

## Aplicación de herramientas de prueba portátiles para el mantenimiento proactivo

### Nota de aplicación

El tiempo de inactividad no planificado provocado por fallas de los equipos les cuesta a los fabricantes hasta el 3% de los ingresos cada año. Esto es un 30% menos de ganancias, es decir, 30 millones de dólares de ahorro potencial que irían directamente al balance final de la empresa, para un fabricante de 1000 millones con un ingreso neto de 100 millones. En una época de competitividad extrema, nadie puede permitirse que esa cantidad de dinero se escape entre sus dedos.

El mantenimiento proactivo, es decir, medir los indicadores clave en equipos importantes para descubrir fallas inminentes y luego programar el mantenimiento *antes* de que ocurran las fallas o haya tiempo de inactividad de los equipos, es mucho más rentable y eficiente que esperar a realizar el mantenimiento cuando ocurran las fallas.

Para implementar un programa de mantenimiento proactivo, es importante saber no solo qué equipo necesita reparación, sino también el *origen* de las fallas inminentes. El uso de herramientas de prueba para medir los indicadores clave del equipo principal ayuda a los técnicos a descubrir los orígenes de las fallas.

El mantenimiento proactivo con tiempo de inactividad planificado permite a los gerentes de mantenimiento:

- Minimizar la cantidad de tiempo que una instalación está fuera de servicio.
- Hacer el mejor uso del personal.
- Tener a mano los repuestos necesarios para realizar las reparaciones.

Esta nota de aplicación describe el uso de las siguientes herramientas de prueba para hacer mediciones, hacer seguimiento del estado del equipo a lo largo del tiempo y diagnosticar condiciones de fallas:

- Multimetros digitales
- Pinzas amperimétricas
- Termómetros infrarrojos



Multímetro digital

- Medidores de resistencia de aislamiento
- Cámaras termográficas
- Medidores de vibraciones

### Ahorros en el costo del mantenimiento proactivo

Según el Programa Federal de Gestión de la Energía en [www1.eere.energy.gov/femp/program/om\\_predictive.html](http://www1.eere.energy.gov/femp/program/om_predictive.html), los siguientes son ahorros promedio de los programas de mantenimiento predictivo industrial:

Ahorros promedio de los programas industriales de mantenimiento predictivo	
Retorno de la inversión	Hasta un 1000 %
Reducción de los costos de mantenimiento	Del 25 al 30 %
Eliminación de averías	Del 70 al 75 %
Reducción del tiempo de inactividad	Del 35 al 45%
Aumento de la producción	Del 20 al 25 %

## Integración de herramientas y programas

Los programas de mantenimiento proactivo varían desde programas muy sofisticados, con seguimiento en línea continuo y alertas automatizadas, hasta programas más tradicionales que dependen de rutas de inspección y mediciones manuales.

Las herramientas de supervisión también varían en complejidad,

desde termómetros digitales puntuales por infrarrojos, pasando por cámaras termográficas, analizadores de vibraciones y herramientas de calidad de la energía, hasta sensores en red con conexión permanente. Las herramientas de investigación varían de multimetros digitales portátiles, pinzas amperimétricas y medidores de resistencia al aislamiento hasta medidores especializados para circuitos de motores.

Muchas instalaciones realizan combinaciones, según el equipo y la escala de las operaciones. La diferencia radica en que estos técnicos están cambiando el uso tradicional de las herramientas de solución de problemas para los programas de medición del mantenimiento proactivo.

