada para el entorno de medición en el que se realiza el trabajo. Se debe evitar la combinación de instrumentos de medida con la clasificación CAT III y accesorios de la clasificación CAT I o CAT II.

Siempre que sea posible, se debe utilizar un instrumento de medida de varios canales y todas las conexiones de prueba se deben realizar con un punto de referencia común. En los sistemas de alimentación trifásica, suele ser la línea de retorno común o “neutra”. En otros sistemas, puede ser la referencia común o el cable de tierra. Si se utiliza un instrumento de medida de varios canales con un punto de referencia común, se minimiza la tensión aplicada al instrumento de medida así como a todo el cableado asociado, lo que reduce los riesgos de seguridad. Además, los niveles de tensión real que tiene que soportar el instrumento son menores, lo que también reduce los riesgos de seguridad.

Nota: cuando utilice instrumentos de medida de varios canales, es posible que sea necesario realizar una conexión de prueba al sistema trifásico, utilizando una conexión monofásica como referencia común para los dos canales del instrumento de medida. De esta forma, se puede volver a realizar la medición de la tensión fase a fase. El punto de referencia “común” es de alta tensión y se debe tratar con las mismas consideraciones de seguridad que las demás entradas de prueba.

MEDICIONES DE PRUEBAS

La mayoría de los instrumentos de medida están diseñados para realizar diferentes tipos de medidas concretas. Es necesario conocer el tipo de medición que se puede realizar y saber analizar las mediciones obtenidas para entender el funcionamiento de un circuito, sistema, componente o pieza del equipo. También es necesario conocer los tipos de tensión y corriente presentes en un circuito, así como sus valores medidos, a la hora de realizar tareas de mantenimiento o solución de problemas.

Normalmente, las mediciones tomadas con un osciloscopio portátil se muestran en forma de número u onda. **Consulte la figura 2-3.**

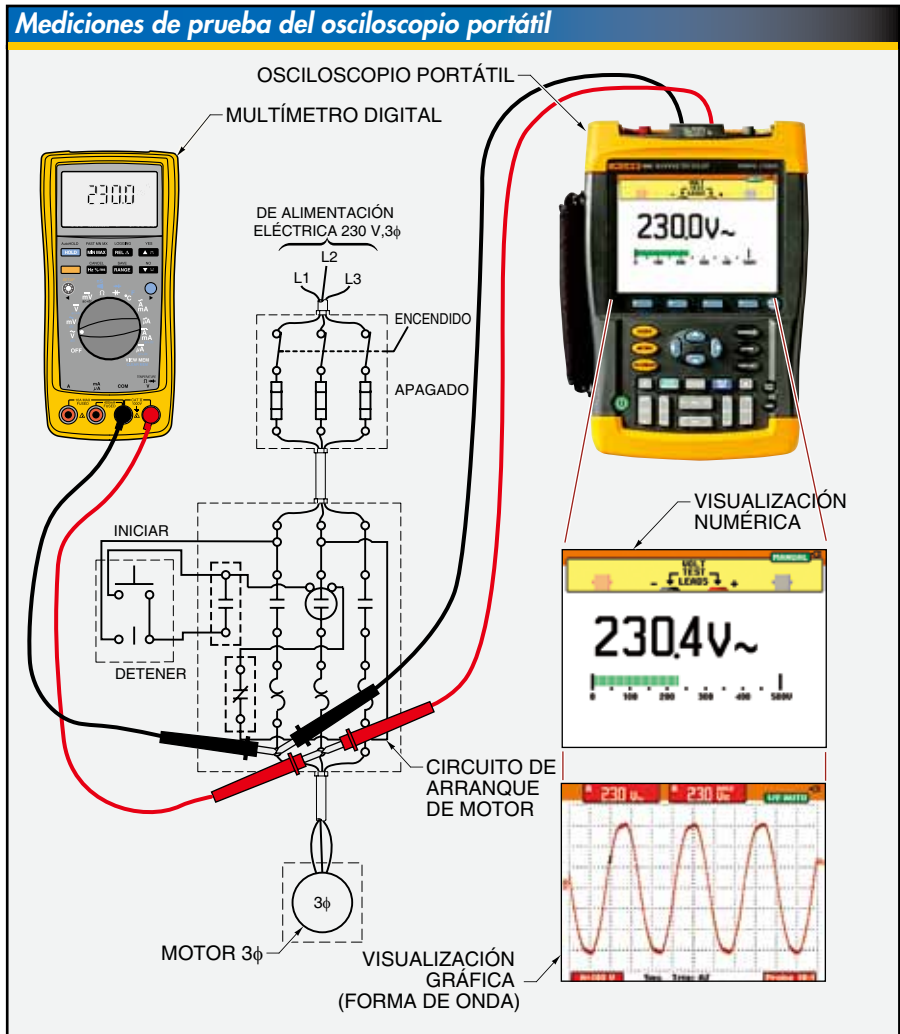


Figura 2-3. Normalmente, las mediciones tomadas con un osciloscopio portátil se muestran en forma de número u onda.

En algunas aplicaciones, los valores numéricos proporcionan suficiente información para solucionar el problema. Sin embargo, en problemas más complejos, resulta más útil la onda senoidal visual del valor medido (tensión, corriente, potencia o resistencia) a la hora de solucionarlos.

Los osciloscopios portátiles de varios canales pueden tomar varias mediciones a la vez así como medir varios aspectos de cada señal, lo que proporciona al técnico datos más rápidos y completos para entender el comportamiento del circuito.

Tipos de tensión y corriente

La *tensión* es la cantidad de “presión” eléctrica en un circuito, se mide en voltios (V) y puede ser continua (CC) o alterna (CA). La *corriente* es el flujo de los electrones por un circuito eléctrico, se mide en amperios (A) y, al igual que con la tensión, puede ser continua o alterna.

Circuitos de CC. Las fuentes de alimentación de CC tienen un terminal positivo y otro negativo que establecen la polaridad de un circuito. La *polaridad* es el estado eléctrico positivo (+) o negativo

(-) de un objeto y todos los puntos de un circuito de CC tienen polaridad. La fuente de alimentación de CC puede ser CC pura, CC de media onda, CC de onda completa, CC filtrada o CC variable, dependiendo de la fuente de CC. Por ejemplo, una fuente de alimentación de CC como una batería puede producir CC pura. Si se rectifica (cambia) la CC de CA a CC puede ser CA rectificada de media onda o CA rectificada de onda completa y se puede filtrar mediante condensadores para obtener CC más pura. **Consulte la figura 2-4.**

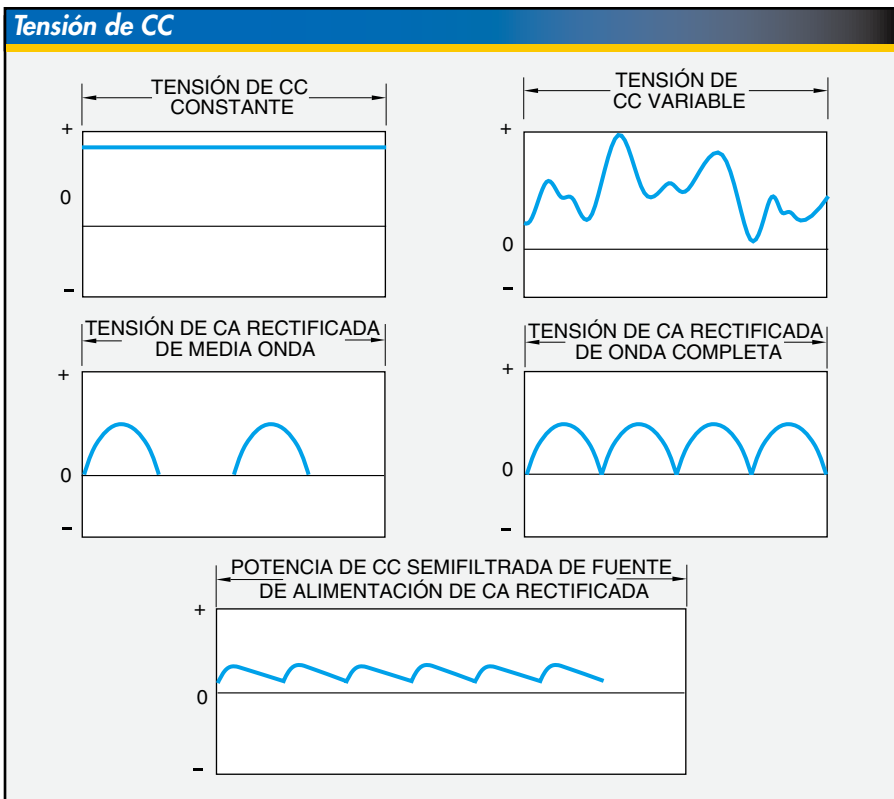


Figura 2-4. La tensión de CC puede ser constante o variable y su rango puede ir de CA de media onda a CA rectificada de onda completa.

Circuitos de CA. A diferencia de la tensión de CC estable producida por las baterías, la tensión producida por los generadores eléctricos alterna entre valores positivos y negativos ya que el rotor del generador gira 360 grados. Una tensión que alterna entre valores positivos y negativos genera una corriente alterna (CA), de donde se deriva su nombre.

Cuando se observa en un osciloscopio portátil, se ve cómo la tensión de CA varía en una onda senoidal suave en cada ciclo de 360°. **Consulte la figura 2-5.** Empezando en 0 V a 0°, la onda senoidal alcanza su pico de valor positivo a 90°, vuelve a 0 V a 180°, vuelve a aumentar a su pico de valor negativo a 270° y vuelve a 0° V a 360°. Una alternancia es la mitad de un ciclo (180°). Hay una alternancia positiva y otra negativa en cada ciclo de una onda senoidal de CA.

Tensión de CA. Los valores de la tensión de CA se pueden medir y mostrar como media, media cuadrática (rms), pico o valor de pico a pico. La *tensión media* ($V_{med.}$) de una onda senoidal es la media matemática de todas las tensiones instantáneas de medio ciclo de una onda senoidal. El valor medio equivale a 0,637 veces el valor de pico de una onda senoidal pura. La *tensión media cuadrática (efectiva)* (V_{rms}) es la tensión que produce la misma cantidad de calor en un circuito resistivo puro que la producida por la misma tensión de CC. El valor rms equivale a 0,707 veces el valor de pico de una onda senoidal. La *tensión de pico* ($V_{máx.}$) es el valor máximo de la alternancia positiva o negativa. Las alternancias positiva y negativa son iguales en una onda senoidal. La *tensión de pico a pico* (V_{p-p}) es el valor medido de la alternancia positiva máxima a la alternancia negativa máxima. **Consulte la figura 2-6.**

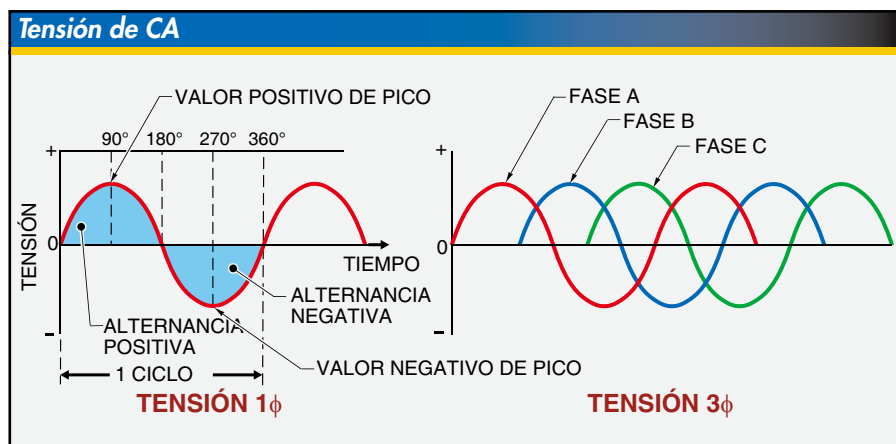
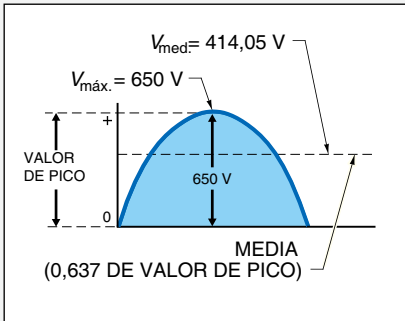
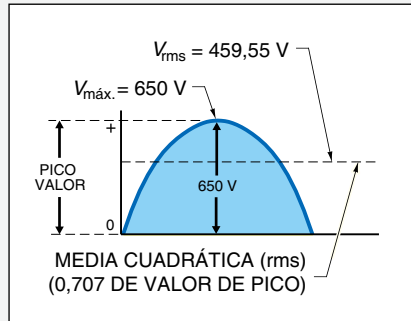


Figura 2-5. La tensión de CA se distribuye de forma monofásica o trifásica y los motores de CA tienen una clasificación para uso en sistemas monofásicos o trifásicos.

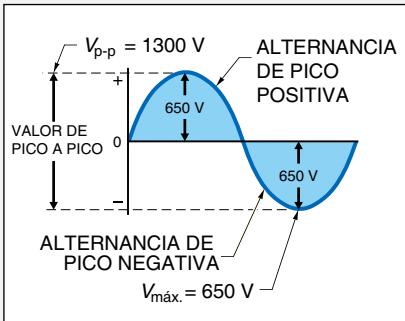
Tensión de CA



TENSIÓN DE MEDIA



TENSIÓN DE RMS



TENSIÓN DE PICO A PICO

Para convertir	A	Multiplicar por
rms	Media	0,9
rms	Pico	1,414
Media	rms	1,111
Media	Pico	1,567
Pico	rms	0,707
Pico	Media	0,637
Pico	Pico a pico	2

CONVERSIÓN DE TENSIÓN DE CA

Figura 2-6. La tensión de CA se puede medir y mostrar como media, rms, pico o valor de pico a pico en forma de ondas senoidales.

Visualización del osciloscopio portátil

Un osciloscopio portátil muestra los valores eléctricos medidos en forma de número u onda. La pantalla contiene ejes horizontales y verticales, el eje horizontal (x) representa el tiempo mientras que el eje vertical (y) representa la amplitud de la forma de onda. Una cuadrícula divide la pantalla en

segmentos que se pueden utilizar para medir la tensión y la frecuencia de las formas de onda mostradas.

Un trazado es una línea que cruza la pantalla del osciloscopio portátil para mostrar la amplitud de la señal en el tiempo. El barrido del trazado se ajusta según el valor de base de tiempo horizontal.

Consulte la figura 2-7.

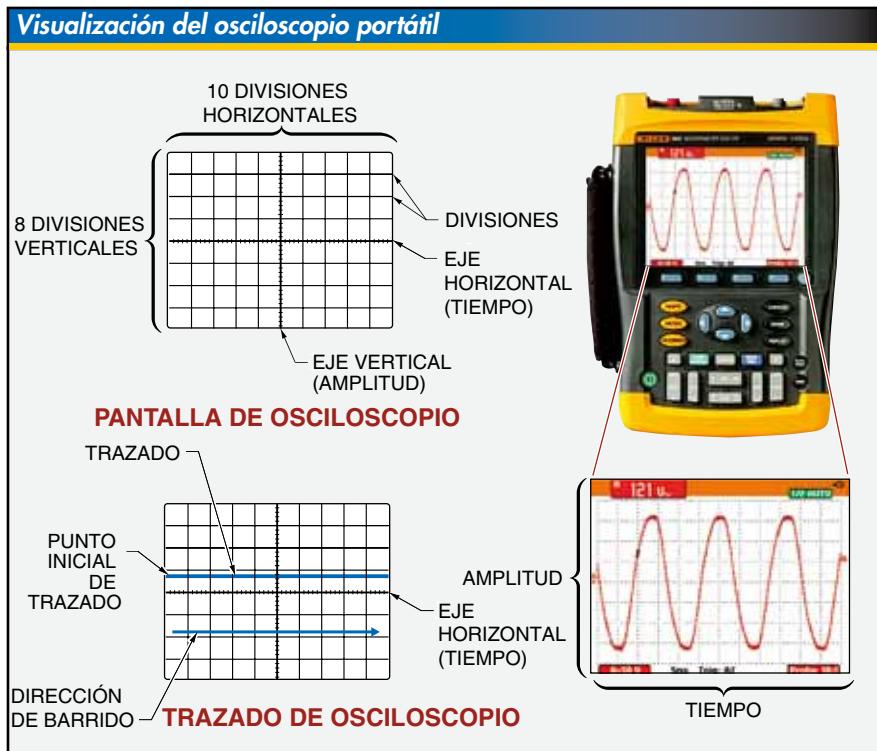


Figura 2-7. Los ejes horizontales y verticales dividen la pantalla del osciloscopio en partes iguales mientras que se establece un trazado en la pantalla antes de conectar un circuito en prueba.

Los osciloscopios portátiles de varios canales pueden mostrar hasta cuatro trazados a la vez, lo que permite a los técnicos ver y comparar de forma simultánea varias señales así como los diferentes aspectos de cada señal como tensión y corriente.

Posición horizontal y vertical. Para entender mejor las mediciones mostradas en las pantallas, los osciloscopios portátiles tienen mecanismos que permiten ajustes en la información mostrada. Los ajustes habituales que se realizan son en la posición horizontal y vertical, en el tiempo por división horizontal, voltios por división vertical y movimiento de posición del cursor. **Consulte la figura 2-8.**



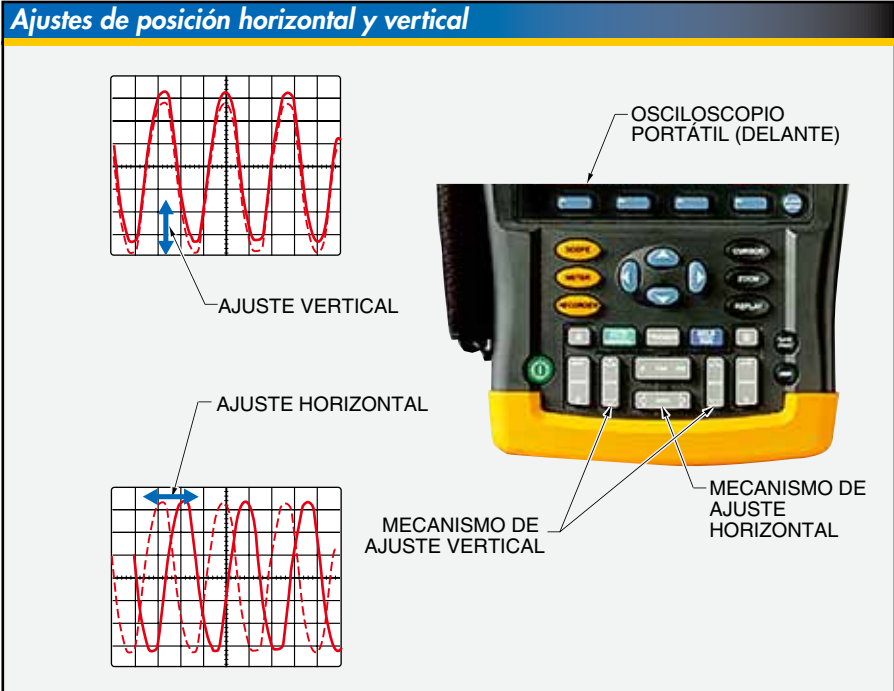


Figura 2-8. Los osciloscopios portátiles tienen mecanismos que permiten ajustes horizontales y verticales en la información mostrada.

El ajuste de posición horizontal y vertical se puede utilizar para superponer dos valores medidos diferentes. Las mediciones superpuestas pueden indicar si las dos mediciones están en fase o fuera de fase entre sí. Cuanta más tensión y corriente esté fuera de fase, mayor será la diferencia entre la potencia real y la potencia aparente del circuito y, por lo tanto, peor será el factor de potencia (PF) del circuito.

Consulte la figura 2-9.

La posibilidad de visualizar y medir los cambios de fase ayuda a identificar la potencia real, potencia aparente y el factor de potencia de un circuito. Por ejemplo, si el valor medido de una carga inductiva indica que el circuito tiene un factor de potencia bajo del 32%, también indica que la fuente

de alimentación (transformador) debe suministrar 4,2 kVA para producir 1,3 kW de salida de potencia para la carga. Una carga inductiva, como los bobinados de motor o solenoides, produce el cambio de fase entre tensión y corriente. En una carga inductiva, la corriente se retrasa respecto a la tensión.

SUGERENCIA TÉCNICA

Entre los controles que se pueden ajustar del osciloscopio se incluyen intensidad, enfoque, posición horizontal, voltios por división y tiempo por división.

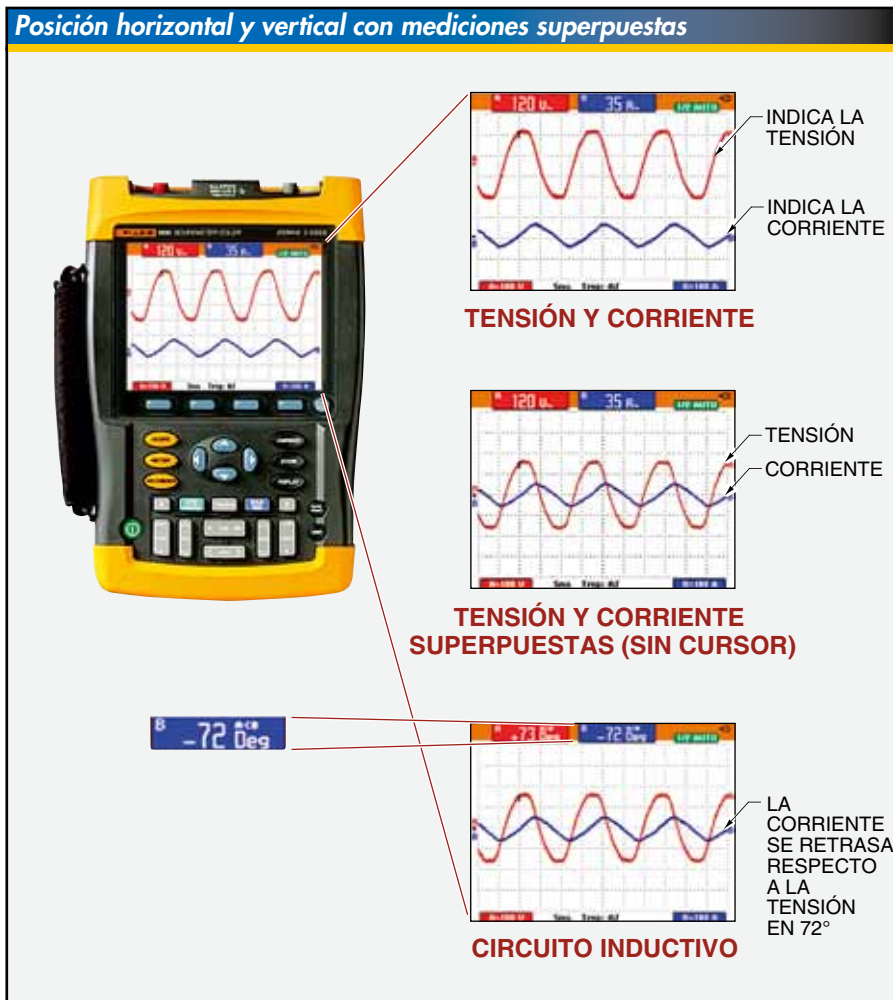


Figura 2-9. El ajuste de posición horizontal y vertical de un osciloscopio portátil se puede utilizar para superponer dos valores medidos diferentes.

Formas de onda

Las mediciones del circuito se muestran en la pantalla del osciloscopio portátil con formas de onda de diferentes colores, tamaños y formas. Es esencial conocer el significado de cada tamaño, forma y color de las ondas a la hora de analizar o solucionar los problemas de un circuito. Las formas de onda pueden

representar cargas lineales o no lineales. **Consulte la figura 2-10.**

Cargas lineales. Una *carga lineal* es aquella en la que la corriente aumenta de forma proporcional al aumento de la tensión y se reduce de forma proporcional al reducirse la tensión. Las cargas lineales, como las de los elementos calefactores, no distorsionan

la onda senoidal de tensión o corriente independientemente de si la tensión y la corriente están en fase o fuera de fase.

SUGERENCIA TÉCNICA

Algunos osciloscopios portátiles no mostrarán ninguna lectura si las partes de una señal no mostrada exceden la clasificación de pico de tensión.

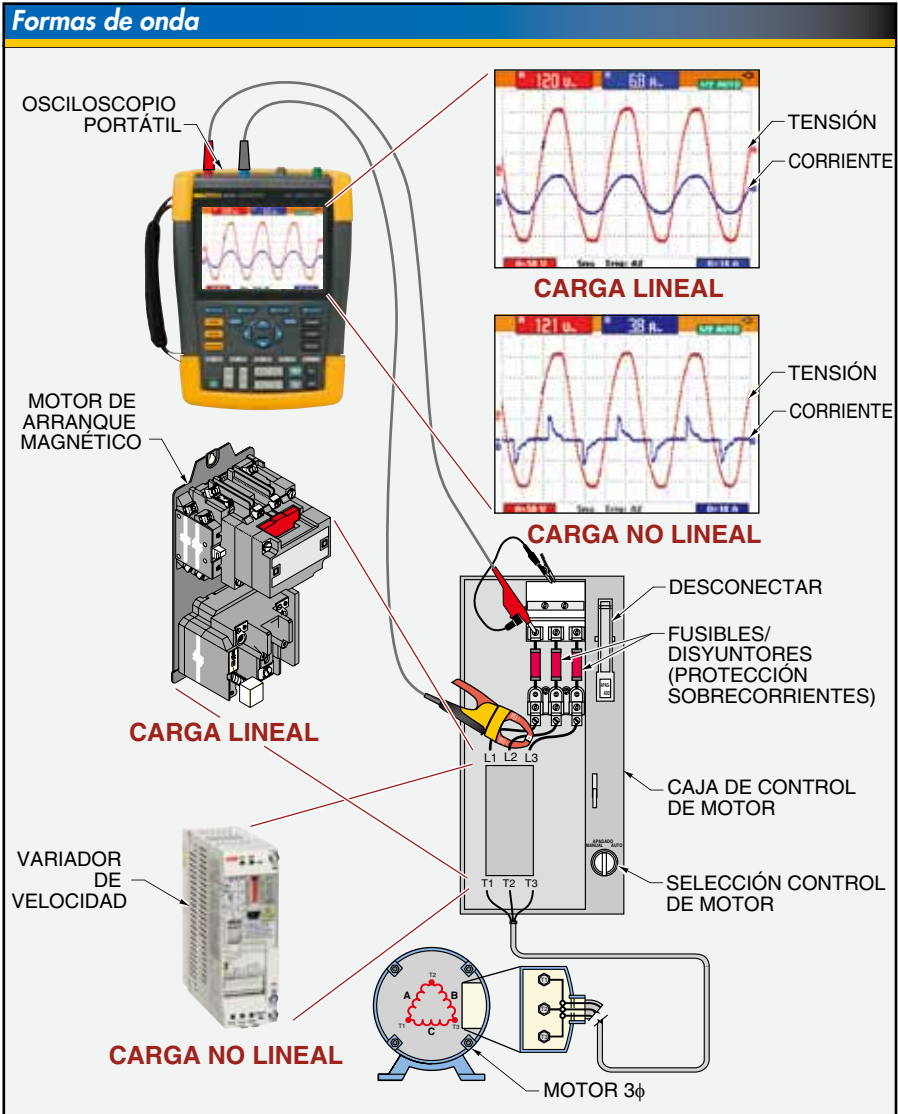


Figura 2-10. Dependiendo del circuito o equipo que se mida, las formas de onda que se muestran en un osciloscopio portátil pueden representar cargas lineales o no lineales.

