



# Capítulo 2

## Tecnologías de Monitoreo de Condición

## *Temas:*

- Ultrasonido
  - Termografía infrarroja
  - Pruebas de motores eléctricos
  - Análisis de aceite
  - Análisis de partículas de desgaste
  - ¿Qué tecnologías utilizar?

## Introducción

A menudo, los términos “monitoreo de condición” y “mantenimiento basado en condición” se utilizan indistintamente. En realidad, no significan lo mismo. “Monitoreo de condición” es el acto de determinar el estado de una máquina. A menudo se utiliza en un sentido reactivo – cuando se determina que una máquina pronto fallará el grupo de mantenimiento tiene que reaccionar y lidiar con el fallo. “Mantenimiento basado en condición” (también conocido como “mantenimiento predictivo”) implica una estrategia de mantenimiento que realiza el mantenimiento basado en la condición, No cuando ha transcurrido un intervalo predefinido (mantenimiento preventivo) o cuando el activo ha fallado funcionalmente (mantenimiento reactivo).

En última instancia, utilizamos el monitoreo de condición para que podamos:

- Minimizar el tiempo de inactividad
- Reducir costos
- Mejorar la seguridad
- Aumentar la confianza en la capacidad de proporcionar servicio a los clientes: productos, aguas residuales, defensa (Navy), etc.

¡Pero no basta con controlar la condición!

1

### *Monitoreo de condición ≠ Mantenimiento basado en la condición*

El hecho de que una organización realice monitoreo de condición no significa que practique el mantenimiento basado en condición. Muchos utilizan el monitoreo de condición en modo reactivo y muchos utilizan monitoreo de condición en equipos que forman parte de un programa de mantenimiento preventivo (basado en intervalos). ¡Estas organizaciones están perdiendo una gran oportunidad!

Estamos haciendo todo lo posible para hacer esta distinción porque muchas instalaciones han adoptado tecnologías de monitoreo de condición pero no han reescrito sus acciones de mantenimiento preventivo para tener en cuenta la nueva tecnología. Una persona recopila y analiza los datos de vibración, pero otra persona reemplaza los rodamientos porque la acción PM apareció en el calendario y les dijo que lo hicieran. O en otro caso, el analista sabe que una máquina crítica está al borde del fallo, pero una gran ejecución de producción está programada sin interrupción planificada porque las personas que programan la producción no conocen el estado de la máquina crítica. No existe ninguna infraestructura de informes.

El verdadero mantenimiento basado en condición tiene una filosofía de mantenimiento basado únicamente en la condición: no realizan el mantenimiento basado en intervalos en los mismos activos.

**2**

## *Monitoreo de condición no lo hace mejorar la condición*

También debemos usar el monitoreo de condición para detectar las causas raíz de la falla del equipo y eliminar esas causas raíz.

Cuando medimos la vibración, la corriente del motor y la temperatura (radiación infrarroja) aprendemos sobre la salud, pero no la mejoramos. Seguimos reaccionando a la mala salud.

Si detectamos desbalances, contaminación del lubricante y grasa insuficiente, y corregimos esos problemas, entonces mejoramos la confiabilidad. Retrasamos la aparición de fallas en el rodamiento y engranaje.

**3**

## *Busca eliminar todas las causas raíz de falla de equipos*

Podemos ir más allá y tratar de eliminar proactivamente las causas profundas. En lugar de esperar hasta que detectemos la contaminación, por ejemplo, podemos ser proactivos y asegurarnos de que nunca se contamine en primer lugar. Podemos eliminar las causas profundas de la falla del equipo usando, entre otras:

- Alineación, balanceo y fijación de precisión
- Lubricación de precisión
- Operar el equipo en una ventana de funcionamiento óptima
- Mejoras en el diseño y la adquisición
- Pruebas de aceptación
- Gestión adecuada de repuestos y planificación/programación

## Ultrasonido (ultrasonido aerotransportado y estructural)

Los equipos rotativos y otros activos de la planta emiten sonidos de alta frecuencia que proporcionan pistas sobre posibles problemas. Las pruebas por ultrasonido son una tecnología útil para una variedad de aplicaciones.

- Excelente herramienta para encontrar fugas de aire
- Una buena herramienta para encontrar fugas de vapor en trampas de vapor
- Bueno para encontrar fallas de rodamientos, holgura y otras fallas
- Los problemas de lubricación (grasa) se pueden detectar y corregir
- Se puede utilizar para detectar fallas eléctricas

### Cómo funciona

El oído humano sólo puede detectar sonido en el rango de frecuencia sónica de 20 Hz a 20,000 Hz. Los sonidos por encima de este rango se conocen como “Ultrasónicos”, lo que significa que por encima de la capacidad auditiva humana.

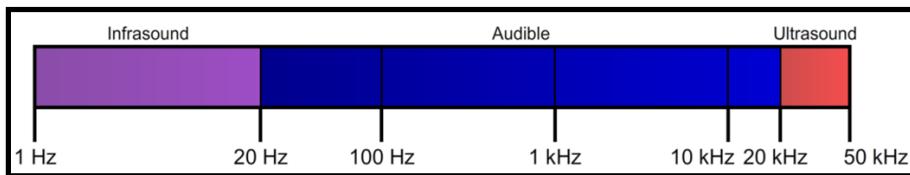


Figura 2-1 Sonido categorizado en 3 regiones; Sub-sónica o “infrasónica”, rango Sónico o “audible”, y rango Ultrasónico.

El sensor de ultrasonido se utiliza para medir la señal y la demodula a un rango de frecuencia dentro del rango auditivo humano.

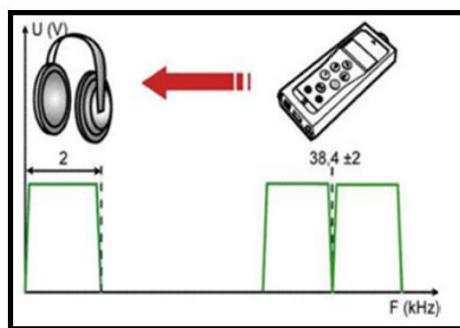


Figura 2-2 Frecuencias de ultrasonido convertidas a un rango audible

Algunas consideraciones en el uso de la tecnología de ultrasonido:

- Los sonidos son direccionales y el sensor en el “arma” es muy direccional. Por lo tanto, las fuentes de los sonidos se pueden localizar (pero se puede perder fácilmente).
- El volumen depende de la distancia desde el origen.
- Los sonidos viajan a través del aire, líquidos y objetos sólidos, pero no a través del vacío.