## Mediciones con herramientas de prueba portátiles

Equipo	Indicadores clave	Medida	Herramienta de prueba
UPS/PDU	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activación intermitente</li> <li>Interrupciones del proceso</li> </ul>	Tensión RMS, corriente RMS, frecuencia (Hz), resistencia de la conexión, lecturas del registro de datos a lo largo del tiempo en busca de anomalías	IR, DMM, TI
Transformador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calor</li> <li>Zumbidos</li> </ul>	Temperatura, impedancia con conexión a tierra neutral, equilibrio de tensión, equilibrio de corriente, conexiones sueltas	IR, DMM, CM, TI
Paneles/conmutadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activación intermitente</li> <li>Disyuntores calientes</li> </ul>	Equilibrio de tensión, equilibrio de corriente, lecturas del registro de datos a lo largo del tiempo en busca de anomalías, conexiones sueltas, temperatura	IR, DMM, CM, TI
Controles (el VFD se desconecta)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anomalías del proceso</li> <li>Cambio en el rendimiento del sistema</li> </ul>	Equilibrio de tensión, equilibrio de corriente, corriente de entrada, caídas de tensión, resistencia de la conexión, lecturas del registro de datos a lo largo del tiempo en busca de anomalías	IR, DMM, CM, TI
Paneles de iluminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parpadeo de luces</li> <li>Zumbidos</li> </ul>	Equilibrio de tensión, equilibrio de corriente, corriente de entrada, caídas de tensión, resistencia de la conexión, lecturas del registro de datos a lo largo del tiempo en busca de anomalías.	IR, DMM, CM, TI
Motores y otros equipos (cajas de cambios, bombas, ventiladores, enfriadores, unidades de aire acondicionado, generadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calor</li> <li>Activación intermitente</li> <li>Ruido</li> <li>Vibración visible o medida</li> </ul>	Corriente de entrada, resistencia de aislamiento a la conexión a tierra, temperatura, clasificación de la placa de identificación, sobrecarga, equilibrio de tensión, equilibrio de corriente, resistencia, condensador de conexión del arranque del motor, desalineación mecánica, desequilibrio, holgura mecánica, mala condición de rodamientos	IR, IRT, DMM, CM, IRT, TI, VIB

**Leyenda:** termómetro infrarrojo (IR), multimetro digital (DMM), medidor de resistencia al aislamiento (IRT), pinza amperimétrica (CM), termografía (TI), vibración (VIB).

**Nota:** Estas recomendaciones no son un conjunto completo de mediciones de mantenimiento proactivo.

## Directrices de medición

Las mediciones de mantenimiento proactivo no son tan diferentes de las pruebas de solución de problemas. Buscará señales de posibles fallas, así que tomará las mediciones relacionadas con los modos de falla.

1. Para cada tipo de equipo, identifique las posibles fallas y los indicadores clave asociados.
2. Determine qué medidas pueden reducir la posibilidad de problemas.
3. Determine con qué frecuencia debe medir las necesidades del equipo.
4. Recopile y realice seguimiento a los resultados, espere las tendencias e inicie las reparaciones necesarias.
5. Integre todas sus tecnologías de mantenimiento en un sistema computarizado de seguimiento de datos, de modo que compartan las mismas listas de equipos, historiales, informes y órdenes

de trabajo. Cuando los datos se correlacionan con todas las tecnologías utilizadas, las condiciones de funcionamiento de todos los bienes pueden analizarse y publicarse en un formato integrado.

### Resistencia del aislamiento a la conexión a tierra

**Precaución: Antes de realizar pruebas al cableado y los motores, desconecte los controles electrónicos; la aplicación errónea de equipos de prueba de alta tensión puede destruirlos.**

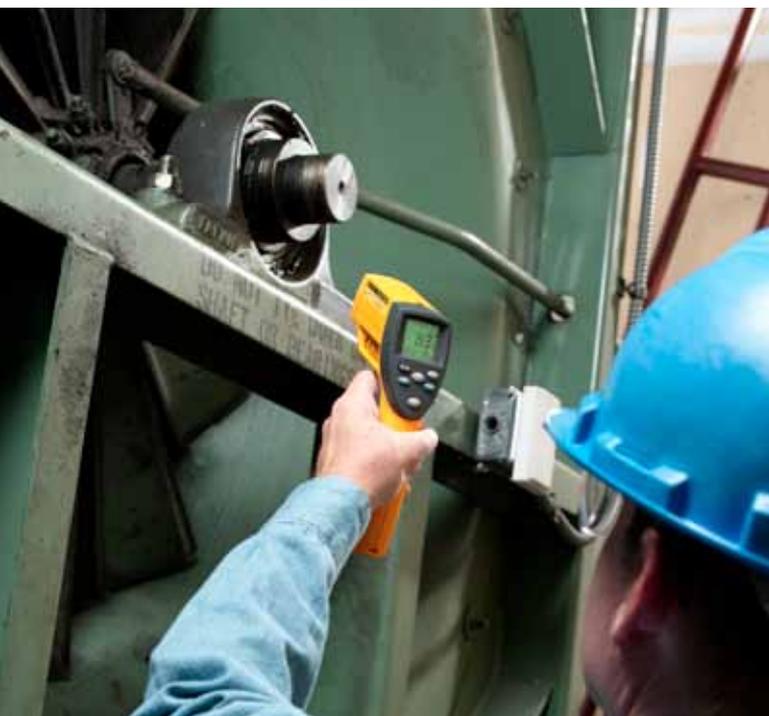
Realizar periódicamente las siguientes pruebas de resistencia al aislamiento en las cargas y las conexiones puede ayudar a detectar problemas inminentes del equipo.