Cargas no lineales. Una *carga no lineal* es aquella en la que la corriente de carga instantánea no es proporcional a la tensión instantánea. Las cargas no lineales, como las de los ordenadores, impresoras y variadores de velocidad, distorsionan la forma de onda que representa la corriente.

Análisis de la forma de onda. Se puede analizar la forma de onda para conocer la calidad del funcionamiento del circuito e identificar posibles problemas. Aunque las formas de onda mostradas pueden indicar un funcionamiento correcto, también

pueden identificar problemas como pérdida de señal, señales distorsionadas, tensión transitoria u oscilación. Consulte la figura 2-11.

SUGERENCIA TÉCNICA

Las cargas resistivas puras, de inductancia y de capacitancia, como las lámparas incandescentes, los elementos calefactores, los motores, las alarmas (campanas y bocinas), los solenoides y las bobinas de relé son lineales.

Análisis de la forma de onda

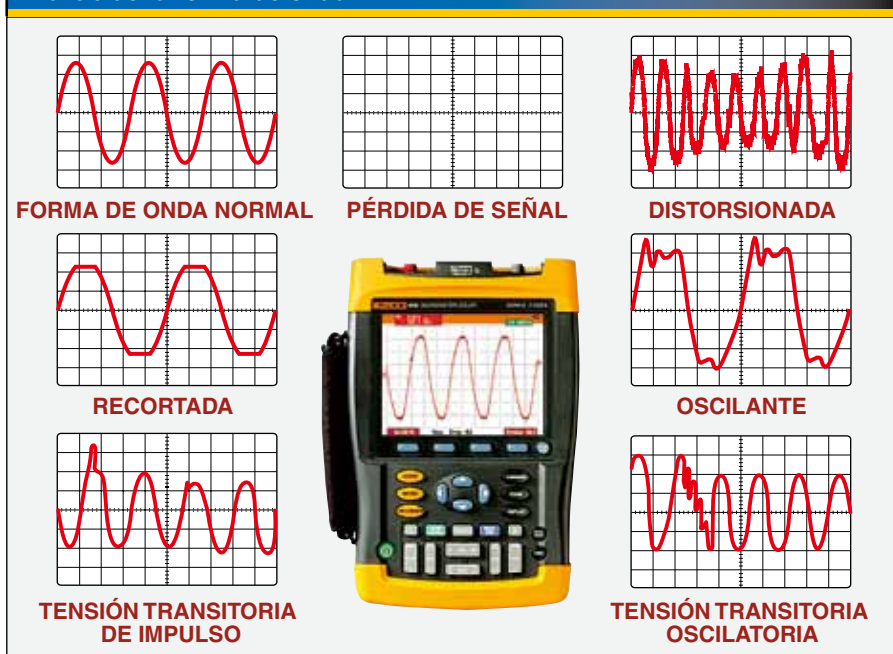


Figura 2-11. La forma de onda mostrada puede identificar problemas como pérdida de señal, señales distorsionadas, señales recortadas, tensión transitoria u oscilación.

Principios de la solución de problemas

La solución de problemas consiste en la eliminación sistemática de las diferentes secciones de un sistema con el fin de localizar el dispositivo o componente averiado. Puede incluir la comprobación de sistemas mecánicos, sistemas hidráulicos, sistemas neumáticos, sistemas electrónicos/comunicación, sistemas eléctricos u otros tipos de sistemas. Con frecuencia es necesaria la inspección y comprobación de distintos sistemas ya que la mayoría está interconectado y funciona a la vez, como en el caso de los motores y los variadores de velocidad que se utilizan en la mayoría de sistemas y aplicaciones.

Para solucionar los problemas de los motores eléctricos, variadores de velocidad y sistemas eléctricos, las pruebas que se realizan vienen determinadas por la información necesaria para conocer las condiciones de funcionamiento y/o los problemas. Los instrumentos de medida necesarios se seleccionan según las pruebas que se realicen y la documentación requerida.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Cuando se comprueban sistemas y componentes eléctricos, se utiliza instrumentos de medida eléctricos, algunos están diseñados para un determinado fin mientras que otros pueden usarse en diferentes tareas. Cada instrumento de medida eléctrico tiene sus ventajas y desventajas que determinan su utilidad en cada situación. Entre las ventajas y desventajas se incluyen factores como coste, número y tipos de mediciones individuales disponibles en el medidor, facilidad de comprensión de las funciones y uso, capacidad de registro y documentación de las mediciones, clasificación CAT y precisión de las medidas. Para la mayoría de las tareas de solución de problemas, cuanto más complejo sea el problema, más complejos son los requisitos del instrumento de medida. Los instrumentos

de medida más comunes son los multímetros digitales (DMM), analizadores de calidad eléctrica, osciloscopios portátiles, comprobadores de aislamiento y los instrumentos de medida sin contacto, como los termómetros digitales o las cámaras termográficas.

Multímetros digitales de uso general

Un *multímetro digital (DMM)* es un instrumento de medida eléctrico que mide dos o más propiedades eléctricas y muestra las propiedades medidas como valores numéricos. A veces se denomina "comprobador" y se utiliza generalmente para mediciones básicas de tensión, resistencia y corriente en dispositivos básicos (fusibles, conmutadores, etc.) o para mediciones destinadas a solucionar problemas básicos (tensión o corriente al motor, etc.). La mayoría también permite medir la resistencia y comprobar la continuidad.

Estos multímetros se pueden utilizar para mediciones básicas de tensión, resistencia y corriente en los circuitos de control del motor que utilizan motores de arranque magnéticos. Sin embargo, es posible que las mediciones no sean precisas si se realizan en la salida de un variador de velocidad al motor porque la frecuencia de la portadora del variador (de 2 kHz a 16 kHz aproximadamente) interfiere con la lectura del multímetro. Se trata de la frecuencia de la portadora/modulación del ancho de pulso (PMW) que produce la frecuencia fundamental (de 0 a 60 Hz) que utiliza el motor para producir la rotación. Sin los filtros de paso bajo diseñados para este fin en el multímetro, la lectura sale distorsionada porque intenta leer el ancho de banda completo de la señal de la portadora y de la fundamental.

SUGERENCIA TÉCNICA

Aunque los multímetros digitales de uso general tienen un funcionamiento correcto en la mayoría de las aplicaciones, es recomendable el uso de un multímetro avanzado con varios dispositivos conectados a la hora de solucionar los problemas.

Los multímetros digitales de uso general se utilizan para medir la tensión en la fuente (desconexión, panel de circuito, receptáculos, etc.) y para comprobar los fusibles. Se pueden utilizar para medir la tensión entre fases, como fase a neutro y fase a tierra. Cuando realice mediciones entre fases, verifique que la tensión y la corriente están equilibradas. Un desequilibrio de la tensión de más del 2% o de la corriente del 12% indica un problema de alimentación y se debe realizar mediciones adicionales de prueba del sistema. **Consulte la figura 3-1.**

Multímetros digitales estándar

Un multímetro digital estándar incluye las funciones de medición básicas incluidas en el de uso general además de funciones adicionales para la toma de mediciones y solución de problemas en la mayoría de circuitos y componentes. A menudo permite comprobar los diodos y condensadores directamente y se puede utilizar también con otros dispositivos complementarios que miden la temperatura, corriente y presión.

Consulte la figura 3-2.

Normalmente, incluye posiciones adicionales del conmutador de selección para tomar mediciones como corriente y tensión de baja impedancia. También puede incluir botones de funciones adicionales para el registro o la comparación de mediciones como MIN/MAX (mínimo y máximo), REL (relativo) y PEAK o HOLD para congelar una medición. Dispone de un gráfico de barras que se puede utilizar para visualizar las señales de cambio rápido además de valores numéricos.

Multímetros digitales avanzados

Un multímetro digital avanzado incluye las funciones de medición de los multímetros de uso general y estándar además de otras. Normalmente tiene una pantalla de cinco dígitos y/o una mayor capacidad de cálculo para obtener mediciones más precisas, puede capturar y almacenar mediciones para su posterior consulta, se puede conectar a un PC para descargar las mediciones y/o incluir una función de tendencias que permite mostrar las mediciones que se realizan en el tiempo como una única línea en un gráfico.

Multímetros digitales de uso general – Medición de desequilibrio de tensión

MEDIR TENSIÓN DE ENTRADA 1

DESCONECTAR

MULTÍMETRO DIGITAL

MEDICIÓN EN OHMIOS (Ω , $k\Omega$, $M\Omega$) Y ZUMBADOR DE CONTINUIDAD

MEDICIÓN DE CORRIENTE CA

MEDICIÓN DE TENSIÓN CA/CC

A CIRCUITO DE MOTOR

L1 L2 L3

BOBINAS MUY ENNEGRECIDAS DEBIDO A DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN

Electrical Apparatus Service Association, Inc.

2 SUMAR TENSIONES

442
474
456
1372

3 CALCULAR LA MEDIA DE LAS TENSIONES

$$V_a = \frac{V}{3}$$

$$V_a = \frac{1372}{3}$$

$$V_a = 457 \text{ V}$$

4 CALCULAR LA MAYOR DESVIACIÓN DE TENSIÓN

$$V_d = V - V_a$$

$$V_d = 474 - 457$$

$$V_d = 17 \text{ V}$$

5 CALCULAR EL DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN

$$V_u = \frac{V_d}{V_a} \times 100$$

$$V_u = \frac{17}{457} \times 100$$

$$V_u = 0,0372 \times 100$$

$$V_u = 3,72\%$$

Figura 3-1. Se puede utilizar un multímetro digital de uso general para las mediciones básicas como la tensión en un conmutador desconectado.

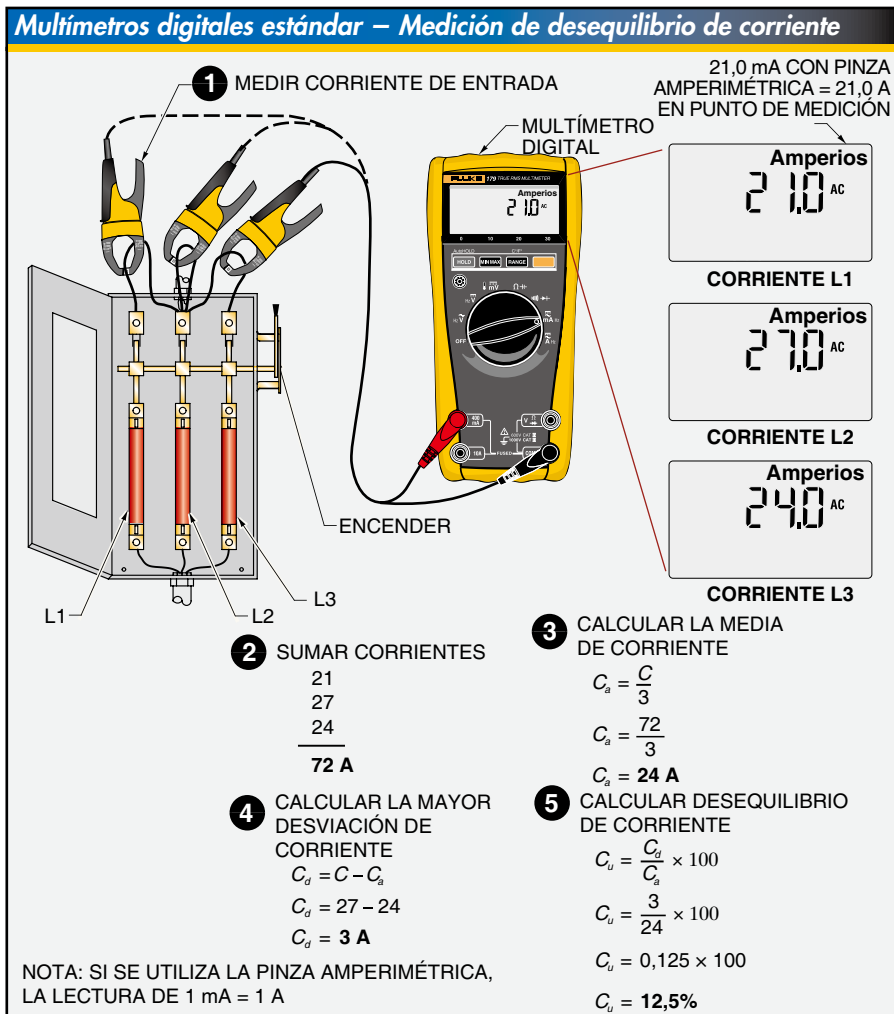


Figura 3-2. Un multímetro digital estándar incluye diferentes funciones de medición y se puede utilizar con otros dispositivos complementarios.

Entre algunas de las funciones más importantes de estos multímetros a la hora de solucionar los problemas de variadores de velocidad y motores se incluye un valor diseñado específicamente para la toma de mediciones de tensión/frecuencia que no permite la interferencia de la frecuencia de la portadora en la medición y un modo de medición de captura de picos para los

valores de pico de la tensión y la corriente. El modo de captura de picos se puede utilizar para determinar si la forma de onda de la tensión o de la corriente se distorsiona mediante la comparación de la lectura con el valor rms. También se puede utilizar para capturar tensiones o corrientes transitorias individuales. **Consulte la figura 3-3.**

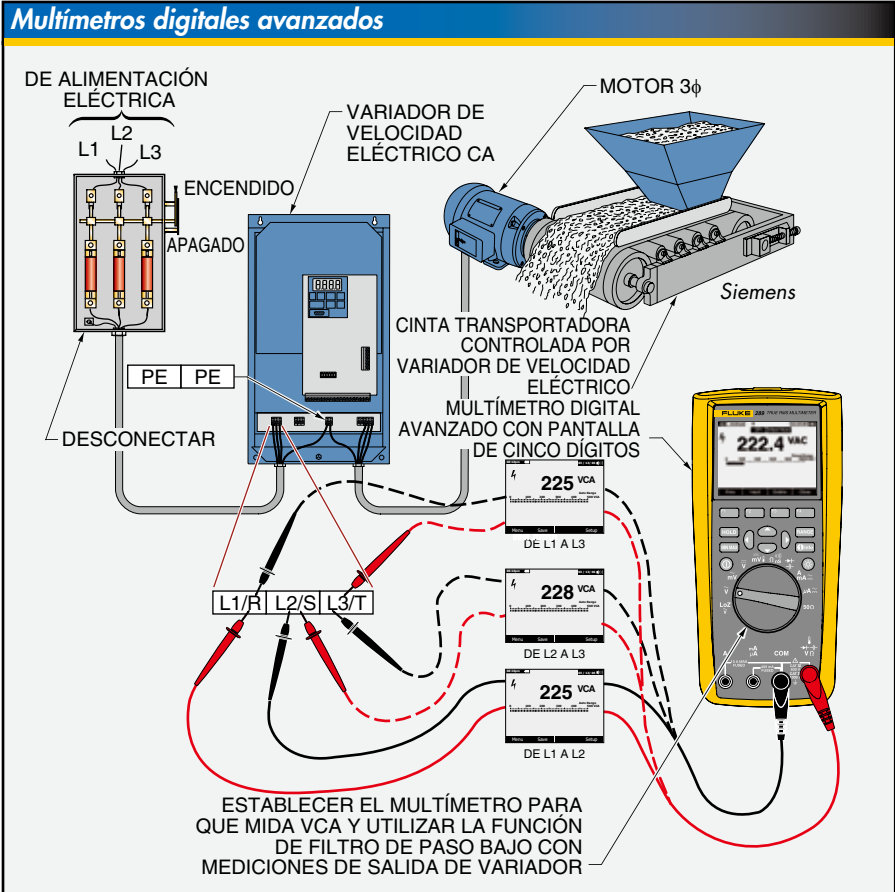


Figura 3-3. Un multímetro digital avanzado incluye una función especial para realizar mediciones cuando un variador controla el motor de forma que no existe interferencias con la frecuencia de la portadora del variador.

Analizadores de calidad eléctrica

Un *analizador de calidad eléctrica* es un instrumento que mide, muestra y registra la tensión, corriente y potencia además de los problemas especiales relacionados con la alimentación como caídas, subidas, transitorios y armónicos. La ventaja de estos analizadores radica en que pueden medir, mostrar y registrar las mediciones como la

tensión y la corriente para poder observar cualquier distorsión con el fin de entender mejor los problemas. Están disponibles en modelos monofásicos y trifásicos: los monofásicos se pueden utilizar para probar circuitos trifásicos mediante la conexión de los cables de prueba del analizador a las distintas fases del circuito.

Consulte la figura 3-4.

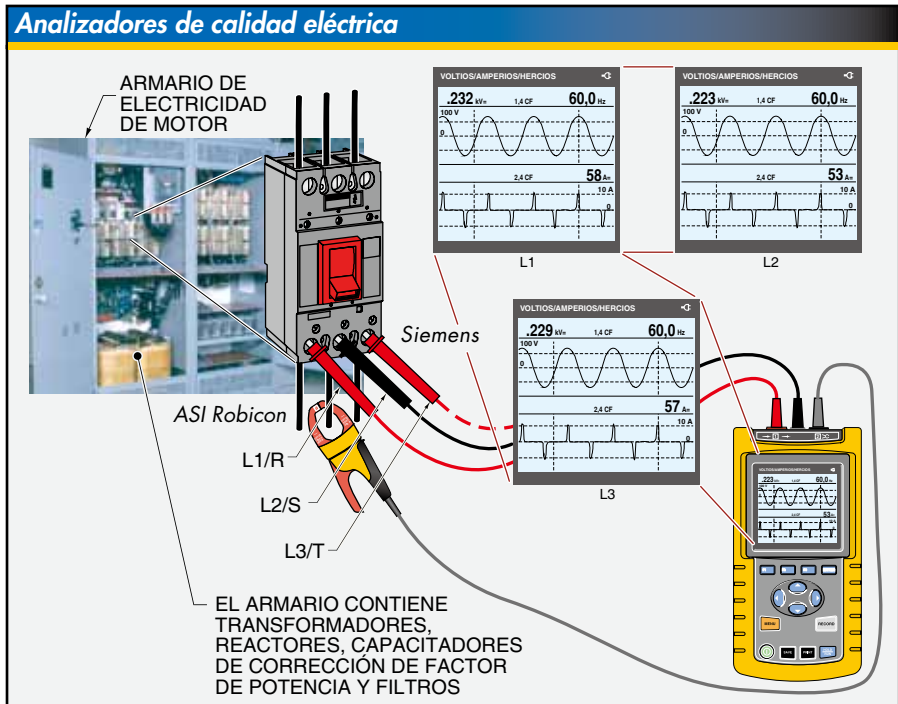


Figura 3-4. Un analizador de calidad eléctrica muestra datos numéricos y en forma de onda que ayudan a determinar los problemas de calidad eléctrica.

Osciloscopios portátiles

Un osciloscopio portátil es un instrumento que mide y muestra las formas de onda de alta tensión, baja tensión y las señales digitales. Los osciloscopios proporcionan la medición más exacta y muestran las formas de onda eléctricas y electrónicas de cualquier tipo de instrumento de prueba. Su ventaja frente a los osciloscopios de banco reside en que son portátiles, de mano, funcionan con baterías y tienen la clasificación CAT para la realización de mediciones en entornos comerciales e industriales. Son perfectos para la comprobación y solución de problemas de motores y variadores de velocidad cuando se realizan tareas de instalación y mantenimiento preventivo. Además de

identificar los mismos problemas que los multímetros digitales y los analizadores de calidad eléctrica, se utilizan para tareas de solución de problemas más complejas como el análisis de diagnóstico de circuitos y componentes, lo que puede prevenir los problemas antes de que ocurran.

Los osciloscopios portátiles son en realidad dos multímetros en uno, además del modo osciloscópico, disponen de un modo multímetro que realiza las mismas funciones que los multímetros digitales. Este dispositivo mide y muestra valores numéricos en ohmios, la tensión y la corriente, comprueba los diodos, comprueba la continuidad y acepta dispositivos complementarios que miden la temperatura y la presión. **Consulte la figura 3-5.**



Figura 3-5. Los osciloscopios portátiles son una combinación de un multímetro que toma y muestra lecturas de multímetro digital y un osciloscopio que muestra, registra y captura las mediciones de los datos en forma de onda que se pueden descargar en el PC.

Una ventaja de los osciloscopios portátiles es que muestran los valores numéricos junto con mediciones de onda senoidal como tensión, corriente y potencia en el tiempo. Otra ventaja es que las variaciones, los picos y otra información de forma de onda que no está visible en un multímetro se muestra en el osciloscopio portátil.

Para la mayoría de las mediciones, el eje vertical (y) representa el valor medido y el eje horizontal (x) representa el tiempo. La ventaja de la visualización de la información en forma de onda es que los técnicos pueden localizar los problemas y verificar que las modificaciones de mejora del circuito realizadas anteriormente han sido correctas. Otra ventaja es que estos osciloscopios pueden realizar mediciones incluyendo la fecha y hora, por ejemplo

la captura y registro de un pico de alta tensión, para poder localizar el problema en el momento exacto en que se produjo.

También cuentan con un ancho de banda de medición y una velocidad de muestreo considerablemente superiores a los analizadores de calidad eléctrica, que resultan perfectos para la localización de problemas eléctricos, electrónicos y digitales en circuitos complejos. El *ancho de banda* es el rango de frecuencias que puede medir con precisión un osciloscopio portátil o un multímetro. El *muestreo* es el proceso de conversión de una parte de la señal de entrada en una serie de valores eléctricos discretos con el fin de almacenamiento, procesamiento y visualización. Cuanto más alta es la velocidad de muestreo, más preciso es el trazado de la señal en la prueba.

Los osciloscopios portátiles son perfectos para la solución de problemas en variadores de velocidad y potencia porque un osciloscopio portátil de trazado doble puede medir y mostrar dos señales a la vez. Los trazados individuales o las mediciones osciloscópicas pueden incluir tensiones y corrientes CA, CC y CA+CC, tensión y corriente de pico, potencia (PF, W, VA y VAR), frecuencia, PWM y otras funciones de medición especializadas.

Consulte la figura 3-6.

Los osciloscopios portátiles de varios canales son perfectos para la solución de

problemas de variadores de velocidad y calidad de la electricidad porque pueden medir y mostrar hasta cuatro trazados de señal a la vez. Un osciloscopio portátil de cuatro canales puede comparar y contrastar varios canales de corriente y tensión y verificar la integridad de las formas de onda mediante la identificación de reflexiones y transitorios. Un problema en una fase indica que el problema se debe a un conductor, por ejemplo, una conexión defectuosa pero si el problema está presente en todas las fases, el problema está en todo el cable.

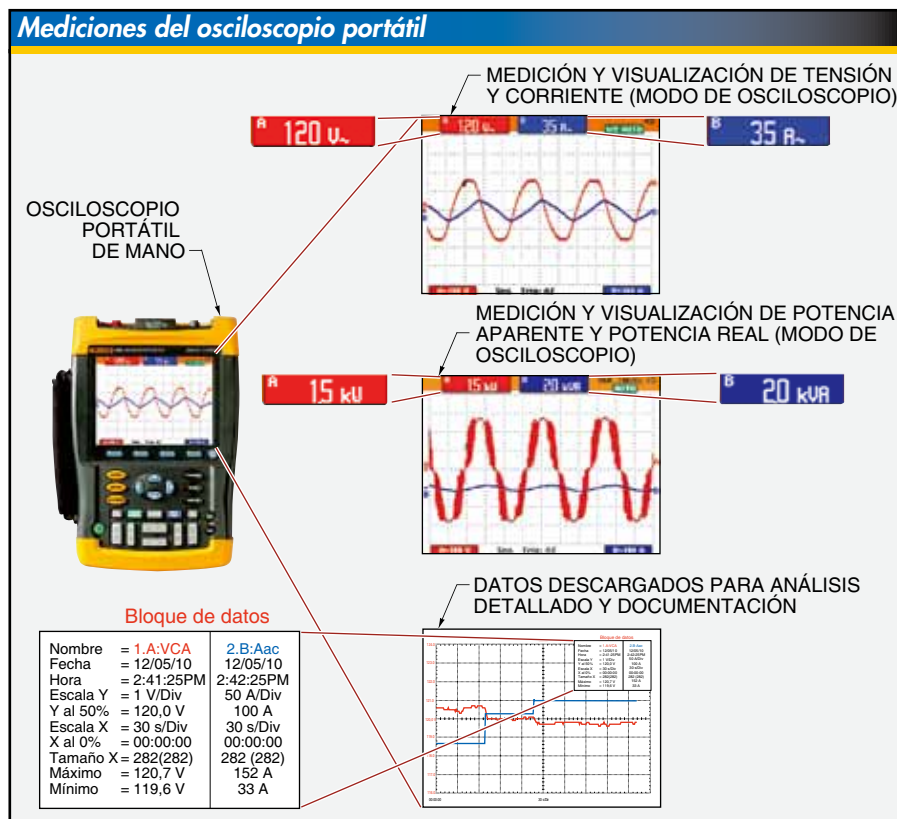


Figura 3-6. Los osciloscopios portátiles miden y muestran dos señales a la vez. Los osciloscopios portátiles de varios canales miden y muestran hasta cuatro señales a la vez.

Comprobadores de aislamiento

Normalmente, los conductores eléctricos y los bobinados del motor están cubiertos con un tipo de material de aislamiento plastificado que evita que la corriente fluya fuera de la ruta de flujo establecida mediante el conductor. Con el tiempo, el aislamiento se deteriora y disminuyen las propiedades de resistencia del aislamiento. La humedad, las temperaturas extremas, el polvo, la suciedad, el aceite, la vibración, la contaminación y el daño o esfuerzo mecánico causan su deterioro. Los bobinados del motor eléctrico están sometidos a las principales causas de deterioro del aislamiento.

Aunque los multímetros digitales pueden medir la resistencia, no pueden indicar con precisión la condición de funcionamiento del aislamiento porque aplican baja tensión desde la batería para tomar la medición. Para conseguir una

medición precisa de las propiedades de resistencia del aislamiento, se utiliza un comprobador de aislamiento porque puede medir la resistencia al nivel de tensión al que está diseñado el funcionamiento del motor, dispositivo o componente.