Hay dos modos de detección de sonidos ultrasónicos: en el aire, y el contacto directo. El sensor aerotransportado típico o “pistola” tiene un extremo abierto que es bueno para escanear áreas cercanas. Para las distancias, se utiliza un plato cóncavo similar en estilo a una antena parabólica. El plato refleja el sonido del sensor en el centro.



Figura 2-3 Un “disco” captura sonidos a distancia

Un sistema típico de “contacto directo” hace contacto con la superficie del equipo para proporcionar una mejor transmisión del sonido de alta frecuencia.

Los datos de ultrasonido se pueden escuchar a través de auriculares, lo que es muy útil cuando se buscan fugas y se detectan fallas en entornos ruidosos.



Figura 24 Sensor de contacto directo utiliza un equipo para capturar sonidos

Nota: El sonido también se puede medir y mostrar en unidades dB en pantallas de forma de onda y espectros.

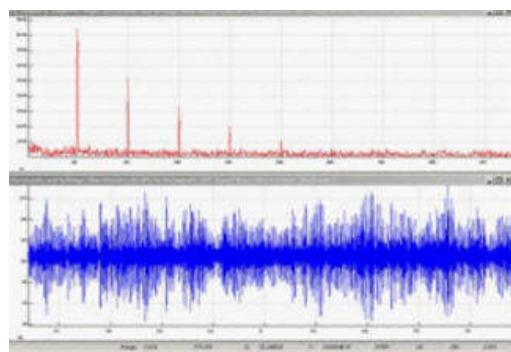


Figura 2-5 Espectro y forma de onda de ultrasonido

### **Fugas de aire**

Las fugas de aire son las fugas de servicios básicos más costosas en manufactura. La turbulencia de las fugas crea ruido blanco con un fuerte componente ultrasónico. Los instrumentos ultrasónicos identifican fugas de gas presurizado y vacío independientemente del ruido de fondo ambiental. Encontrar y corregir fugas puede ahorrar cientos de miles de dólares al año.

Un programa de mantenimiento de aire comprimido incluye una inspección completa de las aerolíneas de tres a cuatro veces al año. Las fugas se etiquetan cuando se detectan para que se puedan realizar acciones. Las inspecciones periódicas garantizan que se encuentren nuevas fugas y confirmar que se repararon las fugas etiquetadas de revisiones anteriores.

Conozca el sistema: familiarice a todos con el suministro, el lado de la demanda, el número de compresores, las presiones de funcionamiento y cualquier adición al sistema desde que se instaló. Asegúrese de que el usuario del equipo esté debidamente certificado y entrenado por un entrenador de buena reputación. Busque, etiquete, repare y vuelva a comprobar el área de

fugas con el detector ultrasónico. Recuerde que la persona que realiza la reparación puede no ser la misma persona que la etiquetó. También es posible que una nueva fuga fue creada mientras la anterior estaba siendo reparada. Documente todo.



Figura 2-6 Fugas de aire emiten altas frecuencias

### ***Caldera, intercambiador de calor y fugas de condensador***

Busque fugas externas de presión o vacío en calderas e intercambiadores de calor y condensadores. Todas las conexiones de tuberías, bridas, sellos y puertas de acceso deben inspeccionarse como parte de los PM regulares. Escuche el mismo sonido que se asocia con el gas comprimido y las fugas de aire. Las fugas de tubos en condensadores e intercambiadores de calor se pueden comprobar mediante el método de presión, el método de vacío o el método de transmisor bi-sónico. Elija el método que mejor se adapte a su aplicación para ahorrar tiempo valioso de inspección.



Figura 2-7 Haga barrido con el micrófono para detectar la fuga.

Haga un barrido con el micrófono por el área para detectar la fuga. Haga un barrido lado a lado y arriba abajo.

### **Detección de trampas de vapor defectuosas**

Las trampas de vapor se abren ocasionalmente. Esta apertura y cierre produce un sonido muy distinto del flujo normal. Una sonda de contacto directo es ideal para escuchar el funcionamiento correcto. Debe haber un sonido constante interrumpido por la apertura y el cierre distintivos de la válvula. Si el sonido es un sonido de aleteo continuo, no funciona correctamente. Un sonido constante indica que la trampa está atascada en la posición abierta.

Si la trampa de vapor está atascada, desperdicia cientos o miles de dólares. Genera exceso de vapor en el sistema que crea contrapresión y causa fallas en otras trampas de vapor.



Figura 2-8 Revisando una trampa de vapor con sensor de contacto directo

Cuando la trampa de vapor está cerrada, produce un sonido de martillo de agua. En climas fríos, la línea puede congelarse causando la rotura de la tubería o la trampa.

Hay cuatro tipos comunes de trampas de vapor, y todos trabajan para eliminar las impurezas del sistema de vapor.

Los cuatro tipos se conocen como:

- Cubeta invertida
- Flotadora y Termostática
- Termostática
- Termodinámica o disco

Las trampas funcionan en uno de los tres modos operativos.

- Cambio en la densidad
- Cambio de temperatura
- Cambio en la velocidad

### ***Ultrasonidos y problemas eléctricos***

El monitoreo ultrasónico se puede utilizar para detectar arcos, efecto corona, descargas y otras condiciones de línea, como las que se encuentran en:

- Centros de control de motores
- Paneles de interruptores
- Líneas eléctricas
- Conexiones
- Descomposición del aislamiento
- Conexiones incorrectas o rotas



Figura 2-9 Ultrasonido es una buena elección para monitoreo de líneas de distribución

El ultrasonido es una de las mejores opciones para inspecciones eléctricas de líneas de transmisión y distribución, inspecciones de subestaciones, cuartos de interruptores, transformadores, corona, arco y descargas. Los sonidos asociados con freír, estallar o zumbar son característicos de estas fallas.

### ***Lubricación***

Los rodamientos que se sobre-lubrican pueden dañar los sellos, aumentar las presiones internas y causar fallas prematuras. De hecho, el engrase excesivo es una de las principales causas de falla en los rodamientos. Sobre-engrasar un motor eléctrico puede empujar el lubricante en los bobinados causando cortocircuitos y daños más graves.



Figura 2-10 Sensores de contacto directo son útiles para detección de problemas en rodamientos

Baja lubricación de los rodamientos también es responsable de un gran número de fallas. La lubricación demasiado baja da lugar a una fricción interna que genera frecuencias superiores a 30 kHz que se pueden detectar con ultrasonido.