- La línea de pruebas de conexión a tierra y los circuitos de carga en el motor de arranque identificarán la resistencia a la conexión a tierra del motor de arranque, los circuitos de línea a la desconexión

y las líneas de carga a los devanados del motor y motor de arranque.

- Umbrales generales: los dispositivos de corriente alterna pueden funcionar con seguridad a no menos de dos megaohmios a tierra y los dispositivos de corriente continua pueden funcionar con seguridad a no menos de un megaohmio a tierra.
- Cuando se mide la resistencia de un motor trifásico entre las patas de carga del motor de arranque, debe ver una alta resistencia y mediciones aproximadamente equivalentes entre las fases.

**Nota:** Las pruebas de resistencia del aislamiento a la conexión a tierra realizadas con un medidor de resistencia de aislamiento requieren desconectar los componentes o el cableado que se probará desde el sistema de alimentación. Recuerde que debe incorporar este requisito al tiempo de inactividad planificado.



Termómetro infrarrojo

## Temperatura

Los termómetros infrarrojos son una opción de supervisión de bajo costo para realizar mediciones rápidas y frecuentes de componentes específicos mientras el equipo está en funcionamiento. Utilice el conocimiento de los equipos para identificar los principales puntos calientes a los cuales hacer seguimiento, compare las lecturas de temperatura con los límites operativos y observe las tendencias alcistas.

Por ejemplo, explore las carcasas de los rodamientos en motores, los interruptores en los paneles de los disyuntores y las conexiones del cableado en todo el equipo. Para obtener las mejores mediciones, acérquese lo más que pueda al objetivo mientras sea seguro, asegúrese de no medir una superficie reflectante y compense la capacidad de emisiones.

## Imágenes termográficas

Las herramientas de creación de imágenes térmicas juegan un papel clave como herramientas de detección en un programa de mantenimiento proactivo. Puede usarlas para medir y comparar rápidamente las señales de calor de cada pieza de un equipo en la ruta de inspección, sin interrumpir las operaciones. Con una cámara termográfica, puede estudiar rápidamente un área mucho mayor a la de un termómetro infrarrojo, y ver cómo las temperaturas de las distintas áreas se relacionan entre sí.

Si la temperatura o el patrón térmico son muy diferentes a las lecturas anteriores, puede utilizar otras tecnologías de mantenimiento (análisis de vibraciones, análisis de circuitos del motor, ultrasonido aéreo, análisis de lubricantes) con el fin de evaluar la gravedad del problema y el tiempo de reparación necesario.

## Aplicaciones de las cámaras termográficas

- Supervisión y medición de la temperatura y la condición de los rodamientos en motores grandes u otros equipos rotativos.
- Identificación de "puntos calientes" o "puntos fríos" en equipos electrónicos.
- Identificación de fugas y determinación de los niveles de fluidos en tanques y contenedores sellados.
- Búsqueda de aislamientos defectuosos en tuberías u otros procesos aislados.
- Búsqueda de conexiones defectuosas en circuitos eléctricos de alta potencia.
- Localización de disyuntores sobrecargados en un panel de potencia.
- Identificación de fusibles que alcanzaron o se encuentran cerca de su capacidad nominal de corriente o que no están instalados correctamente.
- Identificación de problemas en el dispositivo de conmutación eléctrica.
- Captura de lecturas de temperatura de procesos.
- Ejecución de otros procesos de solución de problemas específicos del equipo y diagnósticos.



Cámara termográfica



Medidor de vibraciones

### Pruebas de vibración

La mayoría de los equipos industriales están diseñados para funcionar sin problemas y con mínima vibración, de modo que cuando existe vibración, es generalmente un indicio de problemas o deterioro de la condición del equipo. A medida que cambian las condiciones dentro de la maquinaria, a menudo la cantidad de vibración también cambia. Si no se corrigen las causas subyacentes, estas vibraciones no deseadas por sí solas pueden provocar daños adicionales.

Por lo general, los datos de vibración se recopilan usando un dispositivo de recopilación de datos electrónico y un acelerómetro. Las medidas se toman al colocar el acelerómetro cerca de cada ubicación del rodamiento, junto al tren de mando, mediante el uso del método de conexión más apropiado (por ejemplo, un montaje magnético o una superficie de montaje). Debe asegurarse de que el sensor esté colocado correctamente para recopilar datos de buena calidad.

### Consejos rápidos

- Coloque el sensor lo más cerca posible del rodamiento, o en un elemento sólido de la estructura en contacto con el rodamiento.
- La posición del sensor debe ser paralela o perpendicular al piso, siempre que sea posible.