Un *comprobador de resistencia de aislamiento* es un instrumento de medida que tiene funciones especiales para la comprobación de la resistencia del aislamiento. Normalmente funciona en un rango de 0,1 M Ω a 600 M Ω . Realiza mediciones de tensión, corriente, resistencia y continuidad de 50 V a 1000 V y lee las resistencias de unos ohmios a 2 G Ω o más. Los comprobadores de aislamiento se utilizan para pruebas de mantenimiento preventivo porque pueden proporcionar información sobre el aislamiento en el tiempo e indicar una posible avería antes de que se produzca. **Consulte la figura 3-7.**

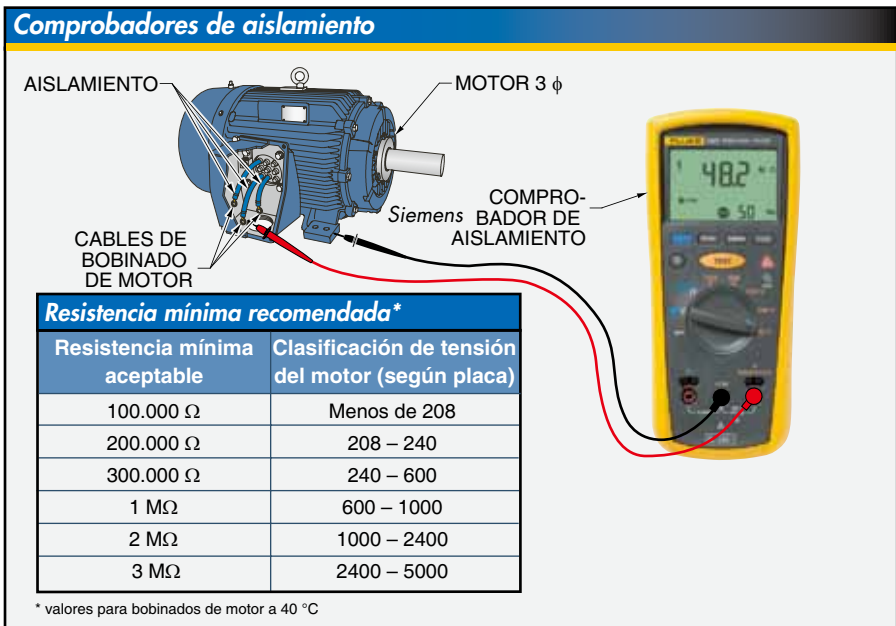


Figura 3-7. Un comprobador de aislamiento puede medir la resistencia al nivel de tensión al que está diseñado el funcionamiento del motor o componente.

SUGERENCIA TÉCNICA

Aunque los instrumentos sin contacto no entran en contacto con el área en la que se realiza la prueba, se debe llevar el PPE adecuado para la zona cuando se realice la medición.

Instrumentos de medida sin contacto

Un **termómetro digital** es un dispositivo que se utiliza para mediciones de temperatura en circuitos con energía o en piezas en movimiento sin entrar en contacto con el punto de la medición y proporciona las lecturas en una pantalla digital. Los termómetros digitales sin contacto se utilizan para mediciones básicas de la temperatura de la superficie de áreas pequeñas en un momento determinado sin entrar en contacto con el punto de la medición. Se pueden utilizar para determinar los problemas causados por altas temperaturas. **Consulte la figura 3-8.**

Una **cámara termográfica** es un dispositivo que detecta los patrones térmicos en el espectro de infrarrojos de la longitud de onda sin entrar en contacto directo con la pieza. Todos los materiales emiten una energía infrarroja proporcional a su temperatura. Estas cámaras se utilizan para localizar los problemas eléctricos que causan calor, como conexiones eléctricas defectuosas, conductores sin capacidad suficiente, dispositivos sobrecargados, mala ventilación y excesiva humedad.

Los dispositivos eléctricos y electrónicos no se deben exponer a temperaturas superiores a su temperatura nominal ya que las temperaturas altas pueden destruir el aislamiento eléctrico, los dispositivos y los componentes, y no siempre se consideran la causa del problema. Si el calor causa el daño, el equipo deja de funcionar y la fuente del calor deja de estar presente.



Figura 3-8. Entre los instrumentos de medida que se pueden utilizar para comprobar los componentes y circuitos eléctricos sin entrar en contacto físico se incluyen los termómetros digitales y las cámaras termográficas.

ESTRATEGIAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Para localizar y corregir una avería o problema con rapidez, la solución de problemas se aplica a diferentes niveles con distintos instrumentos de medida. Los diferentes niveles son el sistema, equipo/unidad, placa/módulo y componente. **Consulte la figura 3-9.** El nivel de solución de problemas determina el PPE necesario, la clasificación CAT del instrumento de medida, el tipo de instrumento que se debe utilizar, los problemas que se prevén y la documentación necesaria.

La mayoría de las tareas de solución de problemas se inician a nivel de equipo o unidad donde se nota el problema, a continuación, se pasa a los niveles de placa/módulo y componente donde se localizan la mayoría de los problemas. Sin embargo, una estrategia de solución de problemas estándar consiste en volver a comprobar todos los niveles hasta el nivel de sistema para identificar cualquier problema secundario que pudiera haber presente en el sistema.

Procedimientos de solución de problemas

Un *procedimiento de solución de problemas* es un proceso paso a paso lógico que se utiliza para identificar una avería o un problema en un sistema o proceso de la forma más rápida y sencilla posible. Mediante los instrumentos de medida adecuados puede localizar y documentar el problema principal con mayor rapidez y resulta más sencilla la identificación de cualquier problema secundario. Para solucionar los problemas del sistema, equipo o componente aplique el siguiente procedimiento:

1. Obtenga información recopilando los registros técnicos del fabricante

del equipo original (OEM), de proveedores, contratistas, operarios y departamentos de mantenimiento.

2. Seleccione el PPE necesario para el entorno de trabajo previsto y los instrumentos de medida para las mediciones que prevé tomar.
3. Aísle el área o sección principal del sistema o equipo que causa la avería basándose en su experiencia previa y en la información obtenida en el paso 1.
4. Compruebe la avería tomando lecturas del componente que puede causar el problema o del área en la que parece localizarse el problema. Realice varias mediciones para verificar el funcionamiento correcto o la existencia del problema.
5. Una vez localizado el problema, repare la avería y verifique que el equipo o componente funciona correctamente antes de continuar con el siguiente paso. *Nota:* la reparación puede incluir el servicio técnico inmediato, la sustitución de piezas o el cumplimiento de la garantía del OEM o contratista.
6. Después de reparar la avería, realice mediciones adicionales para localizar posibles problemas secundarios.
7. Documente el problema original, las pruebas realizadas y la acción correctiva aplicada. Haga una lista de los problemas secundarios que pudieran existir y de las posibles sugerencias para la acción correctiva.
8. Prepare las futuras tareas de solución de problemas volviendo a comprobar y arreglar el PPE y los instrumentos de medida. Realice un inventario de las herramientas y anote las herramientas, instrumentos de medida o formación adicionales que pudieran haber facilitado la tarea de solución de problemas.

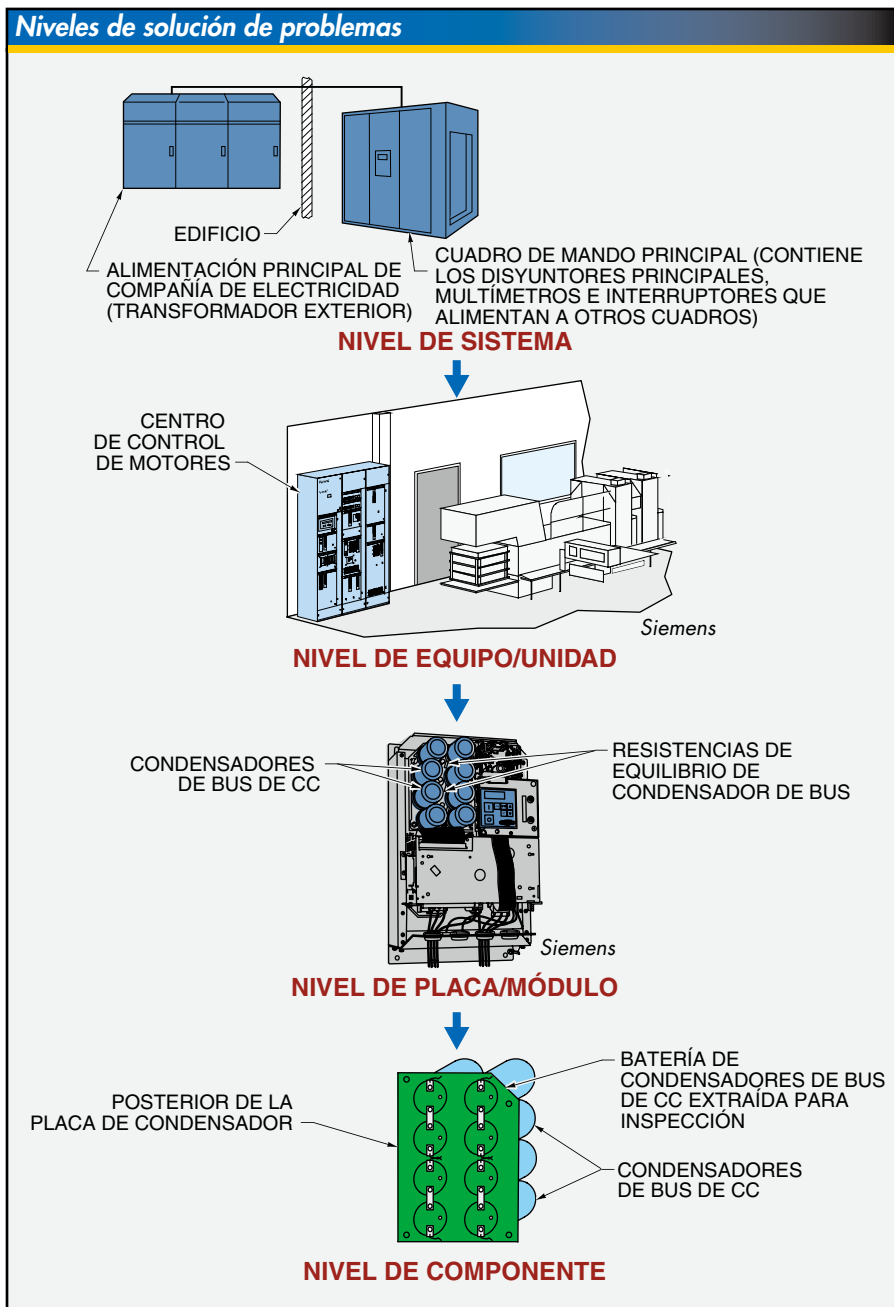


Figura 3-9. Los diferentes niveles de solución de problemas de los sistemas eléctricos son el sistema, equipo/unidad, placa/módulo y componente.

PRUEBAS ELÉCTRICAS

A la hora de realizar mediciones eléctricas que le ayuden a determinar el funcionamiento de un sistema y a localizar los problemas, se debe determinar las pruebas en cuestión y su ubicación. La comprobación o solución de problemas en equipos o sistemas eléctricos empieza con pruebas básicas y continúa con pruebas avanzadas y pruebas de diagnóstico, según sean necesarias.



Los osciloscopios portátiles se pueden utilizar para pruebas eléctricas básicas así como para otras más avanzadas.

Pruebas básicas

Las pruebas eléctricas básicas empiezan con la medición en puntos lógicos y de fácil acceso y son las pruebas de tensión y corriente. Al realizar las pruebas básicas, observe con detenimiento el equipo y el área que lo rodea. El agua, la humedad, la suciedad, el polvo y la presencia de animales pueden causar fusibles quemados, el disparo de los disyuntores, componentes o aislamiento quemados, insuficiente flujo de aire en los componentes eléctricos, cortocircuitos, malfuncionamiento,

temperaturas de funcionamiento superiores a las normales o mayor coste energético.

SUGERENCIA TÉCNICA

No hay corriente en ninguna parte del circuito si se funde un fusible o se abre un disyuntor. Si no hay alimentación en el circuito, compruebe primero los fusibles e interruptores.

Pruebas de tensión. Los sistemas y componentes eléctricos necesitan una fuente de alimentación con la tensión adecuada de los componentes en el sistema. La comprobación y solución de problemas empieza con la medición de la tensión principal suministrada al equipo. La tensión se debe medir con el equipo desconectado y conectado. **Consulte la figura 3-10.**

La tensión suministrada al equipo o sistema debe estar en el rango de -10% a $+5\%$ de la clasificación especificada en la placa de características del equipo cuando la medición se realiza con el equipo desconectado, a menos que lo especifique el OEM. La tensión de funcionamiento con el equipo conectado no debe cambiar en más del $\pm 3\%$ (MAX) de la tensión medida con el equipo desconectado.

En un sistema de distribución de alimentación eléctrica con el tamaño correcto, la tensión medida con el equipo desconectado y conectado debe ser la misma. Cuanto mayor sea la caída de tensión con el equipo desconectado y conectado, más posibilidades existirán de que el sistema de distribución de alimentación eléctrica esté sobrecargado o de que los conductores que suministran la alimentación sean demasiado grandes o pequeños. Si se producen caídas de tensión mayores es necesario comprobar el sistema en busca de problemas de alimentación.

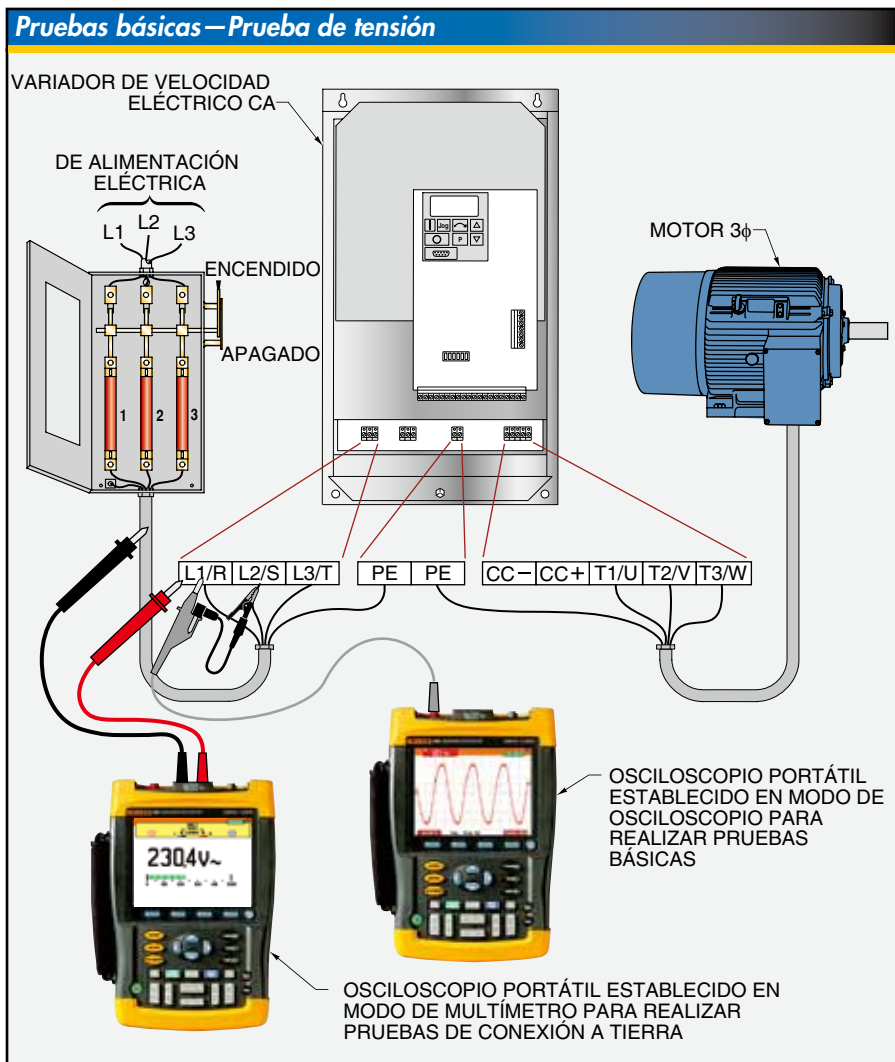


Figura 3-10. Entre las pruebas eléctricas básicas se incluyen las pruebas de tensión y empiezan con la medición de la tensión principal suministrada al equipo.

A la hora de realizar pruebas básicas de tensión, verifique que las mediciones de tensión se realizan en cada conductor de fase a caliente, fase a neutro (conductor sin conexión a tierra) y fase a tierra (conductor con conexión a tierra).

Las mediciones de tensión fase a fase no se deben desviar más del 1% al 3%. Se debe realizar mediciones del voltaje entre las distintas piezas metálicas descubiertas y la toma a tierra para garantizar que ésta es correcta.

Si se incluye un conductor neutro en el sistema, las mediciones fase a neutro verifican que está presente el conductor neutro para alimentación monofásica e indican el tipo de sistema de distribución. Por ejemplo, una medición fase a fase de 208 V y una medición fase a neutro de 120 V indica un sistema en estrella de 120/208 V, 3 ϕ , de 4 hilos. Una medición fase a fase de 230/240 V y una medición fase a neutro de 115/120 V entre la fase A o C y una medición de 175/190 V entre la fase B y el conductor neutro indica un sistema en triángulo de 120/240 V, 3 ϕ , de 4 hilos.

Si realiza mediciones de tensión con fusibles presentes, verifique el correcto funcionamiento de los fusibles. Mida la tensión hacia el fusible (entrada de potencia) y desde el fusible (salida de potencia) colocando el mismo cable de prueba del multímetro en la entrada y salida del fusible. Si la tensión hacia el fusible es la misma que dese el fusible y la tensión que cruza el fusible es de 0 V, el fusible está en buenas condiciones (cerrado), sin embargo, si no hay tensión de salida del fusible, el fusible está en malas condiciones (abierto).

La misma prueba básica de medición de tensión que se realiza en la tensión principal del equipo también se realiza en las cargas individuales (motores, etc.) del equipo. Por ejemplo, la tensión suministrada a un motor debe estar entre -10% y +5% de la clasificación especificada en la placa de características del motor cuando la medición se realiza con el equipo conectado.

Pruebas de corriente. Las mediciones básicas de tensión son más adecuadas para comprobar si hay tensión al nivel correcto. Sin embargo, las mediciones de tensión no indican la cantidad de trabajo que realmente produce la carga. Por ejemplo, un motor

nuevo, que no funciona, con media potencia o con potencia completa o más puede tener la misma medición de tensión en el motor que la carga.

Para obtener datos más precisos de la carga de un motor, se debe realizar una medición de la corriente. La corriente nominal que aparece en la placa de características del motor es el amperaje al que debería funcionar el motor o equipo a potencia completa. La mayoría de motores consume menos corriente que la indicada en la placa. **Consulte la figura 3-11.**

La medición de la corriente se debería realizar en el tiempo ya que, a diferencia de la tensión que siempre es la misma, la corriente cambia al modificarse la carga y la potencia necesarias. En sistemas trifásicos, las lecturas de la corriente son también un mejor indicador de una pérdida de fase que la medición de la tensión.

Pruebas avanzadas

Las mediciones básicas de tensión y corriente pueden determinar ciertos problemas como fusibles abiertos, pérdida de potencia, motores sobrecargados (lecturas de corriente superiores a los especificado en la placa de características) y circuito a tierra abierto o sin toma de tierra. Para los problemas más complejos, así como para entender mejor el funcionamiento del motor o sistema en el tiempo, se debe realizar pruebas avanzadas.

Con multímetros digitales u osciloscopios portátiles las mediciones se realizan en valores mínimos, máximos, relativos, pico y temperatura. Con un analizador de calidad eléctrica o un osciloscopio portátil se toma mediciones de potencia y se comprueba si existen problemas con cualquier distorsión de la forma de onda.

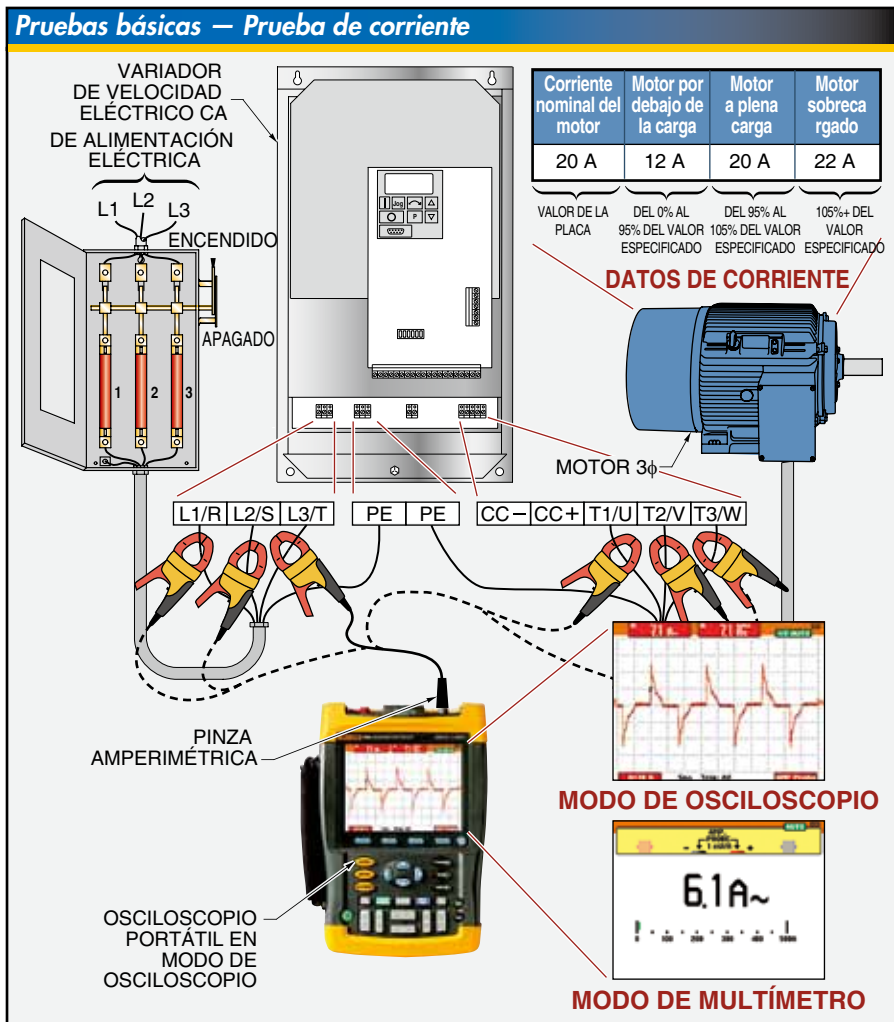


Figura 3-11. Para obtener datos más precisos de la carga de un motor, se debe realizar una medición de la corriente.

El osciloscopio portátil es una de las mejores herramientas que se puede utilizar para mediciones avanzadas gracias a sus funciones de prueba avanzadas. Por ejemplo, cuando una prueba avanzada indique un posible problema, como altas tensiones transitorias en un motor o una distorsión de la forma de onda, se puede utilizar un osciloscopio portátil para aislar

el problema. El osciloscopio portátil puede determinar si las altas tensiones transitorias están causadas por cables de conexión demasiado largos entre el variador de velocidad y el motor o si la frecuencia de la portadora del variador de velocidad no se ha establecido correctamente para la aplicación. **Consulte la figura 3-12.**

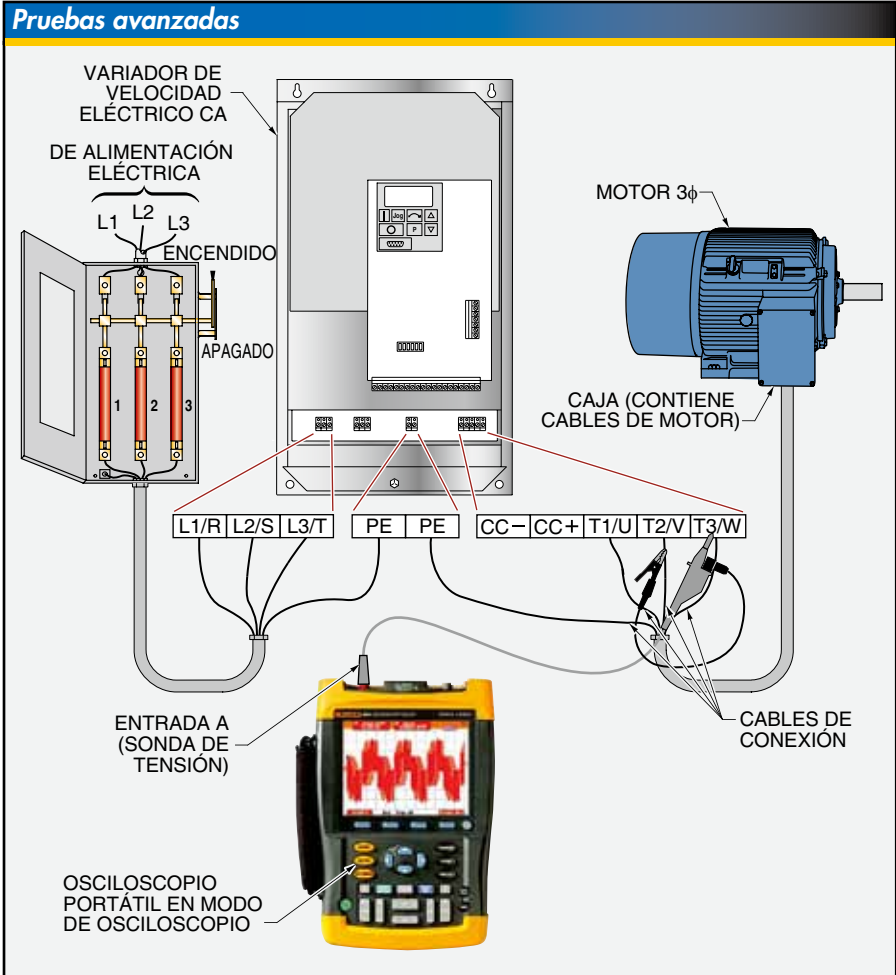


Figura 3-12. Se puede utilizar un osciloscopio portátil para analizar problemas tales como los picos de alta tensión entre los cables del variador de velocidad y del motor.