Figura 2-11 La fricción genera energía ultrasónica

Si demasiada lubricación es un problema y muy poca lubricación es un problema ¿cómo sabemos cuánto es la cantidad correcta? La tecnología ultrasónica se puede utilizar para monitorear el rodamiento a medida que se le añade grasa. Los sonidos de fricción se pueden controlar a través de auriculares a medida que la grasa se bombea en el rodamiento y el ruido se reduce sustancialmente a medida que la grasa llega al rodamiento. En otras palabras, puede oír cuando el rodamiento está suficientemente lubricado.

En este punto, se puede recopilar una lectura de dB RMS del rodamiento. El valor indica la cantidad de energía ultrasónica que emite el rodamiento cuando se lubrica correctamente. Lecturas RMS similares se pueden capturar en el futuro en el mismo rodamiento y hacer tendencias. Una regla general es que cuando el valor RMS aumenta en 10 dB desde su línea de base, es el momento de engrasar el rodamiento de nuevo. Por lo tanto, la tecnología de ultrasonido se puede utilizar para definir un régimen de lubricación basado en condición. El entrenamiento es necesario para asegurarse de que este método se utiliza correctamente.

En la imagen de abajo se puede ver el cambio en la energía ultrasónica a como el rodamiento se está lubricando. Esta es una forma de onda de tiempo de la señal de ultrasonido.

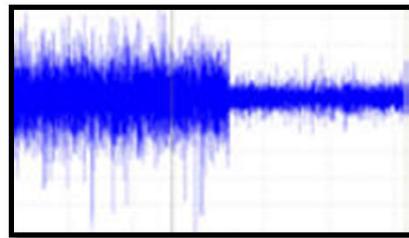


Figura 2-12 Captura de energía ultrasónica durante la lubricación

### **Detección de fallas mecánicas**

El ultrasonido se puede utilizar para detectar el desgaste temprano de los rodamientos en equipos rotativos como cajas de engranajes, bombas, motores y compresores. Los valores se pueden usar en tendencias para detectar cambios que pueden ser un indicador de alerta temprana.

Al pasar los elementos rodantes por defectos, dan un golpe en las pistas, lo que crea pulsaciones de alta frecuencia por los impactos. Estos pueden ser detectados con equipos de ultrasonido y proporcionan una advertencia muy temprana de daños muy leves en los rodamientos.

El monitoreo con ultrasonido debe ser una parte integral del programa de monitoreo de condición

### **Ventajas:**

Los equipos ultrasónicos no son caros y no son difíciles de operar.

- A menudo se utiliza para detectar una falla, mientras que otras tecnologías se utilizan para realizar un seguimiento y determinar la severidad.
- Su direccionamiento es lo que permite la localización de fallas particulares, especialmente fugas.
- Es útil en entornos de alto ruido.
- Se puede utilizar en las horas pico de producción
- Se integra con otras tecnologías de mantenimiento predictivo (PdM)

## Puntos clave

- FI Instrumento convierte frecuencias muy altas en sonidos que se pueden escuchar.
- FI El uso principal es para escuchar signos de fallas, pero se pueden capturar lecturas de amplitud y formas de onda.
- FI Se puede utilizar en aplicaciones de contacto y en el aire.
- FI Las características clave incluyen:
  - o Direccional
  - o Los sonidos viajan a través de objetos físicos (a diferencia de los infrarrojos)
  - o Es útil en entornos de alto ruido
- FI Las aplicaciones incluyen:
  - o Detección de problemas de rodamientos y lubricación
  - o Detección de fugas de vapor, aire y gas
  - o Detección de trampas de vapor defectuosas
  - o Detección de fallas eléctricas de corona, descargas y arco
  - o Se puede utilizar durante el engrase de los rodamientos

## Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es el estudio de energía irradiada utilizando un sistema de imágenes térmicas infrarrojas.

La termografía es una tecnología popular aplicada a los equipos rotativos y no móviles de la planta. Implica el estudio de la temperatura, ya que el aumento del desgaste, las fugas de vapor y el arco eléctrico (por nombrar solo algunas condiciones) dan lugar a un cambio en la temperatura.

El calor excesivo es un indicador de problemas o problemas potenciales en los equipos de la planta, incluyendo piezas y equipos móviles y estacionarios, tales como paneles eléctricos, calderas, transformadores y conductores de transmisión de energía eléctrica, aislantes y equipos interruptores eléctricos. La termografía infrarroja es una tecnología ideal y no intrusiva para detectar estos problemas.

La tecnología utiliza sensores sensibles a la energía electromagnética irradiada asociada con el calor. El dispositivo traduce el nivel detectado de energía irradiada en una temperatura basada en la información introducida por el usuario. Dos tipos de dispositivos se utilizan comúnmente en nuestra industria: radiómetros puntuales y cámaras infrarrojas.

Los radiómetros puntuales suman la energía en un área pequeña y muestran una lectura de temperatura. Los radiómetros a menudo utilizan un rayo láser para ayudarle a apuntar donde se debe tomar la medida. Debe entenderse que esta lectura no se basa únicamente en la temperatura en ese punto; cuanto más lejos esté del objetivo, mayor será el área utilizada para determinar la temperatura. Debe visualizar un cono que irradia desde el dispositivo: cuanto mayor sea la distancia al objetivo, mayor será el área de medición.

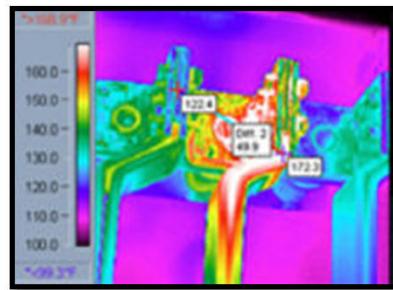


Figura 2-13 Imagen termográfica de barras eléctricas. El área blanca es la más caliente.

Es importante entender que la temperatura real indicada puede ser incorrecta ya que el tipo de superficie, el flujo de aire y otros factores afectan a la precisión.

Una cámara infrarroja puede crear una imagen termográfica. El instrumento utilizado para “ver” la energía electromagnética irradiada se conoce generalmente como una cámara. Estas cámaras utilizan sensores especiales para detectar el calor que se muestra en una imagen visual similar a una fotografía. Muchas cámaras termográficas también tienen una cámara fotográfica estándar incorporada para que una imagen fotográfica se pueda comparar con la imagen termográfica. La mayoría de los sistemas de termografía incluyen un programa de software para transferir las imágenes a un ordenador para análisis e impresión de informes.

Nota: la cámara infrarroja no “ve” la temperatura. La temperatura se calcula a partir de las entradas del usuario en la cámara o el software.