- Evite montar el sensor en superficies delgadas (como cubiertas del ventilador) y aletas de refrigeración.
- Si es posible, fije el sensor a una superficie metálica limpia, plana y sin otros elementos. Las capas gruesas de pintura, grasa, aceite u otras sustancias reducen tanto la fuerza de sujeción del imán como la respuesta de alta frecuencia del sensor.
- Si es posible, tome medidas en ambos extremos del motor.
- Para obtener datos uniformes a lo largo del tiempo, es importante colocar el acelerómetro en el mismo lugar de la máquina cada vez que tome una medida.
- No tome mediciones de rodamientos desde una bancada o base fabricada.
- En las bombas, no confunda las posiciones de los sellos de la ubicación de medición de un rodamiento.

La vibración de un tren de mando puede cambiar en función de la carga y la temperatura del motor. La única excepción a esta regla son las máquinas que tienen ejes de mando desalineados. Es recomendable que tome mediciones de las vibraciones cuando la máquina está funcionando en un **estado estable y con la temperatura de funcionamiento normal**. Las máquinas probadas mientras están frías pueden tener vibraciones significativamente diferentes a aquellas detectadas con la temperatura normal de funcionamiento, ya que la temperatura afecta la alineación del eje y las distancias de operación debido a la expansión térmica. En el caso de las bombas, la cavitación, la ingestión de aire o la presión de descarga afectan las lecturas de las vibraciones, y las bombas no se deben probar con las válvulas de descarga cerradas; no obstante, si se deben probar en una condición de recirculación, la válvula de recirculación puede estar parcialmente cerrada para lograr una presión de descarga normal.

Cuando los datos se han recopilado, se deben analizar para determinar el origen, la ubicación y la gravedad de las fallas. Se recomienda consultar con un profesional capacitado o considerar la posibilidad de usar el medidor de vibraciones Fluke 810 para extraer indicadores significativos del estado de la máquina.

Si se usa habitualmente, como parte de un programa de mantenimiento proactivo, el equipo de medición de vibraciones puede, por lo general, identificar posibles problemas mecánicos semanas, sino meses, antes de una falla catastrófica.

### Resistencia

**Precaución: Las mediciones de resistencia se deben realizar con el circuito apagado. De lo contrario, el medidor o el circuito podrían dañarse.**

Un multímetro digital puede comprobar la resistencia a través de la mayoría de las conexiones. Las lecturas de resistencia alta pueden ser una señal de conexiones degradadas, lo que puede causar una tensión de suministro reducida, activaciones indebidas y posibles fallas en el equipo.

- Los multímetros digitales de alta resolución también pueden medir la resistencia a través del relé y los contactos del disyuntor. La resistencia aumenta a medida que los contactos se degradan.
- Los termómetros infrarrojos también pueden identificar conexiones de alta resistencia, que se presentan como puntos calientes cuando se comparan con una buena conexión.

**Notas sobre multímetros digitales:** La mayoría de los multímetros digitales miden hasta un mínimo de 0,1 ohmio y algunos miden hasta 300 megaohmios. Para lograr mediciones de baja resistencia precisas, utilice la función REL del multímetro digital para eliminar la resistencia del cable de prueba.



Medidor de resistencia de aislamiento de megaohmios

## Corriente CC y CA

**Precaución:** Después de medir la corriente con un multímetro digital, no olvide mover los cables de medición de vuelta a sus conexiones de medición de tensión antes de tratar de medir la tensión.

Las cargas pueden consumir una corriente ligeramente mayor a medida que envejecen. Medir regularmente la corriente puede ayudarlo a rastrear la confiabilidad del equipo. Use una pinza amperimétrica o un multímetro digital combinado con una pinza de corriente para medir la corriente.

## Equilibrio de tensión

Un desequilibrio de tensión mayor al 2 % puede reducir el rendimiento del equipo y causar una falla prematura. Use el multímetro digital para comprobar si en las fases existen caídas de tensión en la protección y si el disyuntor entrega energía desde el servicio público y al equipo de alta prioridad.

El desequilibrio de tensión se puede calcular con las siguientes fórmulas:

$$\text{tensión promedio} = (\text{tensión fase 1} + \text{tensión fase 2} + \text{tensión fase 3})/3$$

$$\text{Desequilibrio de tensión porcentual en fase 1} = ((\text{tensión fase 1 promedio})/\text{tensión promedio}) \times 100$$

**Nota:** Las caídas de tensión en los fusibles y los interruptores pueden también aparecer como desequilibrio en el motor y exceso de calor en el punto del problema de raíz. Antes de suponer que encontró la causa, compruebe nuevamente con un termómetro.