Pruebas de diagnóstico

Las mediciones de las pruebas básicas y avanzadas pueden determinar los problemas más comunes y servir de indicación de problemas más graves y difíciles de localizar que pueden dañar el equipo con el tiempo, como un suministro eléctrico deficiente. Para el diagnóstico y la documentación de sistemas y equipos, por ejemplo para la localización de problemas de calidad de la potencia, se debe realizar y revisar con

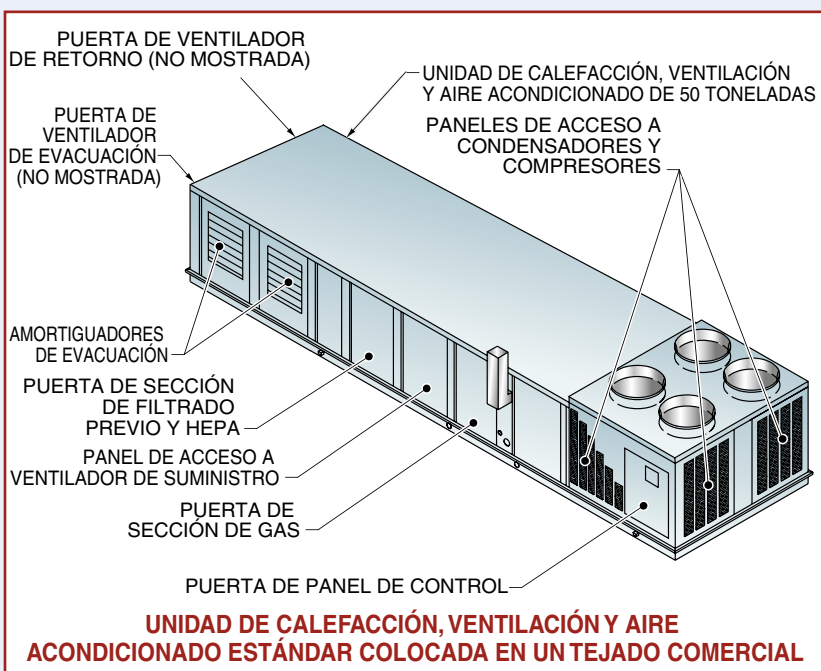
detenimiento las mediciones avanzadas. Aunque los multímetros digitales y los analizadores de calidad eléctrica avanzados pueden ayudar a realizar algunas pruebas de diagnóstico así como a identificar la mayoría de los problemas, el osciloscopio portátil es el mejor instrumento para las pruebas de diagnóstico y documentación gracias a sus funciones avanzadas, su alta velocidad de muestreo y su forma de onda.

CASO PRÁCTICO: llamada al servicio de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado

Equipo a reparar: se recibió una llamada relacionada con una unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado estándar colocada en un tejado comercial que controla una de las diferentes zonas del edificio.

Problema: la unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado presentaba anomalías según las observaciones de los ocupantes del edificio que indicaban que la temperatura no era la correcta.

Informes de servicio y reparación anteriores: antes de reparar la unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado, el personal de mantenimiento revisó los informes de servicio y reparación anteriores, en ellos se indicaba que el funcionamiento de la unidad había sido el correcto durante años después de su instalación, pero que tres meses antes había presentado una avería en el motor del ventilador. Éste se había sustituido y la unidad había vuelto a su funcionamiento normal.



Procedimiento de solución de problemas aplicado

1. Se inspeccionó los disyuntores del panel de servicio que alimenta a la unidad antes de acceder al tejado para comprobar la unidad. Los disyuntores no se dispararon.
2. Se abrió el interruptor de desconexión principal situado en la parte exterior de la unidad para poder inspeccionar la fuente de alimentación y los fusibles. La medición de la tensión tomada con un multímetro digital estándar indicó que la tensión de la alimentación principal estaba dentro del rango de funcionamiento de la unidad y los fusibles estaban en buen estado. Se desconectó y bloqueó la alimentación para poder abrir la unidad e inspeccionarla visualmente sin electricidad. Esta inspección visual no indicó ningún problema.
3. Se restauró la alimentación a la unidad para realizar mediciones adicionales.
 - La pantalla del variador de velocidad (VFD) estaba encendida y no indicaba ningún código de avería, que podría haber sido uno de los siguientes: caída de tensión, sobretensión, sobrecarga del motor, fallo de toma a tierra, exceso de temperatura en VFD, etc.).
 - La pantalla del VFD indicaba que el motor del ventilador debería estar encendido, pero no lo estaba, lo que indica que el principal problema es que sin el motor del ventilador encendido, la unidad se desconecta para evitar problemas adicionales de sobrecalentamiento.
 - Se desconectó la alimentación a la unidad.
4. Se inspeccionó visualmente el motor del ventilador y no se observó ninguna señal de sobrecalentamiento, desgaste o daño. Se descubrieron los conectores del motor para realizar mediciones de tensión en el motor.
 - Se restauró la alimentación a la unidad y se midió la tensión en el motor del ventilador.



- La tensión del motor del ventilador estaba dentro del rango que indica su placa de características pero seguía sin funcionar, lo que resultaba inusual ya que se había sustituido tres meses antes.
- Se desconectó la alimentación a la unidad para poder cambiar el motor del ventilador.

5. Se anotó la información de la placa de características del motor averiado para poder comprar otro. Al revisar el informe de servicio y reparación anteriores, se observó que se había pedido un motor diferente al del fabricante para ahorrar tiempo. Se solicitó un motor de sustitución con el mismo tamaño de trama, clasificación de caballos de potencia y de tensión.
6. Se instaló el nuevo motor del ventilador y se conectó la alimentación. La unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado funcionó sin problemas.
7. Se corrigió el problema y se rellenó el informe de servicio y reparación, dando por finalizada la tarea de mantenimiento asignada. El hecho de que el motor de sustitución solo funcionara tres meses antes de averiarse se podría deber a que los componentes fallaron antes de tiempo por un defecto de fábrica, por daños durante la instalación o errores de diseño. Sin embargo, es importante localizar los problemas del sistema para que el funcionamiento sea el correcto así como corregir cualquier problema secundario una vez el componente vuelve a funcionar.

Las pruebas que se pueden realizar son las siguientes:

- Medir la tensión en la fuente de alimentación principal y en el motor para determinar si existe alguna caída de tensión causada por conexiones sueltas o conductores sin capacidad suficiente.
- Medir el consumo de corriente del motor y de todo el equipo para comparar las lecturas con la clasificación de la placa de características que indica que el componente funciona al 100%. Si la corriente es superior a la de la placa, puede haber una sobrecarga en el componente. Si el consumo de corriente es superior puede ser una señal de que los filtros o las bobinas están sucios, una carga insuficiente del refrigerante, correas demasiado tensas o alineación incorrecta.
- Medir la tensión y la corriente en el tiempo para determinar el funcionamiento del componente durante cada ciclo o condición. Utilice la función de grabación MIN/MAX para que el multímetro registre al menos un ciclo de funcionamiento completo.

CONSUMO DE
CORRIENTE
DEL MOTOR



Si las pruebas y mediciones adicionales indican un funcionamiento incorrecto, se debe realizar mediciones y pruebas de investigación y diagnóstico adicionales. Entre las pruebas de investigación se incluyen la comparación de las especificaciones de los repuestos con las de las piezas originales y la verificación con el fabricante del equipo original de que no hay ningún punto débil en el sistema. Se debe buscar problemas visibles, como que la unidad de calefacción, ventilación y aire acondicionado no tiene las dimensiones adecuadas, la ubicación incorrecta de la unidad que limita el flujo de aire (por ejemplo, si han crecido plantas alrededor) y los errores humanos (como personal no cualificado manipulando la unidad).

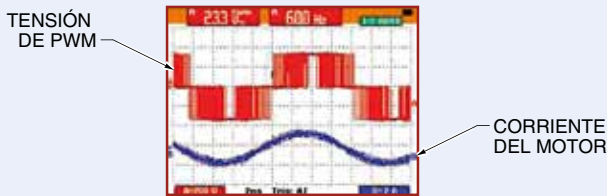
Las pruebas de diagnóstico son el método más avanzado de solución de problemas, pero no significa que deban resultar difíciles o sólo aplicarse a problemas temporales o complejos. La prueba de diagnóstico y la documentación que se genera debe convertirse en una actividad regular en las llamadas de servicio y mantenimiento preventivo ya que resulta el mejor método de evitar posibles problemas y proporciona la información necesaria para aplicar la acción correctiva.

8. Al realizar la prueba de investigación, se detectó que, aunque el motor de sustitución tenía la misma clasificación de caballos de potencia y tensión que el original, la clasificación de aislamiento del motor de sustitución era Clase A (grado bajo) mientras que la del original era Clase H (grado alto). Las diferentes clases de aislamiento pueden ser la causa del problema ya que el VFD hace funcionar el motor y las altas tensiones transitorias hacia el motor destruyen su aislamiento.
9. Antes de atribuir la avería prematura del motor a un aislamiento de grado bajo, se debe realizar la prueba de diagnóstico. Se utiliza un osciloscopio portátil para medir, mostrar y grabar los distintos factores de funcionamiento como la tensión (incluidos los picos), corriente, frecuencia, potencia real y potencia aparente. El osciloscopio portátil muestra el pico de alta tensión en el motor, que con frecuencia está producido porque el cable del conductor es demasiado largo entre el VFD y el motor o por un valor alto de frecuencia de la portadora. Las tensiones transitorias altas que se observan y registran determinan que el problema del motor se debe al aislamiento de la Clase A.
Nota: consulte el capítulo 4 para obtener más información sobre tensiones altas al solucionar los problemas de los variadores de velocidad.

MEDICIONES DE
TENSIÓN DE PICO



SE HA DETERMINADO
QUE LAS ALTAS
TENSIONES
TRANSITORIAS SON LA
CAUSA DEL PROBLEMA



Soluciones de reparación

Según los resultados de las mediciones y pruebas de diagnóstico, se han registrado las siguientes soluciones en el informe de servicio y reparación:

1. Para proteger de forma inmediata el motor ante altas tensiones transitorias, la frecuencia del VFD se reduce de 16 kHz a 5 kHz, con el resultado de tensiones transitorias inferiores en el motor. Las mediciones del osciloscopio portátil en el motor verificaron las tensiones transitorias inferiores.
2. Hay una alta probabilidad de que el motor de sustitución con aislamiento de la Clase A vuelva a averiarse antes de tiempo, ya que no está diseñado para la aplicación. Se debe pedir un motor de sustitución al proveedor del equipo original (o bien un motor con aislamiento de la Clase H).

Recomendaciones de mantenimiento

Según la información proporcionada durante la llamada de servicio, se han documentado las siguientes recomendaciones:

1. Antes de asegurar un componente o motor de sustitución que no es del fabricante del equipo original, verifique que cumple todas las especificaciones.
2. Al realizar las llamadas de servicio, se debe anotar la cantidad de energía eléctrica medida y las capturas en pantalla del osciloscopio portátil y adjuntarlo a un archivo que forme parte de la documentación del equipo para futuras consultas y comparaciones.

Solución de problemas del motor y del variador

Los sistemas y equipos eléctricos se deben diseñar, seleccionar e instalar de forma que realicen el trabajo necesario con seguridad y eficacia. Después de su instalación, se debe realizar un seguimiento de los sistemas y equipos eléctricos para que funcionen de la forma deseada con el menor número de problemas posible. Si no funcionan de forma correcta, es necesario ejecutar los procedimientos de solución de problemas para localizar y corregir el problema.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La *solución de problemas* consiste en la eliminación sistemática de las diferentes partes de un sistema o proceso durante el proceso de localización de la pieza averiada. El *mantenimiento preventivo* es el trabajo programado necesario para mantener el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento. La *eficiencia energética (ecología en la tecnología)* es el proceso de selección, sustitución o modificación de equipos y sistemas para reducir la cantidad de energía utilizada pero manteniendo el mismo nivel de servicio.

Para una eficiencia energética es necesario seleccionar productos seguros para el medio ambiente y lo más sostenibles posibles. La selección de un equipo seguro y sostenible junto con el mantenimiento preventivo regular reducen los problemas relacionados con variadores y motores eléctricos, lo que minimiza la solución de problemas.

La localización y corrección de los problemas relacionados con variadores y motores eléctricos precisa experiencia en el equipo y el sistema, conocimientos de los instrumentos de medida necesarios y acceso

a los procedimientos lógicos. Con cada tarea de solución de problemas que se realiza, se gana la experiencia en el equipo, sistema e instrumentos de medida necesaria para futuras tareas de solución de problemas. La documentación de las tareas de solución de problemas genera un registro que se puede consultar si se produce algún problema similar en el futuro. Los instrumentos de medida, como los osciloscopios portátiles, facilitan la documentación de los problemas y sus soluciones.

Solución de problemas con la experiencia

La solución de problemas basándose en la experiencia es un método que permite la localización de las averías en un sistema o proceso aplicando la información aprendida en los manuales del fabricante del equipo original (OEM), asistiendo a clases y seminarios de formación, experiencias con averías similares y experiencias de las pruebas realizadas en componentes, equipos y sistemas eléctricos. Los conocimientos obtenidos de información y experiencias anteriores se puede aplicar a futuras tareas de solución de problemas.

Solución de problemas con la documentación del fabricante

Los fabricantes de variadores de velocidad y motores suelen incluir diferentes sugerencias de mantenimiento preventivo y solución de problemas, junto con las instrucciones de instalación y otra documentación relacionada, con los productos adquiridos. En la documentación relacionada se incluyen documentos como manuales de instalación, manuales del usuario y manuales de uso.

Normalmente, esta documentación se incluye con el equipo o se puede acceder a ella a través de Internet. La información proporcionada por el fabricante suele incluir las directrices destinadas a reparar los problemas más comunes asociados al equipo, por ejemplo, un manual de solución de problemas de un variador de velocidad del fabricante proporciona la acción correctiva que se aplica cuando se produce un determinado problema. **Consulte la figura 4-1.**

Manuales de solución de problemas de variadores de velocidad OEM

TABLA 9 - SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

INDICACIÓN	CAUSA POSIBLE	ACCIÓN CORRECTIVA
No hay indicación LED	Falta tensión de entrada Conexiones sueltas	Comprobar alimentación de entrada Comprobar terminación de alimentación de entrada Medir tensión en variador para comprobar si el nivel es correcto
El motor no arranca	No hay suficiente par de arranque Motor sobrecargado	Aumentar valor de parámetro de aumento del par Corregir la carga del motor Cambiar tamaño de sistema de motor/inversor
El motor no alcanza la velocidad máxima	El límite máximo de la frecuencia tiene un ajuste demasiado bajo Motor sobrecargado Fallo de potenciómetro de velocidad	Ajuste el valor del parámetro de límite máximo de la frecuencia Comprobar sobrecarga mecánica. Si el eje del motor sin carga no gira libremente, sustituir rodamientos del motor Sustituir potenciómetro

Figura 4-1. Los manuales de solución de problemas de un variador de velocidad del fabricante del equipo original (OEM) proporciona la acción correctiva que se aplica cuando se produce un determinado problema.



Utilice una pinza amperimétrica de la clasificación correcta para medir las cargas del motor.

Como cualquier dispositivo electrónico, los variadores de velocidad pueden generar problemas, ya sea en el mismo variador, en los componentes conectados al variador o en el sistema de distribución de alimentación. Después de instalar el variador de velocidad o antes de realizar los procedimientos de mantenimiento preventivo y solución de problemas, se debe inspeccionar el equipo, sistema y el área de trabajo en busca de cualquier indicación de un posible problema. Entre las acciones que se pueden realizar para comprobar la existencia de problemas se incluyen las siguientes:

- Verificar que el área que rodea el variador está limpia, que están colocadas todas las etiquetas de advertencia y se toman todas las precauciones.
- Verificar que los componentes, dispositivos y conductores están conectados y que el motor y el variador de velocidad tienen la ventilación adecuada.
- Verificar que la clasificación del motor es la adecuada para la aplicación del variador.

- Inspeccionar si existe exceso de humedad, suciedad, corrosión, quemadura, carbonización y cualquier otra condición inusual que pudiera afectar al funcionamiento del equipo y sistema.

Solución de problemas con procedimientos internos

La mayoría de las instalaciones comerciales e industriales disponen de procedimientos internos escritos para la solución de problemas en los equipos. En estos procedimientos se suele garantizar la seguridad del personal y el mantenimiento de registros, más que aplicar tareas de solución de problemas concretas para localizar un problema. Es importante que se entiendan y sigan correctamente los procedimientos de la instalación. Se debe consultar a un supervisor o otra persona cualificada si no se entiende un procedimiento cuando se trabaje en el equipo (o cerca de él).

SUGERENCIA TÉCNICA

Los instrumentos de medida son un enlace directo entre el circuito con tensión y el cuerpo. Utilice sólo instrumentos de medida que estén en buenas condiciones y tengan la clasificación específica para la medición y el área.

Listas de comprobación para la solución de problemas

Los técnicos, electricistas y demás personal utilizan listas de comprobación para recopilar información que pueden ayudar a localizar un problema y que se pueden utilizar para determinar problemas secundarios. Estas listas también proporcionan una forma de documentación relacionada con equipos, sistemas, tipos de problemas y acciones correctivas necesarias. **Consulte la figura 4-2.**

Listas de comprobación para la solución de problemas . . .

LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DEL MOTOR Y DEL VARIADOR

Problema detectado o notificado:

- El sistema no se activa/funciona
- El sistema no funciona de la forma normal o necesaria
- El sistema hace ruido
- El sistema causa descargas eléctricas
- Otros _____

Tipo de distribución de energía:

- 1 ϕ
- 3 ϕ Y
- 3 ϕ Δ
- Fusibles
- Disyuntores
- Clasificación de tensión del circuito: ___ V
- Clasificación de amperaje del circuito: ___ A

Tipo de motor:

- Fabricante/tipo de motor _____
- Clasificación de potencia/tensión/corriente del motor ___ HP/kW, ___ V, ___ A, ___ SFA

Tipo de variador:

- Fabricante/tipo de variador _____
- Clasificación de potencia máxima del variador _____
- Código de fallo del variador mostrado _____

Patrón del problema:

- Días de la semana:
- Primera incidencia
- Repetición reciente
- Aleatorio
- Lunes
- Martes
- Miércoles
- Jueves
- Viernes
- Sábado
- Domingo
- Horas
- Hora notificada = ___ o Mañana Tarde Noche Medianoche
- Repetición aleatoria
- Siempre a la misma hora

Historial del problema:

- ¿Se ha detectado o notificado el problema antes? No ___ Sí ___
- ¿Se ha aplicado una acción correctiva? No ___ Sí ___
- ¿Hay otras partes del sistema afectadas? No ___ Sí ___
- En caso afirmativo, incluírlas aquí: _____
- ¿Se ha realizado algún cambio de trabajo reciente en el sistema? No ___ Sí ___

Posibles problemas:

- Fusibles quemados/disyuntores abiertos
- Variador desconectado automáticamente
- Problema del circuito de control
- Problema del operador

... Listas de comprobación para la solución de problemas

PPE necesario para las pruebas/mediciones previstas:

- Gafas de seguridad
- Pantalla protectora
- Guantes para electricidad (piel y goma)
- Protección para cabeza
- Protección para oídos
- Ropa de protección (ignífuga)
- Estera aislante de goma
- Otros _____

Clasificación CAT mínima necesaria de los instrumentos de medida, cables de prueba y dispositivos adicionales:

- CAT I
- CAT II
- CAT III
- CAT IV

Instrumentos de medida necesarios:

- Multímetro digital - Tipo ____ Accesorios ____
- Pinza amperimétrica
- Analizador de calidad eléctrica
- Osciloscopio portátil
- Comprobador de aislamiento
- Termómetro de infrarrojos sin contacto
- Cámara termográfica

Mediciones numéricas realizadas:

- Tensión al variador ____ V
- Corriente al variador ____ A
- Tensión al motor desde el variador ____ V
- Corriente del motor ____ A
- Potencia del motor ____ kW, ____ VA, ____ PF
- Otras ____

Formas de onda/mediciones del osciloscopio realizadas/observadas:

- Tensión al variador. Observaciones: _____
- Corriente al variador. Observaciones: _____
- Tensión del motor. Observaciones: _____
- Corriente del motor. Observaciones: _____
- Potencia del motor. Observaciones: _____
- Transitorios en el motor = _____
- Otras _____

Problemas o posibles problemas encontrados:

- Fusibles
- Disyuntores
- Parámetros del variador no establecidos correctamente
- El variador no funciona correctamente
- El variador funciona correctamente, pero el equipo/motor no funciona
- Problema del motor
- Otro problema (_____)

Figura 4-2. Las listas de comprobación se utilizan para recopilar información que puede ayudar a localizar un problema y que se pueden utilizar para determinar problemas secundarios.



ASI Robicon

Los motores y variadores de velocidad producen trabajo en cargas de caballo de potencia constante, como en las fábricas de papel.

PROBLEMAS COMUNES EN EL MOTOR Y VARIADOR

Los motores y variadores de velocidad eléctricos se utilizan para producir trabajo en aplicaciones residenciales, comerciales, industriales, gubernamentales, de ocio, etc. en las que es necesario controlar la salida de rotación. Los problemas en estas aplicaciones suelen ser los comunes en la mayoría de los sistemas eléctricos y otros menos comunes asociados a los requisitos de la aplicación, requisitos de control y condiciones ambientales. Los problemas comunes en la mayoría de aplicaciones de motor y variador son los siguientes:

- fusibles quemados y disparo de los disyuntores
- equipo dañado por humedad, suciedad, corrosión, rayo, manipulación indebida y cualquier otra condición para la que no se ha diseñado el equipo

- daño derivado de la antigüedad, exceso de uso, poca capacidad, alineación incorrecta y condiciones de alimentación inadecuada como pérdida de fase, tensiones transitorias, armónicos y fluctuaciones de tensión

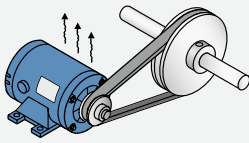
Problemas del motor

Cuando los motores eléctricos están instalados, ajustados y conectados correctamente a la fuente de alimentación constituyen una de las partes más fiables del equipo eléctrico. Es habitual que los motores eléctricos funcionen durante más de diez años sin ningún mantenimiento o con muy poco. Sin embargo, ya que los motores pueden fallar y, de hecho, fallan, los fabricantes y los usuarios han registrado las causas de las averías del motor durante más de 100 años, lo que proporciona una excelente documentación de las causas más comunes de malfuncionamiento y avería de los motores. **Consulte la figura 4-3.**

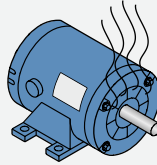
Funcionamiento monofásico

El funcionamiento monofásico se debe a la pérdida total de una tensión de fase aplicada a un motor de inducción CA trifásico (3ϕ) y puede resultar difícil de detectar en el funcionamiento normal. En una aplicación de variador de velocidad (VSD), suele estar causado por una conexión abierta en uno de los extremos del cable que va del motor al variador o en uno de los conductores del cable. También es posible que un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) haya fallado como circuito abierto, aunque la mayoría de los VSD puede detectar y señalar esta condición de forma interna. Un *transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)* es un dispositivo de tres terminales de estado sólido que se utiliza para conmutaciones rápidas de circuitos eléctricos.

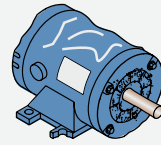
Causas de fallo del motor



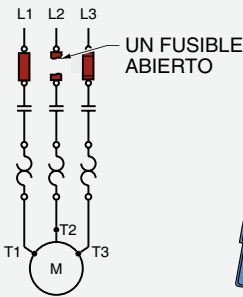
Sobrecarga



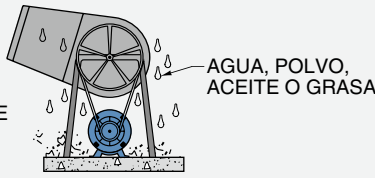
Fallo de cojinete



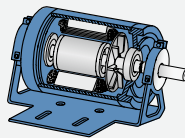
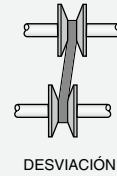
Antigüedad



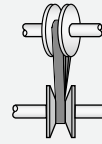
Funcionamiento monofásico



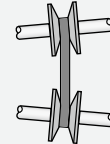
Contaminantes



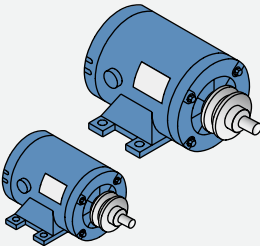
Fallo de rotor



Poleas mal alineadas



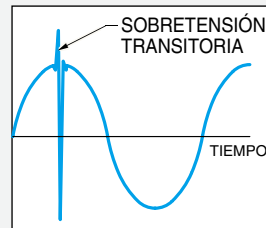
EQUIPO TRADICIONAL



Equipo inferior para ahorrar energía



Variador de velocidad o programación incorrectos



Problemas de calidad eléctrica

EQUIPO MODERNO

Figura 4-3. Las causas de los fallos del motor se pueden clasificar según si se producen en equipos tradicionales o en equipos más modernos.

El funcionamiento monofásico es una causa bastante común de las averías de los motores de inducción de 3 ϕ . Cuando se produce, los otros dos bobinados de fase deben conducir más corriente, lo que produce más calor y provoca la avería prematura del motor. Es posible que no se detecte el funcionamiento monofásico porque el motor sigue funcionando, aunque con más calor y posiblemente con pérdida de par. Además, las mediciones de tensión en los terminales del motor indican valores cercanos a normal porque la acción del motor induce la tensión al bobinado abierto.

Por este motivo, el mejor método para detectar el funcionamiento monofásico consiste en realizar mediciones en todas las fases hasta que se detecte la que está abierta. Otra indicación de un posible funcionamiento monofásico es que si se para y reinicia el motor, puede funcionar hacia atrás.

SUGERENCIA TÉCNICA

Entre las causas de un funcionamiento monofásico se incluyen fusibles fundidos, fallos mecánicos en el equipo de conmutación y rayos en las líneas de alimentación.

Reflexiones de sobretensión

Los tiempos de subida rápidos en los pulsos de salida del VSD y la existencia de un cable largo entre el VSD y el motor pueden causar reflexiones de sobretensión de más del doble de la tensión del bus de CC. Una condición de sobretensión inducida por reflexión es peligrosa porque puede dañar los bobinados del motor con el tiempo. Se necesita un osciloscopio portátil para solucionar este problema. **Consulte la figura 4-4.** Ya que existe sólo una pequeña diferencia de V_{rms} entre las dos formas de onda, este problema no se puede detectar con un voltímetro o multímetro digital.



Figura 4-4. El mejor instrumento para detectar condiciones de sobretensión producidas por tensiones reflejadas es el osciloscopio portátil.

Al instalar el variador de tipo PWM por primera vez, es posible que esta condición no se muestre como problema. Una vez identificado el problema, la solución más sencilla para la sobretensión u oscilación consiste en acortar el cable. **Consulte la figura 4-5.** Sin embargo, si no se puede acortar el cable de la aplicación PWM, se puede corregir el problema con una de estas acciones:

- instalando un filtro de paso bajo externo entre los terminales de salida del VSD y el cable al motor para reducir el tiempo

de subida de la señal PWM

- aplicando reactores de línea serie entre los terminales de salida del VSD y el cable al motor (sólo en aplicaciones con pocos caballos de potencia)
- instalando un filtro de coincidencia de impedancia de RC en los terminales del motor para minimizar los efectos de la sobretensión u oscilación

Nota: todas las soluciones deben estar diseñadas por un ingeniero cualificado para cada aplicación.