Figura 2-14 Instrumentos de termografía infrarroja incluyen radiómetros, cámaras fijas y cámaras móviles.

Los instrumentos van desde un “radiómetro de punto” utilizado para detectar la temperatura en un área, hasta cámaras fijas y cámaras de video que pueden grabar las temperaturas cambiantes. El precio varía de barato a caro, con los modelos más caros que normalmente tienen una imagen de mayor resolución, una capacidad para acercarse al área de interés, más opciones de campo y opciones de software adicionales.

### **Comparaciones de temperatura**

La típica cámara infrarroja tiene la capacidad de ajustar la sensibilidad para que la escala de color muestre el área más caliente como “blanco caliente”. Esta área “blanca caliente” podría ser de 50 grados F a varios cientos de grados dependiendo de la aplicación. **La utilidad principal en la mayoría de las aplicaciones es la temperatura relativa en lugar de la temperatura absoluta.**



Figura 2-15 Imagen termográfica y fotográfica de rodamiento sobre calentado

Es posible ajustar la imagen para que cualquier parte de ella brille “blanco caliente”. Una escala indica la relación entre el color y la temperatura. Aunque la escala indica la temperatura, la comparación de la temperatura en los puntos seleccionados proporciona la mejor indicación de severidad. Las temperaturas se calculan en función de las entradas que el usuario proporciona a la cámara.

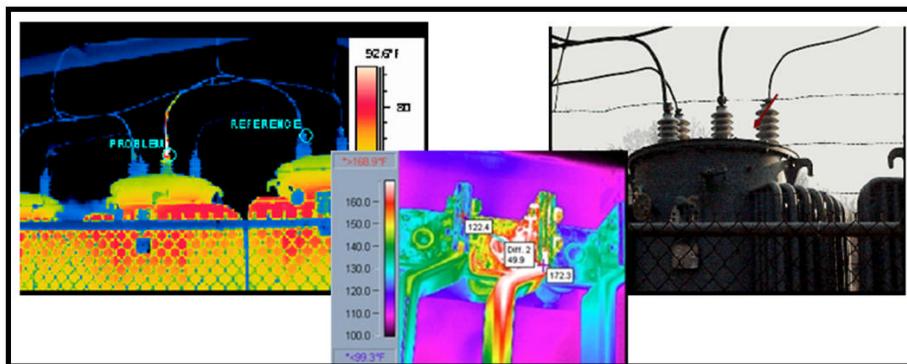


Figura 2-16 En casi todas las aplicaciones nos interesa la temperatura relativa

La termografía infrarroja se utiliza normalmente en las siguientes aplicaciones:

- Mecánica
- Máquinas, rodamientos, correas, tuberías, válvulas, trampas de vapor
- Eléctrico
- Líneas elevadas, transformadores, motores, interruptores, paneles
- Sistemas de vapor
- Planta refractaria

### ***Algunas cosas que debe saber...***

La cámara infrarroja mira la energía **electromagnética irradiada** del primer  $1/1000"$  (un mil) de la superficie.

La cámara infrarroja NO “ve” la temperatura. Las temperaturas se calculan a partir de las entradas que el usuario proporciona a la cámara o al ordenador. Una cámara IR no puede ver a través de la superficie de un tanque, gabinete de interruptores, carcasa de rodamientos o cualquier otra estructura. Si la fuente de alta temperatura (líquido caliente, cortocircuito eléctrico, desgaste del rodamiento) hace que la superficie se caliente, entonces la cámara infrarroja será capaz de detectar la diferencia de temperatura. Por lo tanto, es necesario abrir armarios para detectar fallas eléctricas, a menos que se utilicen ventanas especiales.



Figura 2-17 ¡Cuidado con el reflejo!

### ***Aplicaciones eléctricas***

La termografía infrarroja es especialmente útil en muchas aplicaciones eléctricas. En subestaciones y líneas de distribución tenga cuidado con la influencia del sol y el viento.

Se pueden detectar conexiones flojas y sobrecargas.

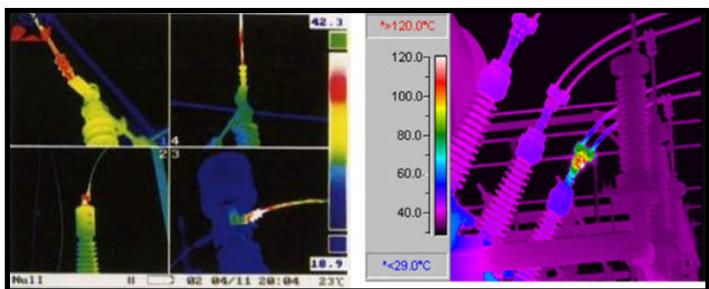


Figura 2-18 Se puede detectar conexiones flojas y sobrecargas. Evite la influencia del son al medir de noche.

**Las conexiones de barras** pueden causar calor excesivo, o las cargas pueden estar balanceadas. Estas condiciones pueden ser detectadas cuando se abre el panel/gabinete o hay una ventana en la puerta del panel. Ver Figura 2-19.

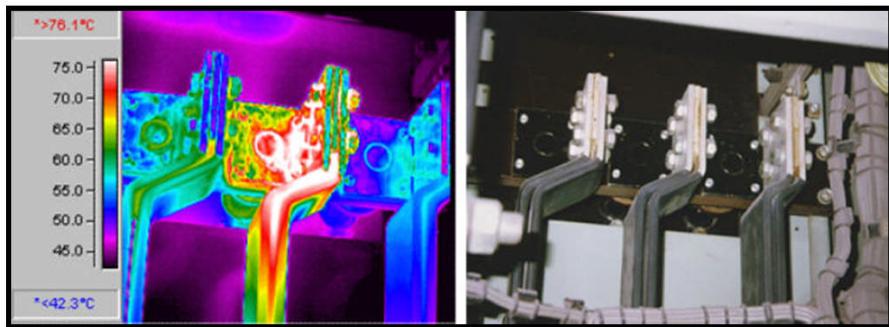


Figura 2-19 Conexión floja o carga desbalanceada.

Los fusibles y los bloques de fusibles pueden tener problemas similares que se pueden detectar. Cables rotos son muy evidentes utilizando una imagen termográfica.

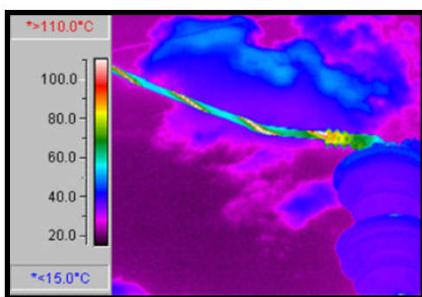


Figura 2-20 Hilos rotos se manifiestan como rayas de color.