## Equilibrio de corriente

Otra causa para el sobrecalentamiento del equipo es el desequilibrio de corriente. Use una pinza amperimétrica o una pinza de corriente CA con el multímetro digital y así compruebe el consumo de corriente en cada una de las tres patas. Para determinar la corriente promedio, sume la corriente de las tres fases y divida entre tres. A continuación, calcule el porcentaje de desequilibrio al restar el valor real de una pata a la corriente promedio, luego divida entre la corriente promedio y multiplique por 100. Más del 10% de desequilibrio de corriente puede ser un problema.

$$\text{corriente promedio} = (\text{corriente fase 1} + \text{corriente fase 2} + \text{corriente fase 3})/3$$

$$\text{Desequilibrio porcentual en fase 1} = ((\text{corriente fase 1 promedio})/\text{corriente promedio}) \times 100$$

## Corriente de arranque

Si un motor no funciona correctamente o si el circuito se activa inesperadamente, compruebe la corriente de entrada en el inicio con una pinza amperimétrica o un multímetro digital diseñado para captar corriente de entrada. La corriente de entrada puede alcanzar hasta doce veces la corriente de funcionamiento normal (mucho más alta que la clasificación del disyuntor), sin activar el disyuntor, siempre y cuando el circuito no esté sobrecargado. La evaluación de la corriente de entrada depende de las comparaciones de las mediciones de entrada realizadas a lo largo del tiempo para ese motor.



Pinza amperimétrica

## Seguridad y requisitos de clasificación de la herramienta de prueba

Antes de empezar a utilizar el multímetro digital u otras herramientas de prueba para el mantenimiento proactivo, asegúrese de entender las limitaciones de la herramienta y las precauciones de seguridad asociadas.

- Elija un multímetro digital con clasificación de 1000 V CAT III/600 V CAT IV, así como una pinza amperimétrica de 600 V CAT III.
- Para los multímetros digitales, busque rms verdaderas, resistencia de 0,1 ohmios o menos, prueba de capacitancia a 9999 microfaradios y frecuencia. Si va a hacer un seguimiento de los datos en el tiempo, obtenga un multímetro digital con capacidades de registro de datos o eventos y valores mínimos y máximos rápidos, memoria suficiente, baterías de vida útil prolongada, un puerto óptico y software para descargar los resultados de las mediciones a la computadora.
- Para los motores industriales y comerciales comunes, elija un medidor de resistencia de aislamiento con un mínimo de 500 V de salida y mediciones de resistencia hasta varios gigaohmios.
- Determine cuán cerca puede pararse con seguridad del equipo durante las mediciones de temperatura y use eso para determinar qué relación de distancia al punto debe admitir el termómetro infrarrojo. Una relación de distancia al punto de 50:1 le permite medir con precisión dentro de 2,5 metros, en función de la capacidad de emisiones del objetivo.
- Asegúrese de que la clasificación de tensión de las sondas de prueba coincidan con el entorno de prueba. Por lo general, las pruebas de resistencia de aislamiento requieren sondas de alta tensión, al igual que algunas pruebas del multímetro digital.
- Si debe tomar medidas con corriente en un entorno trifásico, use el equipo de protección personal (EPP) adecuado, use el método de prueba de tres puntos y si fuera posible, mantenga una mano en el bolsillo para evitar la transferencia de corriente.

### Método de prueba de tres puntos:

1. Pruebe un circuito con corriente que conozca.
2. Pruebe el circuito de prueba.
3. Pruebe nuevamente el circuito con corriente.

Esto verifica que el medidor funcionó correctamente antes y después de la medición, y garantiza que sabe si el circuito tiene corriente.

**Fluke.** *Manteniendo su mundo en marcha.*®

**Fluke Corporation**  
Everett, WA 98206 EE.UU.

**Latin America**  
Tel: +1 (425) 446-5500  
Web: [www.fluke.com/laam](http://www.fluke.com/laam)

**Para obtener información adicional póngase en contacto con:**

En EE. UU. (800) 443-5853 o  
Fax (425) 446-5116  
En Europa/Medio Oriente/África  
+31 (0)40 267 5100 o  
Fax +31 (0)40 267 5222  
En Canadá (800)-36-FLUKE o  
Fax +1 (425) 446-5116  
Acceso a Internet: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

©2005-2011 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos. Información sujeta a modificación sin previo aviso. 5/2011 2428172C\_LAES

**No está permitido modificar este documento sin autorización por escrito de Fluke Corporation.**