Métodos de reducción de sobretensión

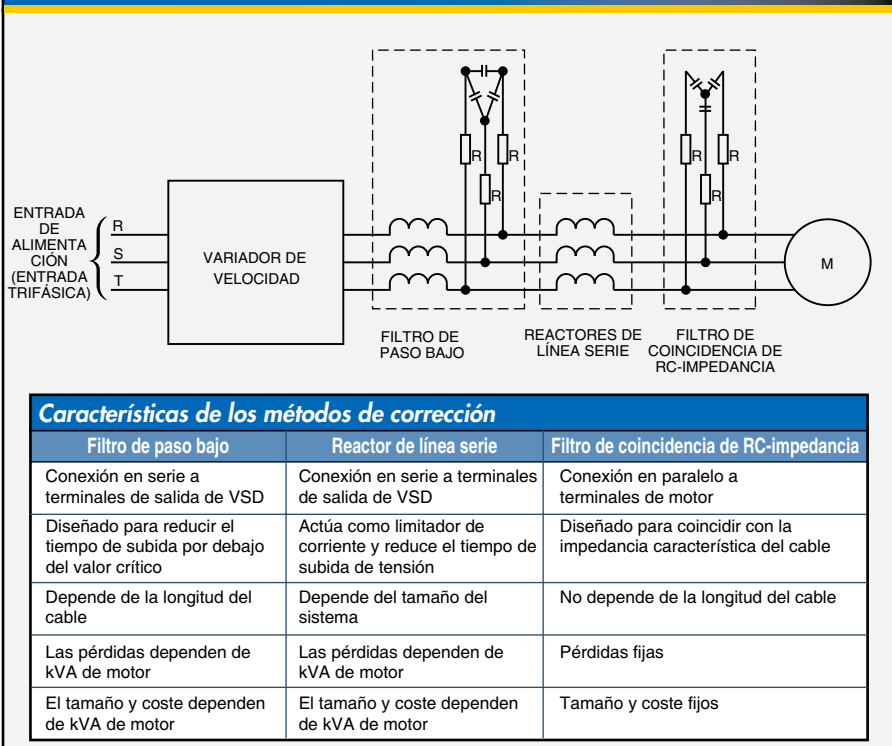


Figura 4-5. Los problemas de sobretensión inducida por reflexión se pueden corregir añadiendo filtros o reactores de línea serie al circuito.

ADVERTENCIA: la tensión reflejada puede causar picos de tensión del doble o el triple de la tensión del bus de CC. Por lo tanto, se recomienda que se realice mediciones en los terminales del motor con la sonda de medición de la clasificación superior disponible y durante el período más corto posible, siempre que sea posible la existencia de tensión reflejada.

Corriente de los cojinetes

En un motor, se produce una tensión del eje inevitable creada desde el bobinado del estator al eje del rotor debida a pequeñas asimetrías del campo magnético en el entrehierro. Estas asimetrías son inherentes del diseño del motor. La mayoría de los motores de inducción están diseñados para tener una tensión de eje máxima respecto a la toma de tierra del marco de menos de $1 V_{\text{rms}}$.

Cuando la tensión del eje del motor excede la capacidad de aislamiento de la grasa del cojinete, se puede producir corriente de descarga disruptiva hacia el cojinete exterior, lo que causa erosión y muescas en los rodamientos del cojinete. Las primeras señales de este problema suelen ser un ruido inusualmente alto y el sobrecalentamiento, ya que los cojinetes empiezan a perder su forma original y los fragmentos de metal se mezclan con la grasa y se aumenta la fricción del cojinete. Esto puede destruir los cojinetes en unos meses de funcionamiento del VSD, lo que causaría costosas reparaciones del motor eléctrico y paradas no programadas.

SUGERENCIA TÉCNICA

La mayoría de los fabricantes de motores eléctricos han desarrollado sistemas de conexión a tierra para el eje con el fin de eliminar el problema de corriente en los cojinetes.

La tensión del eje del motor también se puede deber a fuentes con acoplamiento interno electrostático, incluidos los acoplamientos con transmisión por correa y a las aspas del ventilador del rotor cuando el aire pasa por ellas como en las turbinas de vapor. Cuando la tensión de alimentación del motor es una onda senoidal de 60, la tensión de ruptura del cojinete es de aproximadamente de 0,4 V a 0,7 V. Sin embargo, con tiempos de subida rápidos de la tensión en los variadores PWM, la ruptura de la capacidad de aislamiento de la grasa se produce realmente con una tensión superior (aproximadamente de 8 V a 15 V). Esta tensión de ruptura superior crea una corriente mayor de descarga disruptiva del cojinete, lo que causa más daño en los cojinetes en menos tiempo.

Normalmente, la tensión del eje inferior a 0,3 V es seguro y no es tan alta como para provocar corrientes que destruyan el cojinete. Sin embargo, la tensión entre 0,5 V y 1 V puede crear corrientes que dañen el cojinete de más de 3 A (la tensión del eje de más de 2 V puede destruir el cojinete).

Ya que la tensión del eje está causada por tiempos de subida rápidos de los pulsos del variador, la tensión aparece como picos incoherentes y se debe medir con un osciloscopio portátil en lugar de un multímetro digital. Incluso si el multímetro digital detecta picos, la variación entre ellos es lo suficientemente grande como para que la lectura no sea fiable.

Una sonda específica para la tensión del eje puede ser de ayuda a la hora de realizar mediciones más seguras. Esta sonda es similar a un pequeño cepillo conductor que se conecta a la punta de la sonda del osciloscopio portátil. Se puede utilizar para establecer la conexión de prueba a la superficie del eje del motor.

La sonda de tensión del eje es una varilla que extiende el cuerpo de la sonda para tomar mediciones a una distancia más segura desde el punto de trabajo. El cable común se conecta al marco del motor como toma a tierra. Se debe realizar la medición de la tensión del eje al marco con toma de tierra después de calentar el motor hasta su temperatura de funcionamiento normal porque es posible que no exista tensión de eje con el motor en frío.

SUGERENCIA TÉCNICA

La mejor solución para el problema de corriente en los cojinetes es la reducción de la frecuencia de la portadora (pulso) del variador a un rango entre 4 kHz y 10 kHz. Si ya está en este rango, se puede aplicar alguna solución alternativa como el uso de dispositivos con toma a tierra en los ejes, aislamiento de cojinete, un blindaje de Faraday en el motor, grasa conductora, cojinetes de cerámica o filtro entre el VSD y el motor.

Corrientes de fuga

La cantidad de corriente de fuga provocada por el acoplamiento capacitivo entre el bobinado del estator del motor y la toma de tierra del marco aumenta con los variadores de PWM como resultado del uso de frecuencias de conmutación más altas, lo que empeora el problema. El aumento de la corriente de fuga también puede provocar disparos indeseados de los relés de protección ante pérdida de tierra. Se puede utilizar una bobina de choque de modo común con una resistencia de amortiguamiento para reducir las corrientes de fuga. Además, se puede utilizar cables especiales de supresión de EMI entre la salida del variador y los terminales del motor. Los transformadores de aislamiento de las entradas de CA también reducen el ruido del modo común.

Ruido eléctrico inducido

El ruido eléctrico inducido puede afectar en gran manera a los circuitos de control sensibles (por ejemplo, los sensores de velocidad, par, lógica de control y retroalimentación de posición) así como a las salidas a los indicadores de pantalla y ordenadores de control del sistema. Ya que muchas entradas de control tienen una escala entre 0 V y 5 V (o 10 VCC máximo) con las resoluciones normales de una parte por mil, unos milivoltios de ruido inducido pueden causar un funcionamiento incorrecto. Si la cantidad de ruido es mayor se puede llegar a dañar el variador y/o el motor.

Otras fuentes comunes de ruido eléctrico son las bobinas de contactores y relés. La tensión transitoria causada por la apertura de los circuitos de las bobinas puede generar picos de varios cientos de voltios, lo que puede inducir varios voltios de ruido en el cableado adyacente. Es necesario seguir las recomendaciones de instalación y utilizar un cableado de par trenzado con blindaje en los circuitos de control sensibles. Este cableado se debe separar del cableado de los circuitos de las bobinas de contactores y relés. Si se añade circuitos de amortiguación a las bobinas de contactores y relés se puede reducir la formación de arco eléctrico y el ruido inducido en el cableado adyacente.

El ruido en las entradas de línea de los variadores de CC controlados con SCR, los inversores de fuente de corriente, variadores de seis pasos y otras cargas con mucho ruido en un edificio también pueden inducir ruido no deseado en el cableado de control adyacente. Las señales PWM de conmutación rápida y mucha energía del cableado del motor también pueden contribuir a este problema si el cableado no está blindado y está cerca del cableado de control. El mejor método para minimizar este problema consiste en verificar que los cables de entrada de línea y el cableado del motor se encuentran en conductores de metal rígido con toma a tierra independientes.



Los variadores de velocidad se suelen instalar en un cuadro independiente junto a los motores que controlan.

Para determinar si existe ruido en el cableado del circuito de control es necesario un osciloscopio portátil que puede capturar y mostrar el ruido y los eventos transitorios que no puede un multímetro digital. Un osciloscopio con varios canales aumenta la capacidad de solución de problemas al permitir la visualización simultánea de varias señales, de forma paralela como corriente y tensión.

Se debe prestar especial atención cuando se utilice el osciloscopio portátil para realizar las mediciones de baja tensión para que el ruido no se acople en el osciloscopio y se considere por error ruido en el cableado de la señal de control. El uso de sondas con cable de toma a tierra corto puede minimizar el ruido introducido por las sondas del osciloscopio en la medición.

Proporción de voltios/hercios (V/Hz)

La proporción de tensión respecto a frecuencia determina la cantidad de par que se produce en un motor de inducción de CA. Si el motor tiene pérdida de par, se debe medir la proporción V/Hz. Los osciloscopios portátiles pueden mostrar a la vez la frecuencia de la salida de PWM y una tensión comparable con la clasificación de la placa de características del motor. Al medir la proporción V/Hz, se puede detectar los problemas de los siguientes componentes:

- circuitos de bus CC: frecuencia estable con tensión baja, alta o inestable
- circuitos de control de IGBT: frecuencia inestable con tensión en el rango especificado
- entradas de velocidad en placas de control: la tensión y la frecuencia fluctúan a la vez, la velocidad del motor está desactivada pero la proporción V/Hz es correcta

Circuitos del variador de velocidad de inversor

Aunque los variadores PWM han sustituido a los inversores de fuente de tensión (variadores de seis pasos), sigue existiendo inversores de fuente de tensión en funcionamiento que precisan mantenimiento. Los problemas comunes en los variadores de seis pasos son el desequilibrio entre tensión y corriente, el funcionamiento monofásico y el sobrecalentamiento. Uno de los problemas menos comunes de este tipo de variador son los transistores en cortocircuito.

Que en determinados variadores de seis pasos, se pueden detectar midiendo el transistor con un osciloscopio portátil. En la pantalla del osciloscopio, si el transistor funciona correctamente aparece una forma de onda cuadrada con límites definidos,

mientras que si no funciona correctamente las ondas son redondeadas en el pico del borde de entrada.

Si el transistor en cortocircuito está causando la desconexión del circuito de protección del variador, se puede desconectar la sección del convertidor que rectifica la CA en CC. El circuito de inversor se puede ejecutar después con 10 V de tensión de fuga presente en el bus de CC. El circuito del variador de entrada puede activar los transistores pero a un nivel de tensión inferior, de forma que se puede detectar con facilidad el transistor que no funciona correctamente. Además, se puede desactivar la sección del inversor mientras se resuelve el problema del circuito de convertidor de CA a CC. Al controlar la tensión del bus de CC, se puede modificar el control de velocidad para verificar que varía con el control.

Nota: las resistencias de retroalimentación de tensión deben permanecer conectadas al bus de CC para garantizar el control de la sección de convertidor mediante el potenciómetro de velocidad. Desconecte la sección del inversor de CA después de las resistencias de retroalimentación de tensión. Si no se sigue este procedimiento, se podría activar inmediatamente el convertidor de CC al iniciarse el variador de velocidad.

Inversores PWM

Los variadores PWM más modernos de caballos de potencia fraccionaria están integrados hasta el punto de que el bloque de diodos de entrada y los IGBT forman un único módulo desechable. El módulo está conectado al disipador térmico.

Si la salida de fase al motor falta o realiza una conducción parcial, se puede realizar una prueba en la sección de entrada del IGBT para comprobar la integridad de la señal. Si las entradas se encuentran

dentro de las especificaciones correctas (comparándolas con una unidad que se sepa que funciona bien), se puede sustituir el bloque de IGBT. Si no cumplen las especificaciones del fabricante, es posible que el bloque de IGBT esté cargando el circuito de entrada del variador o la placa del variador IGBT.

Si las entradas al IGBT no funcionan correctamente, se debe determinar si el problema radica en la laca del circuito que suministra las entradas al bloque de IGBT o en el propio bloque de IGBT. Si se puede acceder al IGBT, éste se debe probar en el circuito con la alimentación desconectada y aislado del motor y del PCB del variador IGBT mediante su desconexión. Se debe utilizar la función de prueba de diodos de un multímetro digital para comprobar el IGBT. Consulte la figura 4-6.

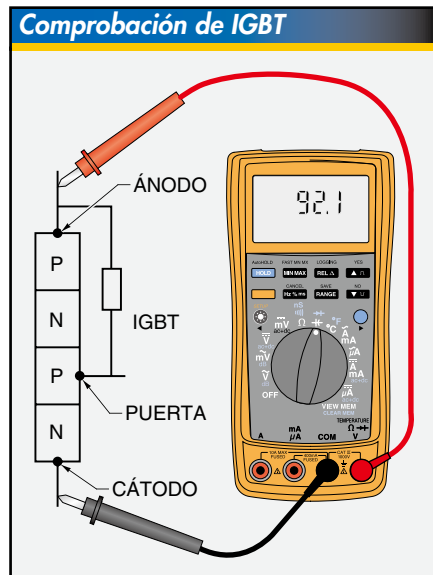


Figura 4-6. Se utiliza la función de prueba de diodos de un multímetro digital para comprobar un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT).

Transitorios y fluctuaciones

Las causas más comunes de disparo por fallo de circuito sobrecargado en inversores de VSD son la regeneración del motor y los transitorios y fluctuaciones en las entradas de línea de CA. Para comprobar estas condiciones, se debe utilizar un osciloscopio portátil o monitor de línea de alimentación con una resolución de al menos 10 μ seg/división que pueda registrar la fecha y hora del evento cuando se produzca.

El osciloscopio portátil puede medir y registrar la fecha y hora de los transitorios para que sean correlativos en el tiempo respecto al evento que cause el fallo de VSD. Como alternativa, se puede utilizar analizadores de calidad eléctrica para encontrar perturbaciones en la fuente de alimentación trifásica. Estos instrumentos permiten supervisar cuatro líneas de tensión (tres fases más neutro) y cuatro corrientes a la vez para proporcionar detalles de las lecturas anormales, como cambios de tensión y corriente, cambios de frecuencia, transitorios, etc. con registro de fecha y hora para cada evento.

Si los transitorios causan el disparo de un fallo en el circuito, se puede colocar un transformador de aislamiento o reactor de línea serie en serie con el terminal de entrada del VSD. Una solución alternativa es colocar un dispositivo de protección contra sobretensión (SPD) en el centro del control del motor o en la parte principal del transformador de distribución que alimenta el VSD. Sin embargo, si la fuente del transitorio es otra carga de la misma alimentación secundaria que el VSD, es posible que se deba utilizar un transformador de aislamiento separado o un reactor de línea serie directamente delante del VSD o conectar el VSD a su propia alimentación.

Si se instala un variador de velocidad en un área donde los rayos son frecuentes, se debe verificar que el edificio dispone de la protección adecuada contra sobrecarga. Además, el sistema de toma a tierra del edificio debe estar instalado correctamente y en funcionamiento para disipar los rayos con seguridad a la toma de tierra en lugar de por alguna ruta del sistema de distribución de alimentación del edificio.

Las oscilaciones de tensión se pueden supervisar con un monitor de línea como un osciloscopio portátil. Para compensar los efectos de una oscilación de tensión, se puede instalar un relé de caída temporal que esté activo durante todos los ciclos que haya oscilación de tensión y que sea compatible con el variador de velocidad. La viabilidad de esta solución viene determinada por la capacidad de autonomía que tenga el circuito de entrada del VSD, es decir, el tiempo antes de que caiga la tensión del bus de CC hasta una condición de caída de tensión.

Normalmente, los edificios con deficiencias en cableado y toma de tierra son susceptibles de los transitorios y las fluctuaciones. En los equipos eléctricos y electrónicos, los transitorios y las fluctuaciones se deben tratar como posibles síntomas de problemas sistémicos subyacentes que se deben corregir.

SUGERENCIA TÉCNICA

Las subidas de tensión pueden ser más destructivas que las caídas porque tardan menos tiempo en dañar el hardware. Incluso si son muy cortas, pueden causar daños permanentes en el equipo o componente.

Regeneración del motor

Un motivo común de la sobretensión en un bus de CC es la regeneración del motor. *La regeneración del motor* es una condición que se produce en un motor eléctrico cuando la carga lleva la dirección y empieza a dirigir el motor en lugar de ser dirigida por él, lo que hace que el motor funcione como generador que devuelve la energía al bus de CC en lugar de tomarla de él. Para comprobar si se está produciendo la regeneración del motor se puede buscar un cambio de dirección en la corriente de CC del bus de CC a la vez que se comprueba si existe en la tensión del bus de CC una subida por encima del punto de desconexión.

El *frenado dinámico* es un método de frenado del motor en el que el motor se vuelve a conectar para actuar como generador inmediatamente después de su desconexión. Si la regeneración causa un disparo por sobretensión, se puede utilizar el frenado dinámico para limitar la velocidad a la que se permite la retroalimentación de la corriente regenerativa en los condensadores de bus de CC. Si ya se ha utilizado el frenado dinámico pero no funciona correctamente, se puede verificar si cumple las especificaciones del fabricante. Otras consideraciones sobre el frenado dinámico son:

- Se debe inspeccionar el frenado dinámico de resistencia en busca de señales de sobrecalentamiento, como descoloración, grietas u olor a sobrecalentamiento de los componentes. También se puede medir el valor de resistencia en relación con las especificaciones del fabricante.
- Se puede comprobar las juntas de silicona del frenado dinámico del transistor con la función de prueba de diodos del multímetro digital. Asimismo se puede medir la corriente de frenado y comparar la forma de onda de la corriente con la de un sistema que funcione correctamente.

Baja tensión

Hay varias causas para un disparo indeseado del circuito por fallo debido a baja tensión en inversores de VSD. Las caídas de tensión y las condiciones de baja tensión en la entrada de línea al variador son las condiciones más comunes asociadas a un disparo indeseado. A menudo están causadas por la activación de otra carga en el sistema de distribución del edificio o posiblemente por el inicio de una carga eléctrica grande en un edificio adyacente. Se puede utilizar un osciloscopio portátil para diagnosticar las condiciones de baja tensión tomando mediciones que pueden registrar la fecha y hora de la caída o el evento en el que la caída de tensión causa la desconexión del VSD con un fallo debido a baja tensión. **Consulte la figura 4-7.**

Las mediciones se deben realizar en la acometida del servicio para determinar si la caída se origina dentro o fuera del edificio. Se debe supervisar la corriente y la tensión a la vez para saber si el problema está relacionado con la carga en la acometida del servicio. Un problema de generación tiene una caída de tensión sin la correspondiente caída de corriente o con la tensión y la corriente de la misma polaridad. Si el problema está dentro del edificio, debe continuar las mediciones en diferentes centros de carga hasta que se aisle la carga con la caída de tensión y caída de corriente.

Otra causa de esta condición podría ser un motor que consume suficiente corriente para que caiga la tensión del bus de CC por debajo del valor de fallo por caída de tensión pero no la bastante para causar la sobrecarga de la corriente. Se debe comprobar si existe sobrecarga en la corriente del motor. También se debe verificar si la configuración del programa del variador es correcta según la clasificación de la placa de características del motor, incluida la aplicación a la que están destinados el motor y el variador.

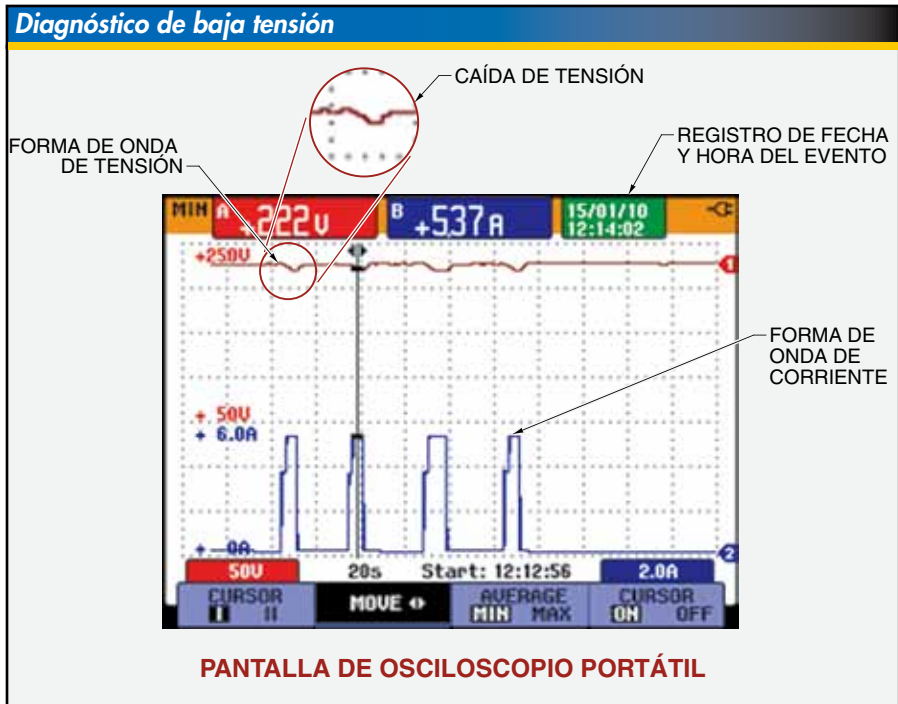


Figura 4-7. Con las caídas de tensión provocadas por una carga descendente, se reduce la tensión cada vez que aumenta la corriente de la carga.

La forma de onda de la tensión de entrada de la línea al VSD debe ser una onda senoidal con la forma correcta. Si hay un recorte de crestas excesivo en la forma de onda es posible que los condensadores de bus de CC no se carguen por completo, lo que reduce la tensión del bus de CC y la cantidad de corriente disponible al circuito de salida del VSD. **Consulte la figura 4-8.**

Puentes de diodos

Un *punte de diodo* es un circuito eléctrico que se utiliza para la conversión de CA a CC. Contiene cuatro diodos que permiten el paso de ambas mitades de las ondas senoidales de la corriente alterna de entrada. Los puentes de diodo que se utilizan en los variadores PWM son fáciles de comprobar. Los fallos más comunes

son las sobretensiones transitorias o las condiciones de sobrecorriente. Si un diodo en cortocircuito dispara un disyuntor antes de poder pasar a un circuito abierto, se puede utilizar un multímetro digital con una función de prueba de diodos para localizar este problema.

Se utiliza una función de prueba de diodo porque es posible que la función de prueba de resistencia no produzca una tensión lo suficientemente alta para que el diodo conduzca. Una vez desconectada por completo la alimentación de las entradas de línea de VSD, se debe utilizar la función de prueba de diodo para comprobar el bus de CC negativo y positivo en cada conexión de entrada de la línea. Cada entrada de línea se debe sondear con el cable negativo, empezando con el cable positivo en el bus +CC.

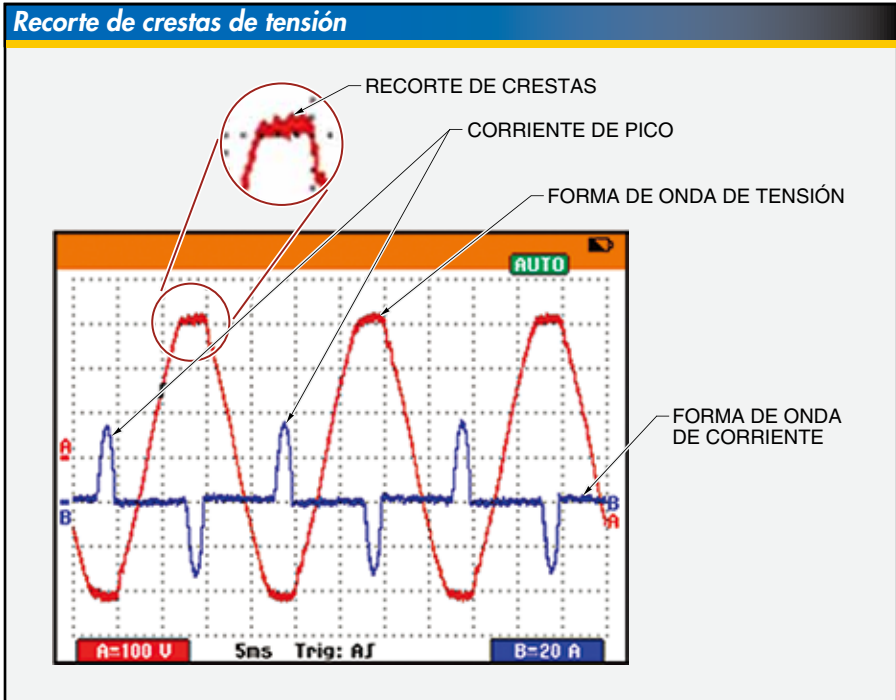


Figura 4-8. El recorte de crestas de tensión se puede producir debido a corrientes de pico con altos niveles de armónicos.

Las lecturas deben indicar “OL” (sobrecarga) o una condición de polarización inversa. Se debe realizar las mediciones de nuevo, pero esta vez con el cable negativo en el bus de +CC y el cable positivo en cada línea de entrada. Se producirá una polarización directa en los diodos y hará que conduzcan con una caída de unos 0,5 V a 0,7 V entre ellos. Se debe utilizar el mismo procedimiento para los otros tres diodos conectados al bus de CC negativo. Los diodos en cortocircuito tienen una lectura de 0 V en ambas direcciones. Los diodos abiertos leen sobrecargas en ambas direcciones cuando deberían estar conduciendo.