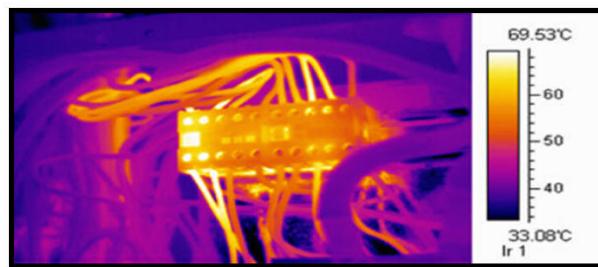


Figura 2-21 Terminal de conexiones caliente

### Aplicaciones mecánicas

Muchas afecciones mecánicas se pueden detectar mediante imágenes termográficas, entre ellas:

Problemas de bobinado en motores (ver Figura 2-22)

- Problemas de refrigeración,
- Problemas de correas o bandas

Rodamientos sobrecalentados (véase la Figura 2-22)

- Anormalidades en bombas, tuberías y compresores

*Nota: IR (infrarrojo) no es un buen indicador de alerta temprana del desgaste del rodamiento.*

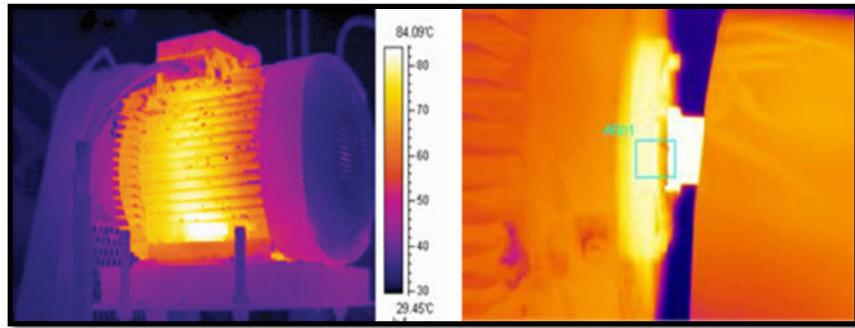


Figura 2-22 Bobina de motor sobre calentada, rodamiento sobre calentado

### Sistemas de vapor

Fugas y bloqueos en sistemas de vapor se pueden ver fácilmente con termografía. Es además una buena forma de revisar trampas de vapor para verificar su funcionamiento apropiado. Un

consejo es revisar la temperatura relativa entre la entrada y salida de la trampa. La Figura 2-22 Bobina de motor sobre calentada, rodamiento sobre calentado muestra un delta de temperatura de 20 grados.

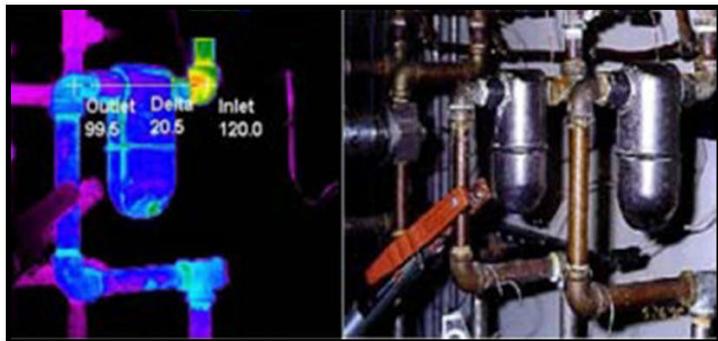


Figura 2-23 Imagen termográfica y fotográfica de trampa de vapor dañada. Note el delta de temperatura de 20°

### **Planta refractaria**

Calderas, hornos, y otros equipos refractarios usualmente tienen problemas de aislamiento que pueden detectarse con termografía. También puede proveer un indicador de bloqueo o acumulación que puede prevenir que el sistema funcione en condiciones óptimas. La Figura 2-24 indica las áreas de pérdida de calor que afectan a la eficiencia del proceso.

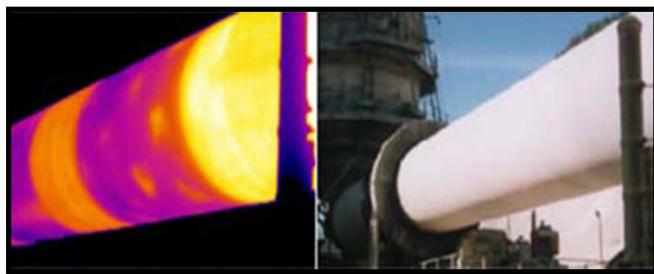


Figura 2-24 Horno con áreas calientes indicando un aislamiento deficiente.

La termografía infrarroja es una tecnología que tiene muchas aplicaciones dentro y alrededor de una planta. Tiene aplicaciones útiles en procesos, en equipos de apoyo y sistemas como energía eléctrica, tuberías, niveles de tanques, fugas y más. El precio de los equipos infrarrojos ha bajado bastante en los últimos años, por lo que la tecnología es ahora asequible para la mayoría de las plantas.

## Puntos clave

- La termografía (imágenes infrarrojas) proporciona una manera relativamente barata de detectar cambios en la temperatura.
- Las cámaras varían en gran medida en capacidad – es importante que coincida con la cámara correcta con la aplicación.
- Ciertos principios deben entenderse para evitar errores costosos
  - Transmisión, absorción, reflexión, emisión
  - Emisividad, resolución, zoom
- Las condiciones de la prueba pueden afectar significativamente las lecturas obtenidas
  - Viento, luz solar, temperatura ambiente, ángulo hacia el objetivo
- Las aplicaciones incluyen la detección de:
  - Desgaste mecánico y rozamiento
  - Mal funcionamiento de la trampa de vapor y otras aplicaciones de proceso
  - Una serie de fallas eléctricas

## Pruebas de motores eléctricos

Los motores eléctricos son el componente principal del equipo en la mayoría de las plantas. Es imperativo conocer su condición para garantizar procesos ininterrumpidos y programar tiempos de inactividad en lugar de tener fallas sorpresa.

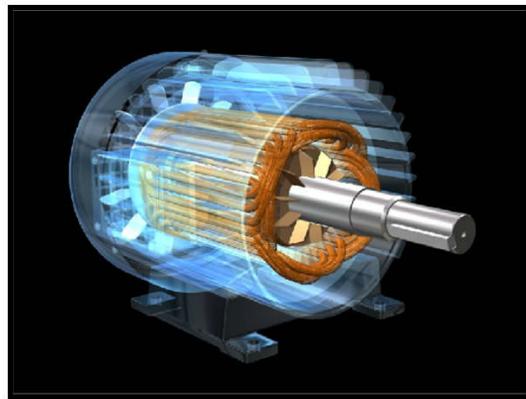


Figura 2-25 Motor de inducción A.C.

Los problemas mecánicos de los motores se pueden detectar con ultrasonidos, termografía infrarroja y monitoreo de vibraciones. Sin embargo, hay pruebas especiales que pueden detectar la condición eléctrica. Las pruebas se dividen en dos categorías:

- 1 Pruebas estáticas / fuera de línea
- 2 Pruebas dinámicas en línea

## Pruebas dinámicas en línea

Las pruebas en línea permiten realizar pruebas en el motor y en el panel mientras el motor está en servicio. Las pruebas ven los espectros de corriente y voltaje dependiendo de la prueba. Los datos se tratan como datos de vibración. La idea es que si el motor tiene problemas, la corriente fluirá a través de él de manera diferente.

El análisis de la corriente del motor se realiza en una fase del circuito eléctrico, mientras que el análisis de firma eléctrica (ESA) mide las tres fases.

**Pruebas en línea** que se pueden realizar incluyen:

- ☒ Corto circuitos entre conductores o bobinas
- ☒ Contaminación del bobinado
- ☒ Falla del aislamiento a tierra
- ☒ Fallas de entrehierro, incluyendo rotores excéntricos
- ☒ Fallos del rotor, incluyendo huecos de fundición y barras rotas del rotor.
- ☒ Vibración que detecta barras rotas del rotor, excentricidad del entrehierro, rotor excéntrico
- ☒ Análisis de corriente con abrazadera o pinza de corriente – barras rotas del rotor
- ☒ Bobina de flujo – campo de flujo desigual.



Figura 2-26 Pruebas eléctricas dinámicas en sitio desde panel de control.

## Análisis de firma de corriente del motor (MCSA)

**Espectro de corriente** – El espectro de corriente se puede colectar en cada fase de potencia utilizando una pinza de corriente. Ver Figura 2-27. Una comparación general que se puede hacer es la medición de cada fase. Estas deben tener una carga aproximada para un balance adecuado. Una carga muy baja o alta, puede indicar un problema.



Figura 2-27 Pinza de corriente

El espectro actual puede indicar la probabilidad de barras de rotor rotas y otros defectos como anillos de extremo dañados o excentricidad. La pinza de corriente se puede conectar a la mayoría de los recopiladores de datos de vibración y los datos se recopilan y analizan en forma de espectro.

### ***Análisis de Firma Eléctrica (ESA)***



2-28 ESA en las 3 fases

La ESA se realiza en las tres fases de la electricidad. Tanto el voltaje como la corriente se miden y los datos pueden ser vistos de una manera similar a un espectro de vibración. Estas pruebas pueden detectar problemas de fuente de alimentación, así como una serie de defectos en el motor.

El flujo de corriente a través del motor cambia cuando hay una falla mecánica. Por lo tanto, es posible utilizar esta tecnología para detectar condiciones mecánicas como desbalance y holgura, además de problemas eléctricos. Incluso a veces se pueden detectar defectos en los rodamientos de etapa tardía si el rotor se mueve en el estator

## Pruebas fuera de línea

### Análisis de circuito de motor (MCA)

En el análisis del circuito del motor, el motor se trata como un circuito eléctrico. Una tensión conocida se puede aplicar al circuito con el fin de probar la resistencia, la capacitancia y la inductancia. Esto puede indicar malas conexiones, bobinados o problemas de aislamiento. Si el rotor se gira manualmente, también se pueden detectar barras de motor rotas.

Una ventaja de las pruebas fuera de línea es que se pueden hacer en un taller de reparación de motores antes de que el motor se envíe al cliente o se pueden llevar a cabo en motores nuevos o reparados antes de que se pongan en servicio o en almacenamiento.

## Puntos clave

---

- Se pueden realizar pruebas especiales para detectar fallas electromecánicas
  - Barras de rotor y anillos de tope rotos
  - Problemas de rotor, estator, bobinado, laminación y conexión
  - Problemas de fuente de alimentación
- Análisis de corriente del motor [MCA]
  - Analiza una fase típicamente con un analizador CT + vibración
- Análisis de firma eléctrica [ESA]
  - Tres fases de tensión y corriente para problemas de motor y alimentación eléctrica
- Análisis de circuito de motor [MCA]
  - Prueba realizada fuera de línea

## Análisis de aceite

---

El aceite es la sangre vital de los equipos rotativos. La maquinaria rotativa necesita una lubricación correcta. El lubricante se coloca para mantener las superficies separadas, limpiar los desechos y proporcionar enfriamiento. Es sorprendente la frecuencia con la que se utiliza el lubricante incorrecto, o el lubricante está contaminado. El resultado es un mayor desgaste y fallas en el equipo. También hay un problema económico - el lubricante es caro, tanto para comprar como para desechar.



Figura 2-29

Con demasiada frecuencia, el lubricante perfectamente bueno se cambia, a un gran costo. Por lo tanto, las pruebas se realizan en el aceite y la grasa.

Hay tres objetivos con el análisis de aceite:

- Comprobar la química del lubricante – asegurarse de que es capaz de hacer el trabajo correctamente.
- Compruebe si hay contaminación: asegúrese de que el agua u otros líquidos o partículas no puedan afectar el lubricante o la máquina.
- Comprobar si hay desgaste: determine la presencia, la naturaleza, la fuente y la severidad del desgaste

Imagine una partícula dura de metal en un rodamiento o engranaje que se aplasta entre el rodillo y la pista del rodamiento o entre los dientes del engranaje. Estos contaminantes conducirán a una falla prematura

### ***Pruebas de análisis de aceite y lo que miden***

Las muestras se colectan rutinariamente para su análisis. Pueden ser enviadas a un laboratorio externo o a un laboratorio interno. Varias pruebas en el aceite incluyen:

Prueba	Medidas...
Baño de aceite 40c y 100c	Viscosidad
R. D. E. Espectroscopía	Concentraciones elementales
FT – IR (infrarrojo)	Degradoación, contaminación, agotamiento del aditivo
Acidez total	Niveles de acidez
Base total	Niveles de base
Agua	Concentraciones a 200ppm
Crujido	Concentraciones a 10 ppm
Karl Fisher	
Conteo de partículas	Limpieza NAS e ISO

Tabla 2-1

**Fortalezas del análisis de aceite**

- Detecta partículas de desgaste normales de hasta 6-10 micras.
- Determina el agotamiento de los aditivos lubricantes
- Detecta la contaminación por fluidos

**Debilidades del análisis de aceite**

- No detecta la aparición de desgaste anormal– partículas de desgaste superiores a 10 micras
- No detecta las fuentes de desgaste (cojinetes, engranajes, sellos, anillos, etc.)
- No proporciona información sobre el estado de la máquina.