Los VSD más modernos también cuentan con un circuito de carga previa

para reducir la corriente de arranque a los condensadores de bus de CC y evitar el disparo de los circuitos de protección. Los variadores de velocidad de menos de 200 HP (150 kW) tienen una resistencia de carga previa que limita la corriente de arranque hasta que el bus de CC esté cargado al 60%, después, un relé elimina la resistencia del circuito. Al solucionar los problemas de los circuitos de entrada, se debe comprobar que no se pasan por alto la resistencia de carga previa y el relé como posibles causas del problema. Los VSD con más de 200 HP suelen tener SCR que carga despacio los condensadores de bus de CC hasta que la tensión del bus de CC llega a un nivel predeterminado, momento en que SCR pasa a una rectificación completa.

"Muestras" de tensión

Una "muesca de tensión" es una perturbación de conmutación rápida de la forma de onda normal de la tensión. Los variadores de seis pasos suelen utilizar SCR en lugar de diodos, como en los variadores PWM, para rectificar la tensión de la línea de entrada y convertirla a CC.

La tensión de la línea se puede comprobar con un osciloscopio portátil en busca de distorsión, en forma de "muestras" en la onda senoidal. La distorsión está causada por la activación de los SCR desde el circuito de control. **Consulte la figura 4-9.** Si se introduce una tensión distorsionada en el sistema de distribución y se aplica a otras cargas electrónicas sensibles, el equipo se puede desactivar y activar en el momento

equivocado, lo que puede causar daños en el equipo y en los sistemas relacionados.

La forma más común de corregir las "muestras" de tensión de los variadores de seis pasos consiste en conectar reactores de línea en serie con la entrada de línea al variador, o bien, utilizar un transformador de aislamiento. La ventaja de un transformador de aislamiento es que también reduce el ruido de modo común.

SUGERENCIA TÉCNICA

Los transformadores de aislamiento actúan como separador entre un suministro de alimentación no lineal, la carga y la fuente de alimentación. Se utilizan para proporcionar energía limpia a las cargas no lineales y evitar que los armónicos asciendan a la fuente de alimentación.

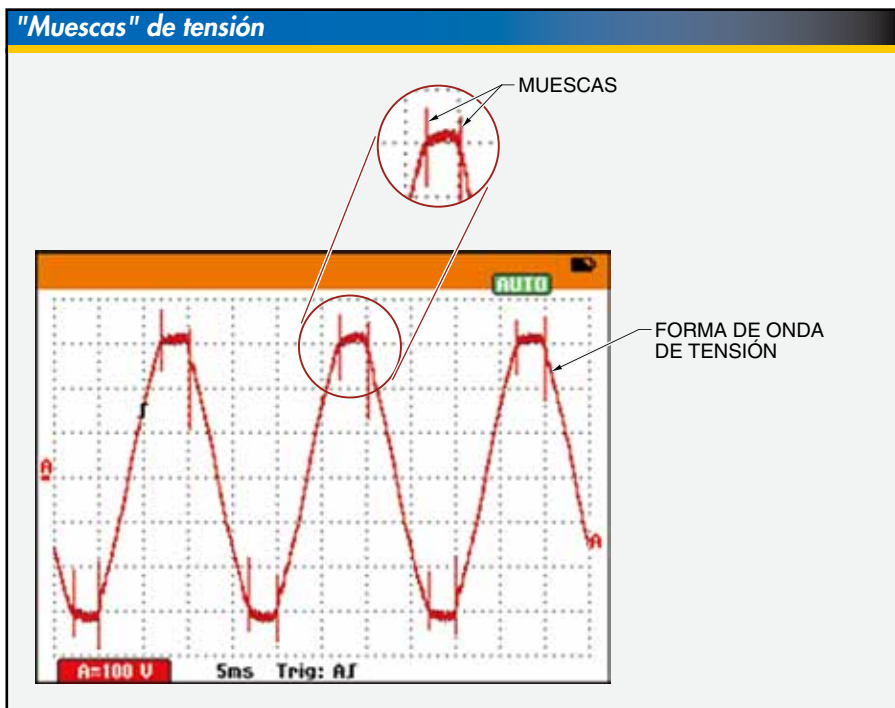


Figura 4-9. Una "muesca de tensión" es una perturbación de conmutación de la forma de onda normal de la tensión que dura menos de medio ciclo.

Desequilibrio de tensión

El desequilibrio de tensión en los terminales del motor puede afectar de forma negativa al funcionamiento del motor, pero además puede causar problemas en la línea del variador. Con tan sólo un 0,3% de desequilibrio de tensión en la entrada al inversor PWM se pueden producir "muescas" de tensión y exceso de corriente de flujo en una o más fases. Esto puede causar el disparo de la protección ante fallos por sobrecarga de corriente del VSD.

Una causa común del desequilibrio de tensión son las cargas monofásicas con caídas dentro y fuera de la misma alimentación que el VSD trifásico. Si se aumenta la clasificación de kVA del transformador o si se proporciona una alimentación separada para el VSD se puede minimizar o eliminar este tipo de problema.

SUGERENCIA TÉCNICA

Por cada 1% de desequilibrio de tensión, puede haber hasta un 6% de desequilibrio de corriente. Cuanto mayor sea el desequilibrio de tensión o corriente, mayor es la temperatura de funcionamiento del motor.

Armónicos

Los VSD se ven afectados por los armónicos a la vez que también crean problemas de armónicos para las demás cargas del sistema. Existen varias normas globales (IEEE, ISO, etc.) en las que se detallan los niveles de armónicos aceptables que se pueden producir en un variador en un entorno de funcionamiento normal.

VSD con armónicos. El recorte de crestas de tensión es un problema que se puede producir al instalar un VSD en un entorno con armónicos. Durante la rectificación de CA a CC, la corriente sólo se consume en el pico de la forma de onda de la tensión de CA, cuando la tensión de la línea de CA excede la tensión del condensador de bus de CC.

La ráfaga de corriente en el condensador en el tipo de la forma de onda de tensión de CA puede provocar una caída de tensión. Si existe un recorte de crestas de la tensión de la línea causado por otras cargas electrónicas del edificio, el condensador de bus de CC del VSD no puede cambiar a capacidad completa. Esto puede provocar caídas en la tensión del bus de CC si la carga del motor aumenta de repente o si se produce una caída en la tensión de la línea. Para corregir este problema, puede aumentar la clasificación de kVA del transformador y la capacidad de los conductores de distribución o puede añadir una regulación de la tensión.

Creación de armónicos de VSD. Los VSD de alta potencia (o muchos VSD de poca, situación cada vez más común) pueden crear armónicos de un tamaño que puede causar problemas para las demás cargas del sistema. Si la instalación del VSD excede la capacidad del cableado de distribución y/o transformador de distribución del edificio, pueden aparecer recortes de crestas que causen problemas para las demás cargas de la instalación. La corriente de los armónicos sólo resulta un problema si se encuentra con impedancia de la fuente. Si el transformador de la instalación tiene muy poca capacidad de VA para el nivel de corriente de los armónicos, la tensión de la fuente se distorsiona.

Aunque los motores eléctricos tradicionales pueden averiarse por diferentes motivos, entre las causas de los fallos en el motor eléctrico con equipos modernos se incluyen las siguientes:

- Los motores eléctricos con equipos modernos pueden fallar debido a que se utiliza una clasificación inferior o mínima (en potencia y tensión) para ahorrar energía, lo que aumenta el desgaste del motor y causa más mantenimiento y paradas no programadas.

- El uso de tecnología moderna como variadores de velocidad, controladores lógicos programables (PLC) y otros controles de estado sólido crea nuevos problemas, entre los que se incluyen armónicos (tonos más altos debidos a una frecuencia que es un múltiplo de la frecuencia fundamental) y picos transitorios en el sistema. Estos problemas pueden causar daños o averías en los motores y en otros componentes eléctricos.
- Para ahorrar energía, los variadores y los motores tienen el tamaño mínimo necesario para realizar el trabajo requerido. Si se utiliza un equipo inferior se ahorra energía pero fuerza el funcionamiento del variador y del motor para alcanzar la capacidad completa.
- Los dispositivos eléctricos son susceptibles a problemas causados por sobrecalentamiento. Si estos problemas no se solucionan mediante la instalación de disipadores térmicos, ventilación o ventiladores de refrigeración, se pueden dañar los dispositivos electrónicos y los circuitos del interior de los variadores de velocidad.

Problemas del variador de velocidad

Los variadores de velocidad se consideran un tipo moderno de control de motor si se comparan con los tradicionales motores de arranque magnéticos, por lo tanto, aún no están muy documentados los motivos de los fallos. Entre las causas más comunes de fallo del variador de velocidad están las siguientes:

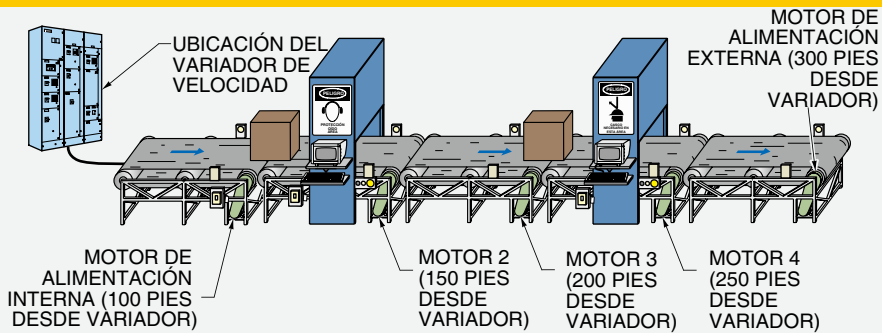
- Se debe programar y reprogramar todos los variadores de velocidad para que sus parámetros de funcionamiento coincidan con el motor y el tipo de carga del motor. Hay una serie de valores que si no se programan correctamente pueden dañar el motor y el variador y causar una condición de funcionamiento insegura.
- El aumento en el uso de cargas no lineales como ordenadores, impresoras y variadores de velocidad introduce armónicos en el sistema de distribución de alimentación, lo que puede provocar sobrecalentamiento y problemas relacionados.
- Conforme los circuitos electrónicos se reducen de tamaño y los dispositivos se colocan tan juntos, incluso la tensión transitoria más pequeña puede causar la formación de arco eléctrico y daños en componentes y dispositivos.

CASO PRÁCTICO: sistema de fabricación de piezas discretas

La fabricación de piezas discretas es la producción de bienes duraderos que se producen y ensamblan como los automóviles, frigoríficos, ordenadores, herramientas, juguetes y otros artículos tangibles cuyo duración se prevé sea de varios años. La fabricación se realiza principalmente mediante equipos de control de procesos que doblan, perforan, allanan, estampan, dan forma, limpian, pintan, ensamblan y realizan el control de calidad de los productos generados.

En la mayoría de los sistemas de fabricación de piezas discretas, una pieza del equipo o proceso alimenta a la siguiente conforme se ensambla o fabrica el producto. Cada motor eléctrico de la línea de producción suele estar controlado mediante un variador de velocidad independiente, pero algunos variadores se utilizan para controlar varios motores. Aunque la instalación de un variador de velocidad puede simplificar el control del proceso, también puede producir problemas como diferencias de tensión y corriente. **Consulte la figura 4-10.**

Sistema de fabricación de piezas discretas



Mediciones de prueba del osciloscopio portátil — Lecturas de RMS

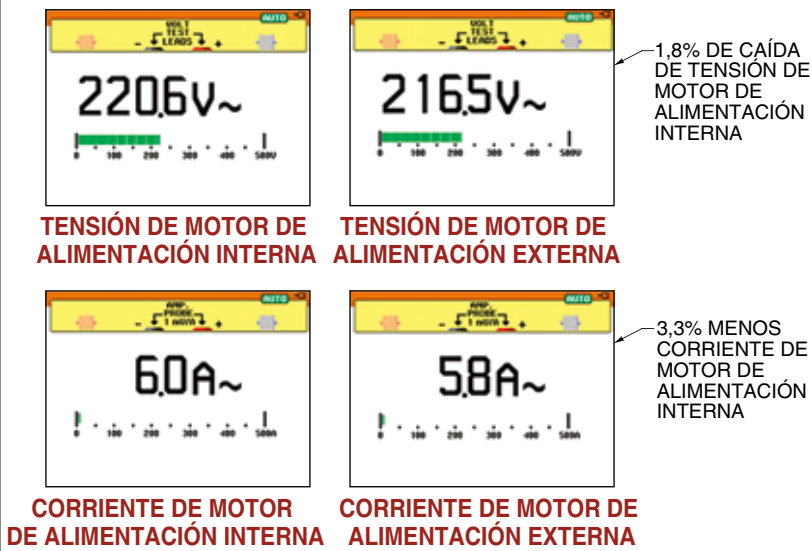


Figura 4-10. Aunque algunos variadores se utilizan para controlar varios motores, este tipo de configuración puede producir problemas como diferencias de tensión y corriente.

El problema

En una aplicación de fabricación de piezas discretas, el motor de alimentación externa se ha averiado dos veces en el último año y se ha sustituido después de cada avería. Se han realizado los siguientes pasos después de sustituir el motor:

1. Se realizaron mediciones de tensión en los motores de alimentación interna y externa para verificar que una mayor distancia no estaba creando una condición de caída de tensión. Las mediciones numéricas indicaron una caída de tensión de sólo el 1,8%, que está en el rango aceptable.
2. Se realizaron mediciones en los motores de alimentación interna y externa para verificar que no existía un problema de sobrecorriente. Ambas mediciones estaban en el rango de las especificaciones de la placa de características del motor.
3. Aunque las lecturas numéricas iniciales no indicaban un problema, se realizaron mediciones adicionales con un osciloscopio portátil, las realizadas en el motor de alimentación externa no indicaron la presencia de tensiones transitorias que pudieran estar causadas por una mayor distancia, pero la medición de la corriente indicaba un aumento de alimentación.
4. Se instalaron reactores de carga antes del motor de alimentación externa, tras lo cual el osciloscopio portátil indicó un funcionamiento correcto.

Análisis del problema

Al analizar la forma de onda del osciloscopio portátil para la corriente, se detectó un aumento del 26% en el tamaño de las lecturas de corriente de pico. Se determinó que el aumento en la corriente de pico era la causa principal del fallo del motor.

Consulte la figura 4-11.

Soluciones al problema

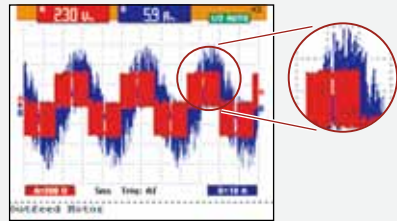
Entre los cambios y soluciones que se pueden aplicar a un sistema de fabricación de piezas discretas para solucionar el fallo del motor de alimentación externa se incluyen:

- Se puede aumentar el tamaño y clasificación del motor de alimentación externa para que esté en el rango del aumento de la corriente de pico.
- Una mejor solución sería la colocación del variador de velocidad principal en una posición central del proceso o equipo para reducir la distancia entre el variador y el motor.
- La solución preferida es la reducción de la distancia entre el variador de velocidad y los motores y que cada motor esté controlado con un variador independiente. Se puede controlar varios variadores mediante un control común para que funcionen como una unidad. **Consulte la figura 4-12.**

Análisis de osciloscopio portátil — Lecturas de pico

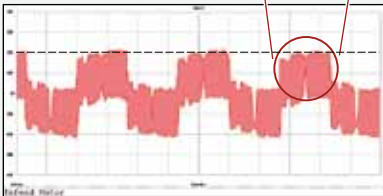
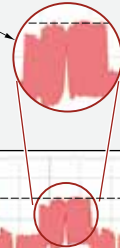


TENSIÓN Y CORRIENTE DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN INTERNA



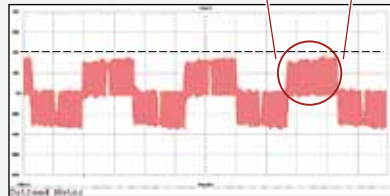
TENSIÓN Y CORRIENTE DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN EXTERNA

PICO DE 432 V



TENSIÓN DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN INTERNA (ENTRADA A)

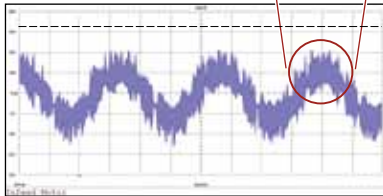
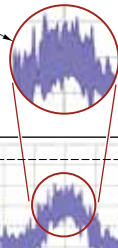
PICO DE 368 V



TENSIÓN DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN EXTERNA (ENTRADA A)

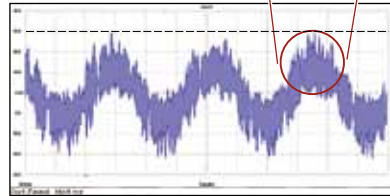
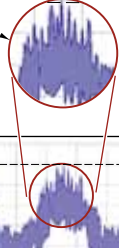
Problem Readings

PICO DE 22,8 A
(6,0 A RMS)



CORRIENTE DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN INTERNA (ENTRADA B)

PICO DE 30,8 A
(5,8 A RMS)



CORRIENTE DE MOTOR DE ALIMENTACIÓN EXTERNA (ENTRADA B)

Figura 4-11. Los osciloscopios portátiles se pueden utilizar para analizar las formas de onda de la tensión y la corriente para detectar problemas ocultos.

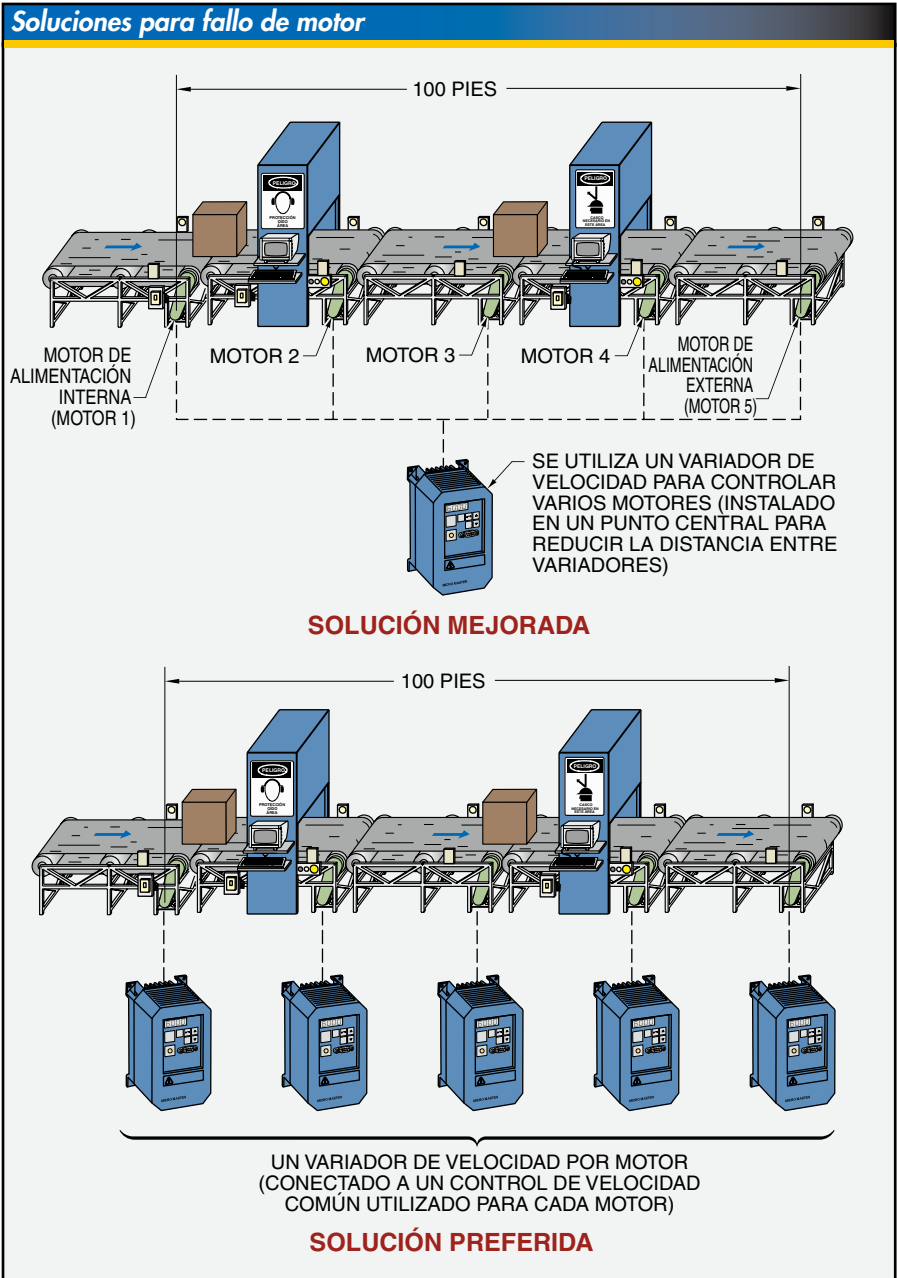


Figura 4-12. El uso de variadores de velocidad separados es el método preferido para controlar el motor y evitar su fallo en caso de varios motores instalados en un sistema de fabricación de piezas discretas.

Documentación de la condición del motor y del variador

La documentación de la condición del motor y del variador y el mantenimiento de registros precisos de las paradas programadas, solicitudes de mantenimiento, condiciones del equipo y solución de problemas proporcionan una forma de verificación y justificación de los requisitos relacionados con personal, horas extra, herramientas, instrumentos de medida y formación. El registro y la documentación de las mediciones concretas realizadas durante las operaciones de solución de problemas proporcionan información escrita sobre el funcionamiento del equipo y del circuito que se puede consultar más adelante para solucionar problemas, determinar la posible acción correctiva, realizar consultas al fabricante y seleccionar el equipo de sustitución.

DOCUMENTACIÓN

Para documentar los resultados de las pruebas realizadas con un osciloscopio portátil al instalar un nuevo equipo, realizar un mantenimiento preventivo y solucionar los problemas es necesario conocer el instrumento de prueba. Este conocimiento incluye la selección de la función adecuada del osciloscopio, la configuración del instrumento de prueba para que registre las mediciones necesarias, el registro de los datos a lo largo del tiempo, la reproducción de los datos, el análisis de las mediciones realizadas y la aplicación de las mediciones al equipo y a los sistemas adecuados. Consulte la figura 5-1.

SUGERENCIA TÉCNICA

Un archivo histórico de las formas de onda y de otras mediciones realizadas proporciona una base valiosa para los técnicos que les permite realizar comparaciones del rendimiento del equipo a lo largo del tiempo.

Registro y análisis de las mediciones a lo largo del tiempo

Para realizar y registrar las mediciones a lo largo del tiempo, los osciloscopios portátiles deben disponer de una función de medición de tiempo que se utilizará para registrar tanto la tensión como la corriente en el período de tiempo especificado.

Una vez visualizados y registrados los valores eléctricos a lo largo del tiempo, se pueden analizar. El cursor que aparece en la pantalla se puede desplazar a cualquier sección de las mediciones registradas para verificar los valores de las pruebas y el momento en que se registraron. Por ejemplo, la posición del cursor indica que la tensión es de 120 V y la corriente de 12,1 A antes del pico de la corriente. Al mover el cursor por el evento, la tensión cae de 120 V a 115 V y la corriente aumenta de 12,1 A a 58,5 A. Consulte la figura 5-2.



Figura 5-1. Los botones SCOPE, METER, RECORDER, CURSOR, ZOOM y REPLAY del osciloscopio portátil se utilizan para establecer el tipo de medición que se va a realizar y para registrar, documentar y analizar las lecturas.



Utilice un analizador de calidad eléctrica para evaluar la calidad del suministro de alimentación al panel.

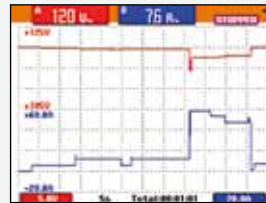
Registro y análisis de las formas de onda

El registro y el análisis de las mediciones numéricas puede ayudar a entender el funcionamiento del circuito pero también puede resultar de utilidad el registro, visualización y análisis de las formas de onda. Por ejemplo, se puede programar un osciloscopio portátil para que registre las formas de onda del arranque y del funcionamiento del motor y del variador de velocidad con el fin de analizar su efecto en el sistema. **Consulte la figura 5-3.** Conforme se capturan y muestran las formas de onda, la pantalla registra la transición de circuito lineal a no lineal cuando el variador de velocidad activa el motor.

Registro y análisis de las mediciones a lo largo del tiempo



PANTALLA DE CONFIGURACIÓN



TENSIÓN

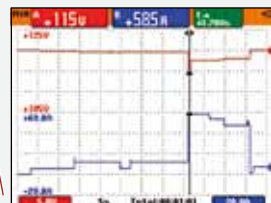
CORRIENTE

TENSIÓN Y CORRIENTE REGISTRADAS A LO LARGO DEL TIEMPO



CURSOR

CURSOR AÑADIDO A LA VISUALIZACIÓN



CAÍDA DE TENSIÓN = 5 V

SUBIDA DE CORRIENTE = 46,4 A

CURSOR UTILIZADO CON ANÁLISIS

Figura 5-2. Se puede utilizar la función de medición de tiempo de un osciloscopio portátil para registrar tanto la tensión como la corriente en el periodo de tiempo especificado.