**Pruebas adicionales que se pueden realizar**

- Análisis visual
  - o Ventiladores/respiradores: vapor viejo o soplado
  - o Miras e indicadores de nivel: comprueba los niveles y el color
  - o Fugas: aceite o fluido de proceso
  - o Humedad: separación de agua en muestras de aceite
  - o Color: las muestras de aceite oscuro indican oxidación
- Olor
  - o Olor acémico: el aceite puede haberse calentado a alta temperatura

El análisis de aceite proporciona buena información sobre el estado del aceite, pero no necesariamente sobre el estado de la máquina. Afortunadamente, hay otra tecnología relacionada que ve el aceite, no para determinar la condición del aceite en sí, sino para relacionar las partículas en el aceite con los modos de desgaste mecánico y falla en la máquina. Esta tecnología se denomina Análisis de Partículas de Desgaste (WPA) o Ferrografía.

## Puntos clave

- El análisis de aceite tiene tres beneficios:
  - Comprueba la química/condición del aceite
  - Comprueba si hay contaminación
  - Comprueba si hay desgaste
- El análisis de aceite no es el mejor control del desgaste
  - Sólo puede detectar partículas de hasta 8-10 micras de tamaño
- La prueba debe realizarse correctamente
- El análisis puede ser realizado por un laboratorio de aceite o utilizando instrumentos *in situ*.

## Análisis de partículas de desgaste

El análisis ferrográfico de partículas de desgaste es una tecnología de análisis de estado de la máquina que se aplica a los equipos lubricados. Proporciona una visión precisa del estado de los componentes lubricados de una máquina mediante el examen de las partículas suspendidas en el lubricante.

Al hacer tendencia del tamaño, la concentración, la forma y la composición de las partículas contenidas en las muestras de aceite colectadas sistemáticamente, se pueden identificar condiciones anormales relacionadas con el desgaste en una etapa temprana.



Figura 230

El análisis de partículas de desgaste complementa el análisis de vibraciones proporcionando, en algunos casos, una detección de fallas más temprana y es menos susceptible a las limitaciones impuestas por la maquinaria de rotación lenta o recíproca.

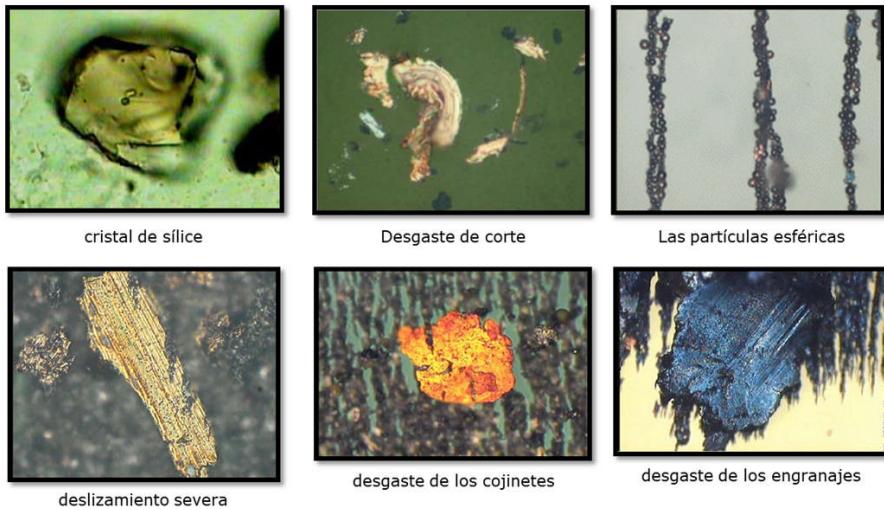


Figura 2-31 Distintos tipos de partículas indican problemas específicos

Aunque es posible comprar equipos de laboratorio y realizar pruebas internas, la mayoría de las industrias dependen de laboratorios comerciales externos para sus pruebas. Las muestras de aceite todavía deben ser colectadas *in situ* de manera controlada, pero luego se envían fuera del sitio a un laboratorio. Los resultados de las pruebas suelen estar disponibles electrónicamente para su integración en el programa de monitoreo de condición.

### **Análisis de aceite vs. análisis de partículas de desgaste**

La Figura 2-32 muestra la relación entre el análisis de aceite estándar utilizando espectroscopía y análisis de partículas de desgaste. La espectroscopía solo reconoce partículas de hasta 6-10 micrones e ignora las partículas más grandes anormales por desgaste. Por esta razón, es una buena práctica hacer análisis de partículas en muestras de aceite.

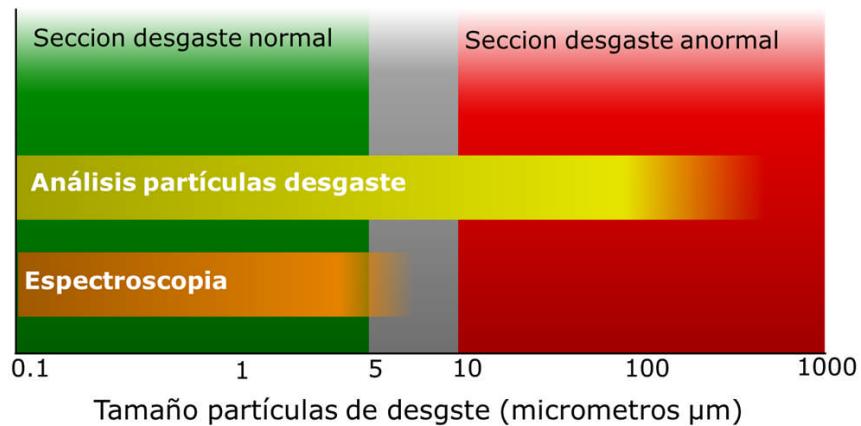


Figura 2-32 Análisis de aceite normal no ve partículas anormales.