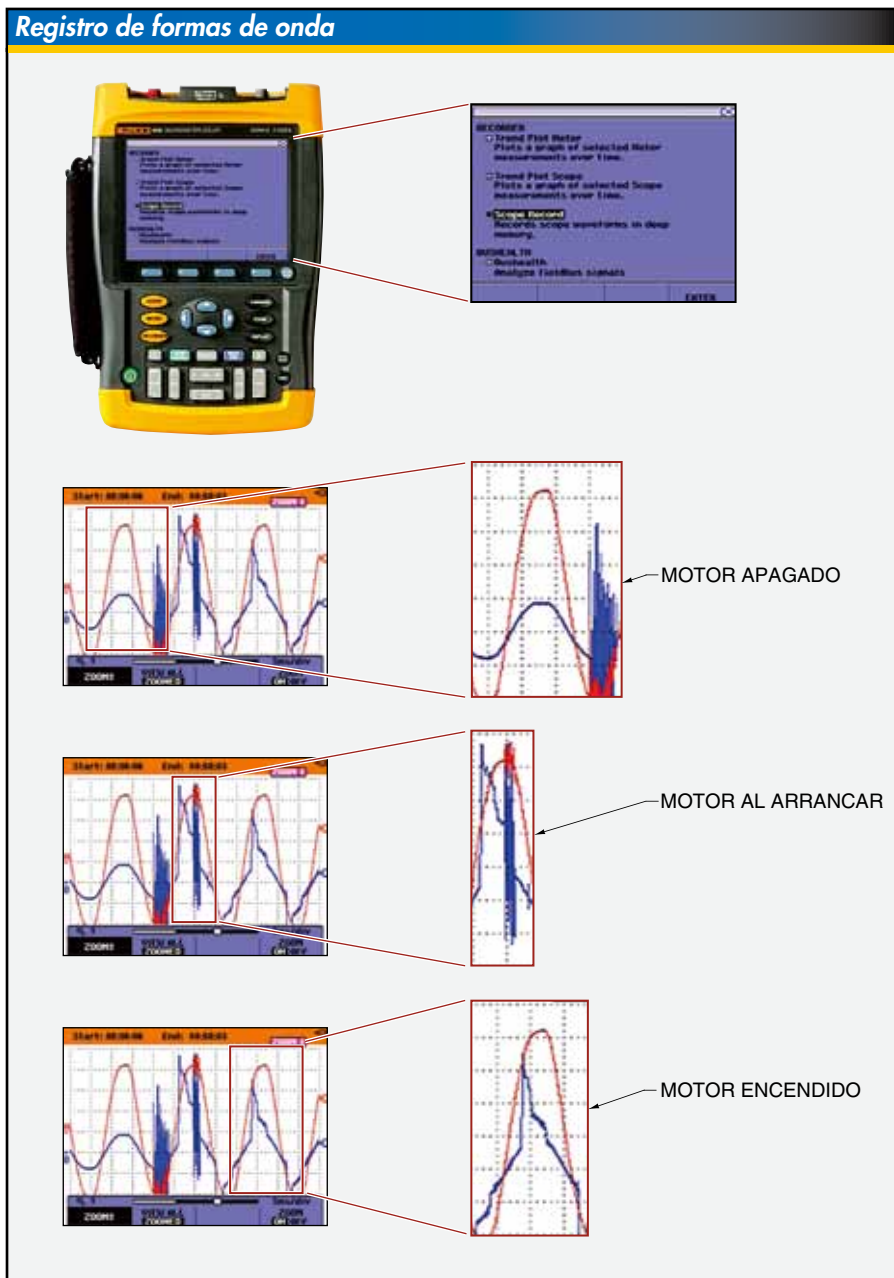


Figura 5-3. Se puede configurar un osciloscopio portátil para que registre las formas de onda del arranque y del funcionamiento del motor y del variador de velocidad para comprobar si funcionan correctamente.

SUGERENCIA TÉCNICA

Se utiliza fusibles de retardo y disyuntor automático en los circuitos del motor porque todos los motores consumen más corriente al arrancar (corriente de arranque) que durante el funcionamiento. Sólo un osciloscopio portátil puede capturar y mostrar la corriente de arranque real del motor para analizar los problemas que se produzcan durante el arranque.

Si se añade el cursor a la pantalla se puede verificar que la corriente lineal era de 8,2 A antes de activarse el motor, aumentó a 43 A cuando se arrancó y permaneció constante en 30,6 A mientras funcionaba. Esta información es necesaria para entender los problemas de fusibles y disparos de los disyuntor, daños en el equipo y otros datos que se puedan utilizar para mantener y solucionar los problemas de equipo y sistema. **Consulte la figura 5-4.**

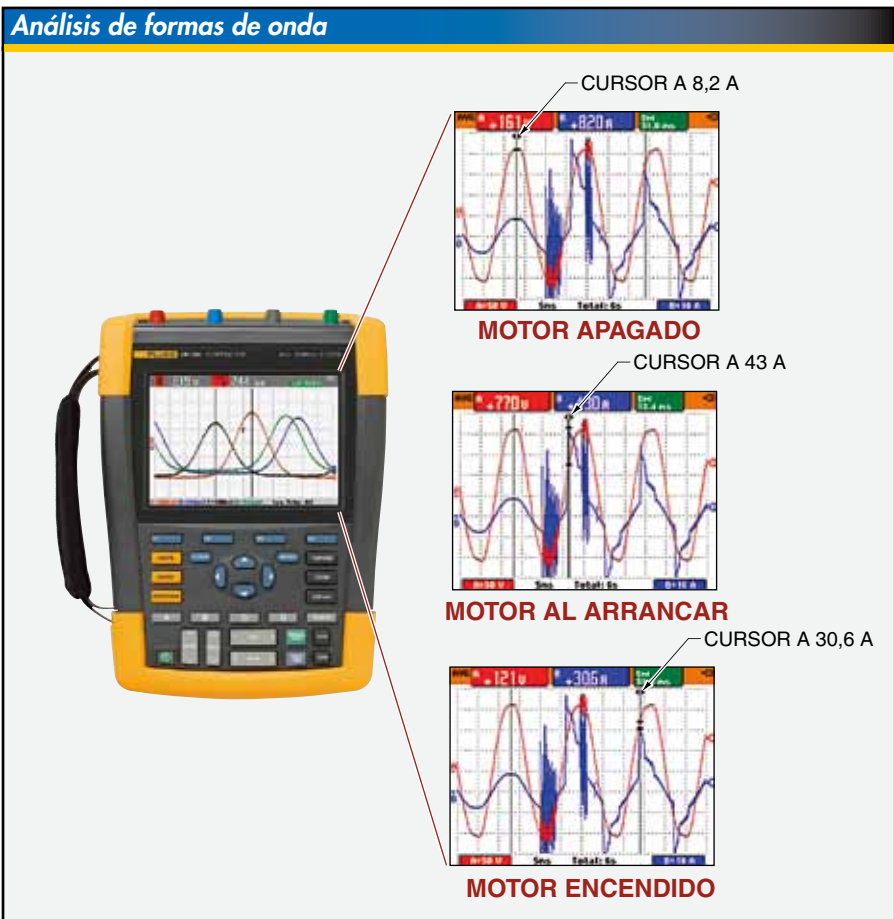


Figura 5-4. Si se añade el cursor a la pantalla se puede analizar las formas de onda de las mediciones registradas.

Formas de onda. Se puede obtener más información de la forma de onda que de los valores numéricos. Es necesario entender lo que aparece en la pantalla y el valor de medición real cuando se consulten las formas de onda del osciloscopio portátil. Para entender mejor los valores y las formas de la onda mostrada, se debe

analizar correctamente el factor de cresta. Un *factor de cresta* es la proporción del valor de tensión de pico respecto al valor de tensión rms. Una forma senoidal pura tiene un factor de cresta de 1,41. Cuanto mayor sea el factor de cresta de un circuito, más distorsión tendrá la forma de onda. **Consulte la figura 5-5.**

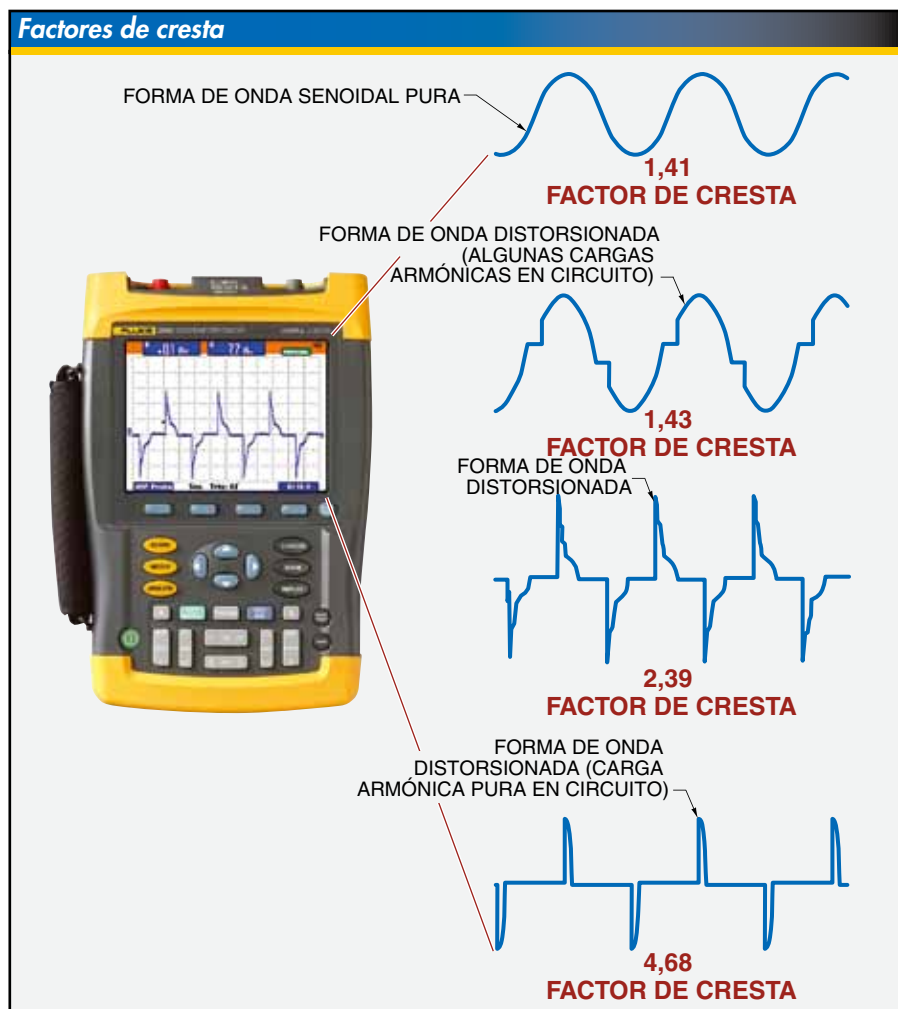


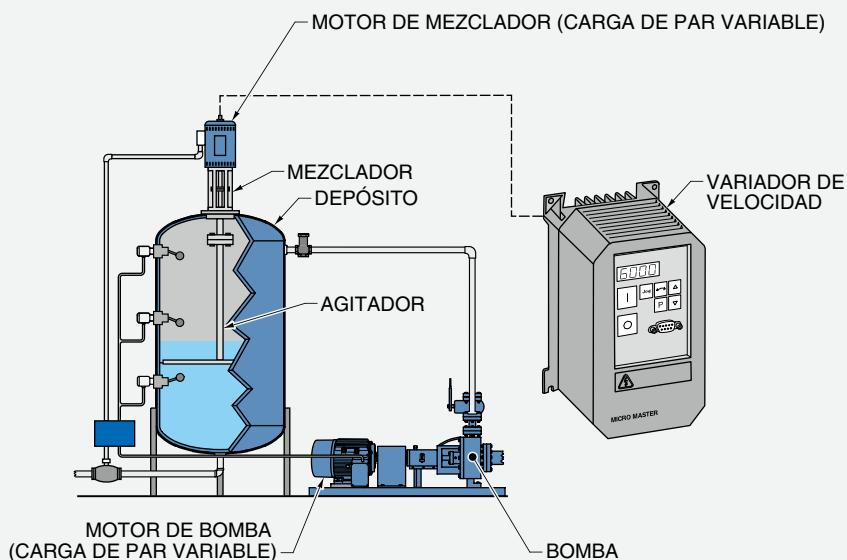
Figura 5-5. Una forma senoidal pura tiene un factor de cresta de 1,41. Cuanto mayor sea el factor de cresta de un circuito, más distorsión tendrá la forma de onda.

CASO PRÁCTICO: registro y análisis de las mediciones

Una vez registradas y analizadas las mediciones de la prueba, se puede aplicar la acción correctiva adecuada. Por ejemplo, en una aplicación de par variable, se utilizó un osciloscopio portátil con configuración para bombas y ventiladores (P&F) con el fin de registrar, analizar y documentar problemas como oscilaciones de tensión, interrupciones de alimentación, transitorios, sobrecorriente, factor de potencia bajo, ruido en la línea y armónicos. La información capturada y mostrada indicaba claramente la presencia de uno de estos problemas. Basándose en la documentación del osciloscopio portátil se determinó que era necesario colocar un filtro de línea entre el variador y los motores para corregir el problema.

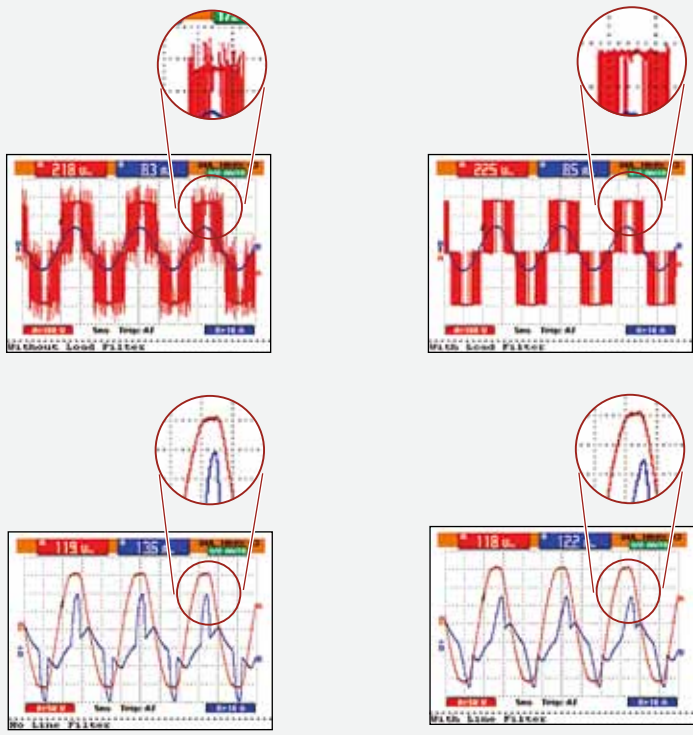
Una vez identificado el problema, se puede aplicar la acción correctiva adecuada. Después, se puede realizar mediciones adicionales con las formas de onda para verificar que la acción correctiva ha solucionado el problema. Consulte la figura 5-6.

Registro y análisis de las mediciones – Aplicación de par variable . . .



APLICACIÓN

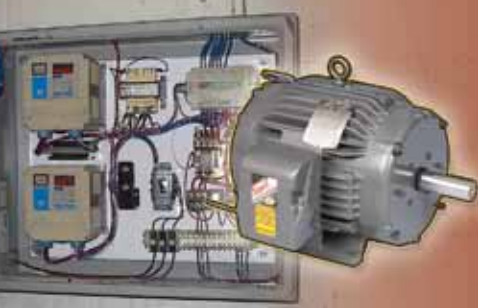
... Registro y análisis de las mediciones — Aplicación de par variable



FORMAS DE ONDA DE MEDICIÓN DE PRUEBA INICIAL

FORMAS DE ONDA DE MEDICIÓN DE PRUEBA DESPUÉS DE COLOCACIÓN DE FILTRO ENTRE VARIADOR Y MOTOR

Figura 5-6. En una aplicación de par variable, se puede utilizar las mediciones de un osciloscopio portátil con el fin de registrar, analizar y documentar problemas como oscilaciones de tensión, interrupciones de alimentación, transitorios, sobrecorriente, factor de potencia bajo, ruido en la línea y armónicos



Apéndice

Fallos de los componentes del variador de velocidad eléctrico	94
Características del motor de CA	95
Características del motor de CC y universal.....	95
Matriz de solución de problemas del variador de velocidad eléctrico.....	96
Problemas relacionados con los parámetros del variador de velocidad eléctrico ...	97
Problemas de funcionamiento del variador de velocidad eléctrico	98
Problemas relacionados con la entrada y salida del variador de velocidad eléctrico	98
Motores y circuitos de 3 ϕ , 230 V – Sistema de 240 V.....	99
Motores y circuitos de 3 ϕ , 460 V – Sistema de 480 V	100

Fallos de los componentes del variador de velocidad eléctrico

Síntoma/Código de avería	Problema	Causa	Solución
El variador de velocidad eléctrico no se enciende; fusibles quemados o disparo de los disyuntores	Semiconductor de convertidor (rectificador) defectuoso	Entrada de alta tensión/sobretensión El ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico está defectuoso	Sustituya el semiconductor del convertidor o el variador de velocidad eléctrico Sustituya el semiconductor del convertidor y el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico, o bien, sustituya el variador de velocidad eléctrico
El variador de velocidad eléctrico no se enciende; fusibles quemados o disparo de los disyuntores; no hay salida de CA del variador de velocidad eléctrico; el fusible del bus de CC (si lo hay) está quemado; fallo de sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico	Semiconductor del inversor defectuoso	El ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico está defectuoso	Sustituya el semiconductor del inversor y el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico, o bien, sustituya el variador de velocidad eléctrico
Fallo de exceso de temperatura del variador de velocidad eléctrico o fallo de componente del variador de velocidad eléctrico	Ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico defectuoso	Antigüedad; los fabricantes de variador de velocidad eléctrico recomiendan sustituir los ventiladores después de 3 a 5 años. <i>Nota: la previsión de duración del ventilador se ve influida por la temperatura ambiente</i>	Sustituya el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico o el variador de velocidad eléctrico
Sobretensión en el condensador del bus de CC y/o la válvula de seguridad de presión sobresale; se ha destruido el condensador del bus de CC; tensión inestable en el bus de CC cuando el variador de velocidad eléctrico funciona a velocidad constante. <i>Nota: las resistencias defectuosas de equilibrio del condensador pueden dañar los condensadores del bus de CC. Si existe un problema en el condensador, compruebe también la resistencia</i>	Condensadores del bus de CC defectuosos	Antigüedad; los fabricantes recomiendan sustituir los condensadores después de 5 a 10 años; el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico está defectuoso.	Sustituya los condensadores del bus de CC o el variador de velocidad eléctrico
		La resistencia de equilibrio del condensador está defectuosa o sus valores no son correctos	Sustituya los condensadores del bus de CC y la resistencia de equilibrio del condensador, o bien, sustituya el variador de velocidad eléctrico; verifique que la resistencia sustituida tiene valores de ohmios y vatios correctos
Las resistencias y las conexiones de las resistencias aparecen descoloridas y/o quemadas. <i>Nota: las resistencias defectuosas de equilibrio del condensador pueden dañar los condensadores del bus de CC. Si existe un problema en esta resistencia, compruebe también el condensador del bus de CC</i>	Resistencias defectuosas de equilibrio del condensador	Resistencias incorrectas de equilibrio del condensador	Sustituya la resistencia de equilibrio del condensador o el variador de velocidad eléctrico; verifique que la resistencia sustituida tiene valores de ohmios y vatios correctos
		Calor excesivo	Verifique que está funcionando el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico, sustitúyalo si es defectuoso; sustituya la resistencia de equilibrio del condensador o el variador de velocidad eléctrico; verifique que la resistencia sustituida tiene valores de ohmios y vatios correctos
		Conexiones sueltas	Sustituya la resistencia de equilibrio del condensador o el variador de velocidad eléctrico; verifique que la resistencia sustituida tiene valores de ohmios y vatios correctos; apriete las conexiones

Características del motor de CA						
Tipo de motor	Tensión normal	Capacidad de arranque (par)	Tamaño (HP)	Rango de velocidad (rpm)	Coste*	Uso típico
1ϕ						
Polo sombreado	115 V, 230 V	Muy bajo, del 50% al 100% de plena carga	Fraccional de $\frac{1}{2}$ HP a $\frac{1}{8}$ HP	Fijo 900, 1200, 1800, 3600	Muy bajo, del 75% al 85%	Aplicaciones de poca carga como ventiladores pequeños, secadores de pelo y ordenadores
Fase dividida	115 V, 230 V	Bajo, del 75% al 200% de plena carga	Fraccional $\frac{1}{3}$ HP o inferior	Fijo 900, 1200, 1800, 3600	Bajo, del 85% al 95%	Aplicaciones de poco par como bombas, ventiladores y herramientas
Arranque por condensador	115 V, 230 V	Alto, del 200% al 350% de plena carga	Fraccional a 3 HP	Fijo 900, 1200, 1800	Bajo, del 90% al 110%	Cargas de arranque difícil como frigoríficos, compresores de aire y herramientas
Funcionamiento por condensador	115 V, 230 V	Muy bajo, del 50% al 100% de plena carga	Fraccional a 5 HP	Fijo 900, 1200, 1800	Bajo, del 90% al 110%	Aplicaciones que necesitan un par alto de funcionamiento como bombas y cintas transportadoras
Arranque y funcionamiento por condensador	115 V, 230 V	Muy bajo, del 350% al 450% de plena carga	Fraccional a 10 HP	Fijo 900, 1200, 1800	Bajo, del 100% al 115%	Aplicaciones que necesitan un par alto de arranque y funcionamiento como cintas transportadoras cargadas
3ϕ						
Inducción	230 V, 460 V	Bajo, del 100% al 175% de plena carga	Fraccional a más de 500 HP	Fijo 900, 1200, 3600	Bajo, 100%	La mayoría de aplicaciones industriales
Rotor bobinado	230 V, 460 V	Alto, del 200% al 300% de plena carga	De $\frac{1}{2}$ HP a 200 HP	Varía según la resistencia del rotor	Muy alto, del 250% al 350%	Aplicaciones que necesitan un par alto a diferentes velocidades como grúas y ascensores
Síncrono	230 V, 460 V	Muy bajo, del 40% al 100% de plena carga	Fraccional a 250 HP	Velocidad constante exacta	Alto, del 200% al 250%	Aplicaciones que necesitan velocidades muy lentas y factores de potencia correctos

* según un motor de inducción 3 ϕ estándar

Características del motor de CC y universal						
Tipo de motor	Tensión normal	Capacidad de arranque (par)	Tamaño (HP)	Rango de velocidad (rpm)	Coste*	Uso típico
Serie CC	12 V, 90 V, 120 V, 180 V	Muy alto, del 400% al 50% de plena carga	Fraccional a 100 HP	Varía de 0 a velocidad total	Alto, del 175% al 225%	Aplicaciones que necesitan un par muy alto como grúas y puentes
Paralelo	12 V, 90 V, 120 V, 180 V	Bajo, del 125% al 250% de plena carga	Fraccional a 100 HP	Fijo o ajustable por debajo de velocidad total	Alto, del 175% al 225%	Aplicaciones que necesitan mejor control de velocidad que los motores serie como maquinaria de carpintería
Compuesto	12 V, 90 V, 120 V, 180 V	Alto, del 300% al 400% de plena carga	Fraccional a 100 HP	Fijo o ajustable	Alto, del 175% al 225%	Aplicaciones que necesitan par alto y control de velocidad como prensas de impresión, cintas transportadoras y grúas
Imán permanente	12 V, 24 V, 36 V, 120 V	Bajo, del 100% al 200% de plena carga	Fraccional	Varía de 0 a velocidad total	Alto, del 150% al 200%	Aplicaciones que necesitan equipos pequeños con funcionamiento CC como ventanillas, asientos y techos solares de los automóviles
Por pasos	5 V, 12 V, 24 V	Muy bajo [†] de 0,5 a 5000 oz/pulg.	La clasificación de tamaño se proporciona como par de mantenimiento y número de pasos	Clasificación en número de pasos por segundo (máximo)	Varía según el número de pasos y par nominal	Aplicaciones que necesitan par bajo y control como mesas de indexación e impresoras
CA/CC universal	115 V, 230 VCA, 12 VCC, 24 VCC, 36 VCC, 20 VCC	Alto, del 300% al 400% de plena carga	Fraccional	Varía de 0 a velocidad total	Alto, del 175% al 225%	La mayoría de herramientas portátiles como taladradoras, enrutadores, mezcladores y aspiradoras

* según un motor de inducción 3 ϕ estándar

[†] par clasificado como par de mantenimiento

Matriz de solución de problemas del variador de velocidad eléctrico			
Fallos del variador de velocidad eléctrico			
Síntoma/Código de avería	Problema	Causa	Solución
Fallo de sobretensión del variador de velocidad eléctrico	Sobretensión del variador de velocidad eléctrico	El tiempo de desaceleración es demasiado corto	Aumente el tiempo de desaceleración
		Entrada de alta tensión/sobretensión	Corrija lo que sea necesario
		La carga supera al motor	Añada resistencias de frenado dinámico y/o aumente el tiempo de desaceleración
Fallo de sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico	Sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico	Los datos de la placa de características del motor no tienen la programación correcta	Compruebe que los datos de programación y de la placa de características del motor son correctos
		El tiempo de aceleración es demasiado corto	Aumente el tiempo de aceleración
		El aumento de arranque o continuo es demasiado alto	Reduzca el aumento de arranque o continuo
		Cortocircuito en el semiconductor del inversor	Sustituya el semiconductor del inversor o el variador de velocidad eléctrico
		Está cambiando de estado el contacto entre el variador de velocidad eléctrico y el motor mientras la salida del variador es superior a 0 Hz	El contacto del cable sólo cambia de estado cuando la salida del variador de velocidad eléctrico es de 0 Hz
		El motor intenta arrancar en modo de giro	Permita que se realice un arranque con el motor girando
Fallo de sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico; las lecturas de corriente de los conductores de carga no son iguales	Sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico	Cortocircuito o fallo de toma a tierra en el motor o en los conductores que alimentan el motor	Corrija lo que sea necesario
Fallo de sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico; las lecturas de corriente de los conductores de carga están un 105% o más por encima de lo establecido en la placa cuando el motor suministra la carga	Sobrecorriente del variador de velocidad eléctrico	Problema de motor	
Fallo de sobrecarga del variador de velocidad eléctrico; las lecturas de corriente de los conductores de carga están un 105% o más por encima de lo establecido en la placa cuando el motor suministra la carga	Sobrecarga del variador de velocidad eléctrico	Problema de motor y/o carga	Corrija lo que sea necesario
Fallo de caída de tensión del variador de velocidad eléctrico	Caída de tensión del variador de velocidad eléctrico	Entrada de tensión baja/caída de tensión	
Fallo de exceso de temperatura del variador de velocidad eléctrico	Exceso de temperatura del variador de velocidad eléctrico	Temperatura ambiente alta	Añada refrigeración al cuadro del variador de velocidad eléctrico o cámbielo de lugar
		Ventilador de refrigeración del variador defectuoso	Sustituya el ventilador de refrigeración del variador de velocidad eléctrico o el variador de velocidad eléctrico
		Dispersador térmico sucio o toma de aire obstruida	Limpie el dispersador térmico o la toma de aire
		Problema de motor y/o carga	

Problemas relacionados con los parámetros del variador de velocidad eléctrico

Síntoma/Código de avería	Problema	Causa	Solución
El variador de velocidad eléctrico funciona correctamente cuando se establecen los parámetros predeterminados, el modo de entrada es el teclado y el motor o la carga está desconectado. El variador de velocidad eléctrico no funciona correctamente cuando se establecen los parámetros predeterminados (excluyendo el modo de control y los datos de la placa de características del motor), el modo de entrada es el teclado y el motor o la carga está conectado	Parámetros incorrectos	Programación incorrecta de los parámetros	Verifique que los parámetros especificados en la placa de características del motor coincidan con los datos reales; verifique que el parámetro de modo de control es correcto para el tipo de carga, por ejemplo, un variador de velocidad eléctrico establecido en par variable para una carga de bomba o ventilador Corrija lo que sea necesario
		Programación incorrecta de los parámetros	Verifique que todos los parámetros relacionados con la aplicación son correctos; es posible que exista un conflicto entre dos parámetros, por ejemplo, la frecuencia mínima del motor y su frecuencia máxima
	Problema de motor y/o carga	Problema de motor y/o carga	Corrija lo que sea necesario
Ruidos o vibraciones extraños cuando el variador de velocidad eléctrico suministra alimentación a la carga	Parámetros incorrectos	Programación incorrecta de los parámetros	Ajuste el parámetro de frecuencia de salto
	Problema de motor y/o carga	Problema de motor y/o carga	Corrija lo que sea necesario
El variador de velocidad eléctrico funciona correctamente cuando se establecen los parámetros predeterminados (excluyendo el modo de control y los datos de la placa de características del motor), el modo de entrada es el teclado y el motor o la carga está conectado; no funciona correctamente en otro modo de entrada que no sea el teclado, el motor o la carga está conectado y el variador de velocidad eléctrico se opera según el diseño	Parámetros incorrectos	Programación incorrecta de los parámetros	Verifique que el parámetro de modo de entrada coincide con la entrada existente; por ejemplo, se programa una comunicación en serie si el variador de velocidad eléctrico se controla mediante comunicación en serie Corrija lo que sea necesario
	Las entradas y salidas de conexión externa no son correctas	El cableado de entrada o salida no es correcto; los dispositivos de entrada o salida no son correctos.	Consulte Problemas relacionados con la entrada y salida del variador de velocidad eléctrico

Problemas de funcionamiento del variador de velocidad eléctrico

Síntoma/Código de avería	Problema	Causa	Solución
Fallos intermitentes del variador de velocidad eléctrico y/o el variador de velocidad eléctrico no funciona siempre según el diseño	Fallo intermitente/funcionamiento errático	Problemas de suministro eléctrico	Corrija lo que sea necesario
		Ruido eléctrico, EMI/RFI	Verifique que los amortiguadores de RC, MOV o diodos de volante están instalados en las bobinas cercanas al variador de velocidad eléctrico o están controlados mediante el variador de velocidad eléctrico; corrija lo que sea necesario.
		Ruido eléctrico, EMI/RFI	Verifique que los conductores de entrada y salida están instalados en diferentes conductos metálicos o cables blindados independientes; verifique que la toma a tierra es correcta; corrija lo que sea necesario
		Ruido eléctrico, EMI/RFI	Verifique que se mantiene la separación adecuada entre los conductores de alimentación y control, incluidos diferentes conductos metálicos; corrija lo que sea necesario
		Ruido eléctrico, EMI/RFI	Verifique que las señales analógicas están en un conducto metálico diferente con un cable de par trenzado con blindaje, y sólo tiene toma a tierra en un extremo; corrija lo que sea necesario
Rotación incorrecta del motor si se suministra alimentación con un variador	Fase incorrecta	Cableado	Intercambie dos de los conductores de carga de la toma del terminal eléctrico para invertir la dirección de la rotación
Rotación incorrecta del motor si se suministra alimentación con contactores de derivación	Fase incorrecta	Cableado	Intercambie dos de los conductores de línea que alimentan el variador de velocidad eléctrico y la derivación. Nota: se asume que el variador y la derivación comparten la alimentación

Problemas relacionados con la entrada y salida del variador de velocidad eléctrico

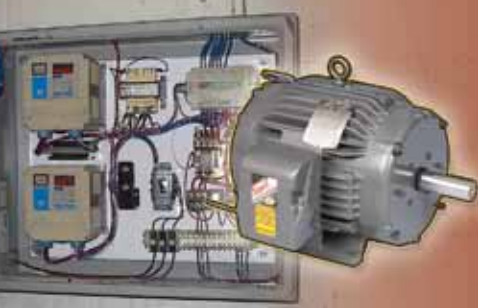
Síntoma/Código de avería	Problema	Causa	Solución
El variador de velocidad eléctrico funciona correctamente cuando se establecen los parámetros predeterminados (excluyendo el modo de control y los datos de la placa de características del motor), el modo de entrada es el teclado y el motor o la carga está conectado. No funciona correctamente en otro modo de entrada que no sea el teclado, el motor o la carga está conectado y el variador de velocidad eléctrico se opera según el diseño	Las entradas y salidas de conexión externa no son correctas	El cableado de entrada o salida no es correcto; los dispositivos de entrada o salida no son correctos	Verifique el cableado a los dispositivos de entrada y salida; compruebe si existe alguna conexión suelta; asegúrese de que los dispositivos son correctos para la aplicación y corrija lo que sea necesario
		Problema del sistema independiente que proporciona las señales de inicio, detención, referencia o retroalimentación al variador de velocidad eléctrico, por ejemplo, sistemas de control de calefacción, ventilación y aire acondicionado	Verifique el funcionamiento del sistema independiente; corrija lo que sea necesario
	Parámetros incorrectos	Programación incorrecta de los parámetros	Consulte Problemas relacionados con los parámetros del variador de velocidad eléctrico.

Motores y circuitos de 3 ϕ , 230 V – Sistema de 240 V											
1		2		3		4		5		6	
Tamaño del motor		Protección contra sobrecarga del motor				Clasificación de temperatura de terminación de controlador				Tamaño mínimo de hilo de cobre y conducto de cambio	
		Pico bajo o Fusetron®				60°C 75°C					
HP	Amp	Motor con menos de 40 °C o más de 1,15 SF (Máx. fusible 125%)	Todos los demás motores (Máx. fusible 115%)	Conmutador al 115% mínimo, HP nominal o tamaño de portafusible	Tamaño mínimo del motor de arranque	TW	THW	TW	THW	Tamaño de hilo (AWG o kcmil)	Conducto (pulgadas)
1/2	2	2 1/2	2 1/4	30	00	.	.	.	.	14	1/2
3/4	2.8	3 1/2	3 2/10	30	00	.	.	.	.	14	1/2
1	3.6	4 1/2	4	30	00	.	.	.	.	14	1/2
1 1/2	5.2	6 1/4	5 6/10	30	00	.	.	.	.	14	1/2
2	6.8	8	7 1/2	30	0	.	.	.	.	14	1/2
3	9.6	12	10	30	0	.	.	.	.	14	1/2
5	15.2	17 1/2	17 1/2	30	1	.	.	.	.	14	1/2
7 1/2	22	25	25	30	1	.	.	.	.	10	1/2
10	28	35	30	60	2	.	.	.	.	8	3/4
						.	.	.	.	10	1/2
15	42	50	45	60	2	.	.	.	.	6	1
						.	.	.	.	6	3/4
20	54	60	60	100	3	.	.	.	.	4	1
25	68	80	75	100	3	.	.	.	.	3	1 1/4
						.	.	.	.	3	1
						.	.	.	.	4	1
30	80	100	90	100	3	.	.	.	.	1	1 1/4
						.	.	.	.	3	1 1/4
40	104	125	110	200	4	.	.	.	.	2/0	1 1/2
						.	.	.	.	1	1 1/4
50	130	150	150	200	4	.	.	.	.	3/0	2
						.	.	.	.	2/0	1 1/2
75	192	225	200	400	5	.	.	.	.	300	2 1/2
						.	.	.	.	250	2 1/2
100	248	300	250	400	5	.	.	.	.	500	3
						.	.	.	.	350	2 1/2
150	360	450	400	600	6	.	.	.	.	300-2/0*	2-2 1/2
						.	.	.	.	4/0-2/0*	2-2*

* dos conjuntos de varios conductores y dos tramos de conductos necesarios

Motores y circuitos de 3 ϕ , 460 V—Sistema de 480 V											
1		2		3		4		5		6	
Tamaño del motor		Protección contra sobrecarga del motor				Clasificación de temperatura de terminación de controlador				Hilo de cobre y conducto de cambio	
		Pico bajo o Fusetron®		Commutador al 115% mínimo, HP nominal o tamaño de portafusible		Tamaño mínimo del motor de arranque		60°C		75°C	
HP	Amp	Motor con menos de 40 °C o más de 1,15 SF (Máx. fusible 125%)	Todos los demás motores (Máx. fusible 115%)			TW	THW	TW	THW	Tamaño de hilo (AWG o kcmil)	Conducto (pulgadas)
1/2	1	1 1/4	1 1/8	30	00	•	•	•	•	14	1/2
3/4	1.4	1 9/10	1 9/10	30	00	•	•	•	•	14	1/2
1	1.8	2 1/4	2	30	00	•	•	•	•	14	1/2
1 1/2	2.6	3 2/10	2 9/10	30	00	•	•	•	•	14	1/2
2	3.4	4	3 1/2	30	00	•	•	•	•	14	1/2
3	4.8	5 9/10	5	30	0	•	•	•	•	14	1/2
5	7.6	9	8	30	0	•	•	•	•	14	1/2
7 1/2	11	12	12	30	1	•	•	•	•	14	1/2
10	14	17 1/2	15	30	1	•	•	•	•	14	1/2
15	21	25	20	30	2	•	•	•	•	10	1/2
20	27	30	30	60	2	•	•	•		8	3/4
									•	10	1/2
25	34	40	35	60	2	•	•	•		6	1
									•	8	3/4
30	40	50	45	60	3	•	•	•		6	1
									•	8	3/4
40	52	60	60	100	3	•	•	•		4	1
									•	6	1
50	65	80	70	100	3	•	•	•		3	1 1/4
									•	4	1
60	77	90	80	100	4	•	•	•		1	1 1/4
									•	3	1 1/4
75	96	110	110	200	4	•	•	•		1/0	1 1/2
									•	1	1 1/4
100	124	150	125	200	4	•	•	•		3/0	2
									•	2/0	1 1/2
125	156	175	175	200	5	•	•	•		4/0	2
									•	3/0	2
150	180	225	200	400	5	•	•	•		300	2 1/2
									•	4/0	2
200	240	300	250	400	5	•	•	•		500	3
									•	350	2 1/2
250	302	350	325	400	6	•	•	•		4/0-2/ ϕ *	2-2*
									•	3/0-2/ ϕ *	2-2*
300	361	450	400	600	6	•	•	•		300-2/ ϕ *	2-1 1/2 *
									•	4/0-2/ ϕ *	2-2*

* dos conjuntos de varios conductores y dos tramos de conductos necesarios



Glosario

A

alternancia: mitad de un ciclo (180°).

amperaje de factor de servicio (SFA): clasificación de corriente máxima que puede consumir un motor con seguridad

analizador de calidad eléctrica: instrumento que mide, muestra y registra la tensión, corriente y potencia además de los problemas especiales relacionados con la alimentación como caídas, subidas, transitorios y armónicos.

ancho de banda: rango de frecuencias que puede medir con precisión un osciloscopio portátil o un multímetro.

B

barrido: movimiento del trazado mostrado en la pantalla del osciloscopio portátil.

bloqueo: proceso de desconexión de la fuente de alimentación eléctrica y la instalación de un bloqueo que evite la conexión de la alimentación.

C

carga de caballo de potencia constante (CH): carga que requiere un par alto a velocidades bajas y un par bajo a velocidades altas.

carga de par constante (CT): carga en la que la necesidad de par motor es constante.

carga de par variable (VT): carga que requiere un par y caballos de potencia variables a diferentes velocidades.

carga lineal: carga en la que la corriente aumenta de forma proporcional al aumento de la tensión y se reduce de forma proporcional al reducirse la tensión.

carga no lineal: carga en la que la corriente de carga instantánea no es proporcional a la tensión instantánea.

cámara termográfica: dispositivo que detecta los patrones térmicos en el espectro de infrarrojos de la longitud de onda sin entrar en contacto directo con la pieza.

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC): organización que desarrolla normas internacionales para los equipos eléctricos.

comprobador de resistencia de aislamiento: instrumento de medida que tiene funciones especiales para la comprobación de la resistencia del aislamiento.

corriente: flujo de los electrones por un circuito eléctrico; medido en amperios (A).

E

eficiencia energética (ecología en la tecnología): proceso de selección, sustitución o modificación de equipos y sistemas para reducir la cantidad de energía utilizada pero manteniendo el mismo nivel de servicio.

equipo de protección individual (PPE): ropa y equipo que lleva el personal para reducir la posibilidad de lesiones en el área de trabajo.

etiquetado: proceso de colocación de una etiqueta de peligro en la fuente de la alimentación eléctrica, en la que se indique que no se puede poner en funcionamiento el equipo hasta que se retire la etiqueta.

F

factor de cresta: proporción del valor de tensión de pico respecto al valor de tensión rms.

factor de potencia (PF): proporción de potencia real utilizada en un circuito CA frente a la potencia aparente utilizada o proporcionada al circuito

frecuencia de la línea: número de ciclos eléctricos completos por segundo de una fuente de alimentación.

frecuencia de la portadora: frecuencia que controla la velocidad de activación y desactivación de los conmutadores de estado sólido del inversor de un variador de velocidad con modulación por ancho de pulso (PWM).

frecuencia fundamental: frecuencia de la tensión utilizada para controlar la velocidad del motor.

frenado dinámico: método de frenado del motor en el que el motor se vuelve a conectar para actuar como generador inmediatamente después de su desconexión.

H

hercio (Hz): unidad internacional de frecuencia; es igual a los ciclos por segundo.

M

mantenimiento preventivo: trabajo programado necesario para mantener el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento.

modulación del ancho de pulso (PWM): método que permite controlar la cantidad de tensión que se envía al motor.

motor de corriente alterna (CA): motor que utiliza la corriente alterna conectada a un estator (bobinas de estator) para generar una fuerza en un rotor mediante un campo magnético.

motor de corriente continua (CC): motor que utiliza la corriente continua conectada a las bobinas de campo y un armazón de rotación para producir la rotación.

motor eléctrico: máquina que convierte la energía eléctrica en fuerza mecánica de rotación (par) en un eje, para producir el trabajo.

muesca de tensión: perturbación de conmutación rápida de la forma de onda normal de la tensión.

muestreo: proceso de conversión de una parte de la señal de entrada en una serie de valores eléctricos discretos con el fin de almacenamiento, procesamiento y visualización.

multímetro digital (DMM): instrumento de medida eléctrico que mide dos o más propiedades eléctricas y muestra las propiedades medidas como valores numéricos.

O

osciloscopio portátil (ScopeMeter™): instrumento que mide y muestra las formas de onda de alta tensión, baja tensión y las señales digitales.

P

par de enganche (PUT): par necesario para llevar una carga a su velocidad nominal.

par de plena carga (FLT): par necesario para producir la potencia nominal a la velocidad total del motor.

par de rotor bloqueado (LRT): par que produce un motor cuando su rotor es de estator y se aplica potencia completa al motor.

par máximo (BDT): par máximo que puede proporcionar un motor sin una reducción brusca de la velocidad del motor.

par motor: fuerza que produce la rotación en un motor.

par: fuerza que produce la rotación.

persona cualificada: persona que ha recibido formación y tiene conocimientos especiales sobre la estructura y el funcionamiento de los equipos eléctricos o se encarga de una tarea concreta y es capaz de reconocer y evitar los peligros eléctricos que pueden existir en el trabajo con los equipos o en tareas concretas.

polaridad: estado eléctrico positivo (+) o negativo (-) de un objeto

potencia aparente (P_A): el producto de la tensión y la corriente en un circuito calculado sin tener en cuenta el cambio de fase que puede existir entre la tensión y la corriente en ese circuito, se mide en voltio amperios (VA) o kilovoltio amperios (kVA).

potencia reactiva (VAR): la energía suministrada a las cargas reactivas, como las bobinas del motor.

potencia real (P_T): potencia que en realidad se utiliza en un circuito eléctrico; se mide en vatios (W) o kilovatios (kW).

procedimiento de solución de problemas: proceso paso a paso lógico que se utiliza para identificar una avería o un problema en un sistema o proceso de la forma más rápida y sencilla posible.

proporción de voltios/hercios (V/Hz): proporción de tensión y frecuencia que se aplica a un motor.

punto de diodo: circuito eléctrico que se utiliza para la conversión de CA a CC. Contiene cuatro diodos que permiten el paso de ambas mitades de las ondas senoidales de la corriente alterna de entrada.

S

solución de problemas: eliminación sistemática de las diferentes partes de un sistema o proceso durante el proceso de localización de la pieza averiada.

T

tensión de pico ($V_{m\acute{a}x}$): en una onda senoidal, es el valor máximo de la alternancia positiva o negativa.

tensión de pico a pico (V_{p-p}): valor medido de la alternancia positiva máxima a la alternancia negativa máxima.

tensión media ($V_{med.}$): media matemática de todas las tensiones instantáneas de medio ciclo de una onda senoidal.

tensión media cuadrática (efectiva) (V_{rms}): tensión que produce la misma cantidad de calor en un circuito resistivo puro que la producida por la misma tensión de CC.

tensión transitoria: pulso de tensión momentáneo y no deseable que varía en amplitud y nivel de energía según la fuente (bobina de solenoide o rayo) transitoria.

tensión: cantidad de “presión” eléctrica en un circuito; se mide en voltios (V) y puede ser continua (CC) o alterna (CA).

termómetro digital: dispositivo que se utiliza para mediciones de temperatura en circuitos con energía o en piezas en movimiento sin entrar en contacto con el punto de la medición y proporciona las lecturas en una pantalla digital.

transistor bipolar de puerta aislada (IGBT): dispositivo de tres terminales de estado sólido que se utiliza para conmutaciones rápidas de circuitos eléctricos.

trazado: línea que cruza la pantalla del osciloscopio portátil para mostrar las variaciones de amplitud de la señal en el tiempo.

V

variador de velocidad: unidad electrónica diseñada para controlar la velocidad de un motor mediante dispositivos en estado sólido.



Índice

Los números en cursiva hacen referencia a las figuras.

A

alternancias, 8, 31
amperaje de factor de servicio (SFA), 6
análisis de formas de onda, 86–90, 89
análisis de mediciones, 85, 87, 91, 91–92
analizadores de calidad eléctrica, 43, 44
ancho de banda, 45
armónicos, 79–80
Asociación Estadounidense de Fabricantes Eléctricos (NEMA), 13
aumento continuo, 11, 11–12
aumento de arranque, 11, 11–12
aumento, 11, 11–12, 12

B

barrido, 34
bloqueo, 25

C

caballo de potencia constante (CH), 16, 17
caballo de potencia, constante, 16, 17
caídas de tensión, 75, 76
cámaras termográficas, 48, 48
cambios de corriente, 6–8, 7
cargas inductivas, 35, 36
cargas lineales, 36, 37
cargas no lineales, 37, 38
cascos de seguridad, 26
categorías de medición de los instrumentos de medida (clasificación CAT), 26–29, 28
ciclos de trabajo, 5
ciclos, onda, 8, 30
circuitos de CA, 32

circuitos de CC, 31
circuitos del variador de velocidad de inversor, 72–73
clases de aislamiento del motor, 13, 13
clases de aislamiento, 13, 13
clasificación CAT, 26–29, 28
clasificación de corriente del motor, 4, 5, 5–6
clasificación de corriente, 5–6, 8
clasificación de potencia del motor, 2, 2–4
clasificación de potencia, 2, 2–4
clasificación de tensión del motor, 4, 4
clasificación de tensión, 4, 8
Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), 26
comprobadores de aislamiento, 47, 47
consumo de corriente del motor, 58
corriente, 31

D

desequilibrio de tensión, 79
disparo indeseado, 75
documentación del fabricante, 62–63
documentación, 85–90

E

ecología en la tecnología, 61
eficacia del motor, 4
eficiencia energética, 61
ejes horizontales (x), 33, 34
ejes verticales (y), 33, 34
equipo de protección individual (PPE), 26, 26
equipo inferior, 67
etiquetado, 25

F

factor de potencia, 3, 4, 4
 factores de cresta, 90, 90
 fallo de cojinete, 67
 fallo de motor, 66, 67
 fallo de rotor, 67
 fluctuaciones, 74
 formas de onda, 36–38, 37, 38
 formas de onda, registro y análisis, 86–90,
 88, 89, 90
 frecuencia de la línea, 8
 frecuencia de la portadora, 21
 frecuencia fundamental, 21
 frecuencia y tensión del motor, 11–12
 frecuencia y tensión, 11–12
 frecuencia y velocidad del motor, 8–11, 9
 frecuencia y velocidad, 8–11, 9
 frenado dinámico, 75
 funcionamiento monofásico, 66, 67, 68

G

gafas de seguridad, 26
 guantes aislados de goma, 26
 guantes de protección de piel, 26

H

hercio (Hz), 8

I

IEC, 26
 instrumentos de medida sin contacto, 48, 48
 instrumentos de medida, 26, 31–34, 39–48
 multímetros digitales avanzados, 40–42, 43
 multímetros digitales de uso general,
 39–40, 41
 comprobadores de aislamiento, 47, 47
 instrumentos de medida sin contacto, 48, 48
 osciloscopios portátiles, 44–46, 45, 46, 54
 analizadores de calidad eléctrica, 43, 44
 multímetros digitales estándar, 40, 42
 inversores PWM, 73, 73

L

listas de comprobación, 63, 64–65
 listas de comprobación para la solución de
 problemas, 63, 64–65
 longitud del cable, 22, 23

M

"muescas" de tensión, 78, 78
 "muescas", 78, 78
 mantenimiento preventivo, 61
 mantenimiento, preventivo, 61
 manuales de solución de problemas,
 61–63, 62
 manuales del fabricante del equipo original
 (OEM), 61–63, 62
 manuales, 61–63, 62
 mediciones de pruebas, 30, 30–39
 mediciones de tensión de pico, 59
 mediciones superpuestas, 35, 36
 mediciones, registro y análisis, 85, 87, 91,
 91–92
 modulación del ancho de pulso (PWM),
 20–21, 21, 22
 motores de arranque magnéticos, 17
 motores de CA, 1
 motores de CC, 1
 motores de corriente continua (CC), 1
 motores eléctricos, 1–13
 clasificación de corriente, 5–6, 8
 variadores, 17–23
 frecuencia y velocidad, 8–11, 9
 frecuencia y tensión, 11–12
 clasificación de aislamiento, 13, 13
 clasificación de potencia, 2–4
 tensión y corriente, 6–8, 7, 8
 clasificación de tensión, 4, 8
 motores trifásicos, 2
 muestreo, 45
 multímetros digitales avanzados, 40–42, 43
 multímetros digitales de uso
 general, 39–40, 41
 multímetros digitales, 30, 39–42, 41, 42, 43
 multímetros digitales, 31, 39–42, 41, 42, 43

N

niveles de solución de problemas, 49, 50

O

ondas reflejadas, 22
 ondas senoidales de CA, 30
 oscilación, 38
 osciloscopios de varios canales, 3, 6
 visualización, 34, 34
 medición con, 30, 30
 y solución de problemas, 46, 46
 osciloscopios portátiles de mano. *Consulte*
 osciloscopios portátiles
 osciloscopios portátiles, 3, 3, 6, 44–46, 45

P

pantallas de osciloscopio, 34
 pantallas protectoras, 26
 par constante (CT), 14, 16
 par de enganche (PUT), 13, 14
 par de plena carga (FLT), 13, 14
 par de rotor bloqueado (LRT), 13, 14
 par máximo (BDT), 13, 14
 par motor, 4, 13, 13
 par variable (VT), 14, 16
 par, 13, 13–17
 pérdida de señal, 38
 período (T), 8
 personas cualificadas, 26
 placas de características del motor, 2, 2, 5, 9
 polaridad, 31
 y mediciones avanzadas, 54
 análisis de salidas de PWM, 22, 22
 visualización, 18, 30, 34, 33–35, 35
 documentación de mediciones, 86
 poleas mal alineadas, 67
 potencia aparente, 3, 3
 potencia reactiva, 3, 3
 potencia real, 3, 3
 PPE, 25–26, 26
 problemas de calidad eléctrica, 67
 problemas de corriente de cojinete, 70–72

problemas de corriente de fuga, 71
 problemas de variador, 80
 problemas del variador de velocidad, 80
 procedimientos de solución de problemas, 49
 programación de parámetros, 10, 10, 18, 19
 programación de variadores de velocidad eléctricos, 10, 10, 18, 19
 programación incorrecta, 67
 proporción de voltios/hercios (V/Hz), 11, 72
 pruebas avanzadas, 53–54, 55
 pruebas de corriente, 53, 54
 pruebas de diagnóstico, 55, 59
 pruebas de investigación, 59
 pruebas de tensión, 51–53, 52
 pruebas eléctricas, 51–55
 puentes de diodos, 76–77

R

recorte de crestas, 76, 77
 reflexiones de sobretensión, 68, 68–70, 69
 regeneración del motor, 74–75
 registro de formas de onda, 86–90, 88
 registro de mediciones a lo largo del tiempo, 85, 87
 registro de mediciones, 91–92, 91,
 relación entre par, velocidad y caballos de potencia, 14, 15
 ropa ignífuga, 26
 ruido eléctrico, 71–72

S

ScopeMeters™. *Consulte* osciloscopios portátiles
 sección del bus CC, 20, 20
 sección del convertidor, 20, 20
 sección del inversor, 20, 20
 secciones principales de un variador, 20, 20
 seguridad, 25–30
 señales distorsionadas, 38
 señales recortadas, 38
 servicio de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, 56, 56–60

sistemas de fabricación de piezas discretas, 80–84
 sobrecargas, 67
 solución de problemas, 61–65, 62. *Consulte también* instrumentos de medida

T

taponos de oído, 26
 teclas de análisis, 86
 teclas de cursor, 86
 teclas de multímetro, 86
 teclas de osciloscopio, 86
 teclas de reproducción, 86
 teclas de zoom, 86
 tensión de CA, 32, 33, 33
 tensión de CC constante, 32
 tensión de CC de media onda, 31
 tensión de CC de onda completa, 31
 tensión de CC filtrada de onda completa, 31
 tensión de CC variable, 31
 tensión de CC, 30, 31
 tensión de pico, 32
 tensión media, 32, 33
 tensión pico a pico, 32, 33
 tensión transitoria, 38
 tensión, 6–8, 7, 8, 31
 termómetros digitales, 48, 48
 tipos de carga, 14, 16
 tipos de mediciones, 29
 transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), 66, 73, 73
 transitorios, 38, 74
 trazado de osciloscopio, 34
 trazado, 33, 34

V

valores de corriente de CA, 32, 33
 valores de media cuadrática (efectivos), 32, 33
 valores de tensión, 32, 33
 variador de velocidad incorrecto, 67
 variadores de seis pasos, 72–73, 78
 variadores de velocidad eléctricos, 17–23
 longitud del cable de, 22, 23
 y visualización de averías, 20
 funciones de, 17–20
 secciones principales de un variador, 20, 20
 programación de parámetros, 10, 10, 18, 19
 y modulación del ancho de pulso (PWM), 20–21, 22, 23
 variadores de velocidad, 9, 17–23. *Consulte también* variadores de velocidad eléctricos
 variadores, motor eléctrico. *Consulte* variadores de velocidad eléctricos
 visualización de averías, variadores de velocidad, 20
 visualización del funcionamiento, osciloscopios portátiles, 18
 visualización del funcionamiento, variadores de velocidad, 19