El análisis de partículas de desgaste es una poderosa herramienta para el examen no intrusivo de las partes mojadas por aceite de una máquina. Puede detectar partículas de 1 micra a 350 micras. El análisis considera la forma de partícula, la composición, la distribución del tamaño y la concentración. Los resultados ayudan a determinar los modos de desgaste de funcionamiento dentro de la máquina, lo que resulta en recomendaciones de mantenimiento específicas. El análisis de partículas de desgaste detecta un desgaste anormal. El análisis de aceite estándar detecta partículas de desgaste normales de hasta 6-10 micras.

El análisis de partículas de desgaste es especialmente útil en cajas de engranajes. Puede detectar el desgaste mucho antes de que la caja de engranajes comience a vibrar de manera diferente.

## Puntos clave

- El análisis de partículas de desgaste utiliza un microscopio para ver partículas microscópicas en una diapositiva especialmente preparada.
- El análisis de partículas de desgaste puede ser realizado por un laboratorio externo o mediante un kit de parche/filtro y un microscopio asequible.
- El análisis de partículas de desgaste se puede utilizar para determinar:
  - Naturaleza y severidad del desgaste
  - Componentes que se están sometiendo a desgaste
- Se puede realizar en aceite lubricante y fluido hidráulico
- El análisis de partículas de desgaste es esencial para las cajas de engranajes críticas
- El análisis de aceite estándar no es el mejor control del desgaste
  - Sólo puede detectar partículas de hasta 8-10 micras de tamaño

## Monitoreo de Condición versus Mejora de la Confiabilidad.

---

El monitoreo de condición le da una visión de la salud de su equipo, pero no mejora la confiabilidad a menos que elimine las causas raíz de los problemas. Con el monitoreo de la condición estamos esencialmente tomando medidas para detectar si una máquina está fallando. Hay numerosos beneficios asociados con esto, como nuestra capacidad para evitar fallas catastróficas y planificar mejor el trabajo de reparación y la gestión de piezas de repuesto. Pero el monitoreo de la máquina no hace nada por sí solo para hacer la máquina más saludable o para extender su vida útil.

Una persona que fuma, come alimentos poco saludables, no hace ejercicio y no sabe cómo lidiar con el estrés puede ir al médico una vez al año para un chequeo. El médico tomará una variedad de pruebas y notará que la salud de la persona se está deteriorando. Esto es monitoreo de condición. Por otro lado, el individuo puede dejar de fumar y comer mejor, etc. y esto ayudará a la persona a mantenerse más saludable por más tiempo. Este es el enfoque proactivo para mejorar la confiabilidad.

## Seleccionar la mejor tecnología

---

Antes de seleccionar la tecnología es mejor dar un paso atrás y realizar una revisión de todos los equipos de la planta. Los puntos que deben tenerse en cuenta son:

- ☒ requisito de confiabilidad
- ☒ la importancia para el proceso
- ☒ si hay equipos redundantes o no
- ☒ accesibilidad física y ubicación
- ☒ peligros.

Todos estos temas son cuestiones financieras. Todo debe ser justificable financieramente. Si no se puede justificar el tiempo y el esfuerzo necesarios para monitorear una máquina, no monitoree esa la máquina.



Figura 2-33

Considere la **historia de la máquina**. Tenga en cuenta su confiabilidad y modos de falla junto con las formas de detectar los modos de falla. ¿Cuál es el impacto de la falla? ¿Habrá pérdidas debido al tiempo de inactividad y a los daños secundarios? ¿Cuáles son los costos asociados de las piezas y la mano de obra? ¿Cuáles son los costos de tiempo de inactividad de la producción y los costos de capital involucrados? ¿Hay una unidad de repuesto?

### *Análisis de riesgos*

Una vez que entienda las consecuencias de un fallo de la máquina, puede examinar todas las formas de prevenir o evitar que se produzca ese fallo. En algún lugar de ese análisis se alcanzará un equilibrio entre el costo de prevenir el fallo y el riesgo y los costos asociados de la falla que se produce. Cuando se alcanza este equilibrio y se dibuja la línea es básicamente la cantidad de riesgo que está dispuesto a tomar.

Por ejemplo, existe un riesgo asociado con la conducción de un automóvil. Se ha demostrado que el uso del cinturón de seguridad reduce en gran medida la probabilidad de lesiones graves en caso de sufrir un accidente. El costo de instalar y usar el cinturón de seguridad es bajo. Además, añadir airbags al vehículo hará aún más para mitigar el riesgo. El costo es ligeramente más alto, pero no prohibitivo de ninguna manera. Se podría argumentar que si todos condujeran 5 millas por hora, el riesgo de lesiones graves o muerte por accidente automovilístico se reduciría significativamente, pero ¿cuáles son los costos? La mayoría de la gente diría que los costos son demasiado altos y están dispuestos a vivir con cierto riesgo. Este es esencialmente el mismo proceso que uno pasa cuando se piensa en el monitoreo de la condición y las tecnologías CM.

Cabe señalar que los niveles de riesgo pueden cambiar durante el año. En momentos de alta demanda, o condiciones climáticas adversas (verano para la planta de refrigeración, invierno para la generación de energía, por ejemplo), la frecuencia de monitoreo y el plan de reparación pueden necesitar cambiar. De la misma manera que el riesgo de conducir su coche cambia cuando el clima es malo o cuando su coche está en necesidad de nuevas pastillas de freno y neumáticos.

A continuación, considere las tecnologías necesarias para detectar problemas futuros. ¿Puede tener éxito con la vibración? ¿Deberían incluirse otras tecnologías: análisis de infrarrojos, partículas de desgaste, etc.?

		Technology						
		Vib	Lube	Wear	MCA	IR	US	Vis
Application	Generator	😊	😊	😊	😢	😊	😊	😊
	Turbine	😊	😊	😊	😢	😊	😊	😊
	Pump	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Elec. motor	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Diesel eng.	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Fan	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Gearbox	😊	😊	😊	😢	😊	😊	😊
	Cranes	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Elec. Circ.	😢	😢	😢	😊	😊	😊	😊
	Transformer	😢	😊	😢	😊	😊	😊	😊

Tabla 2-2

La Tabla 2-3 muestra cuáles tecnologías son buenas para tipos de fallas específicas.

	Vib	Lube	Wear	MCA	IR	US	Vis
Wear	😊	😢	😊	😢	😢	😊	😊
Heating	😊	😊	😊	😢	😊	😢	😊
Impact	😊	😢	😊	😢	😢	😊	😊
Corrosion	😢	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Fatigue	😊	😊	😊	😢	😢	😢	😊

Tabla 2-3 De Keith Young, artículo en Tecnología de Mantenimiento, junio 1995