

UN **ENFOQUE** **PROACTIVO** PARA

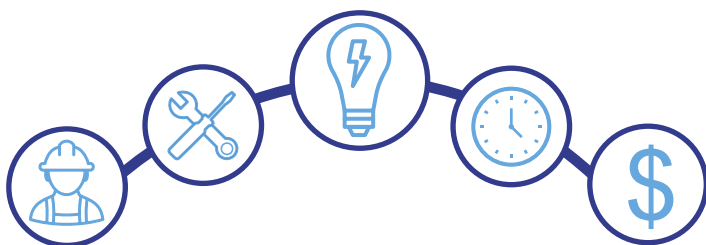
EL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO



Implementar la estrategia de mantenimiento correcta tiene un impacto positivo en los resultados de sus instalaciones. Aumente la actividad de sus instalaciones haciendo lo correcto para usted y su personal.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: UN ELEMENTO IMPORTANTE DE SU ESTRATEGIA DE ACTIVIDAD

Todas las instalaciones del mundo dependen de la energía eléctrica hoy en día. La mayoría de las instalaciones industriales y comerciales dependen únicamente de las alimentaciones y transformadores de energía de servicio público, mientras que otras instalaciones de misión crítica cuentan con generadores y fuentes de energía ininterrumpibles (UPS) como respaldo de energía redundante. Un factor común para determinar la confiabilidad y actividad de un sistema eléctrico son las condiciones y la disponibilidad de equipo de distribución de energía como interruptores de medio y bajo voltaje, interruptores de transferencia y centros de control de motor que se usan corriente abajo. Históricamente, todas las estrategias de mantenimiento preventivo se han implementado sobre las conexiones de cables, uniones, empalmes de barras y otras partes móviles que muestran síntomas físicos de desgaste mayor por uso y esfuerzo.



En comparación con otros tipos de equipo giratorio, el equipo de distribución de energía hace significativamente menos ruido o ninguno durante su operación normal; quizá por ello se le presta mucho menos atención o no se le presta en absoluto.

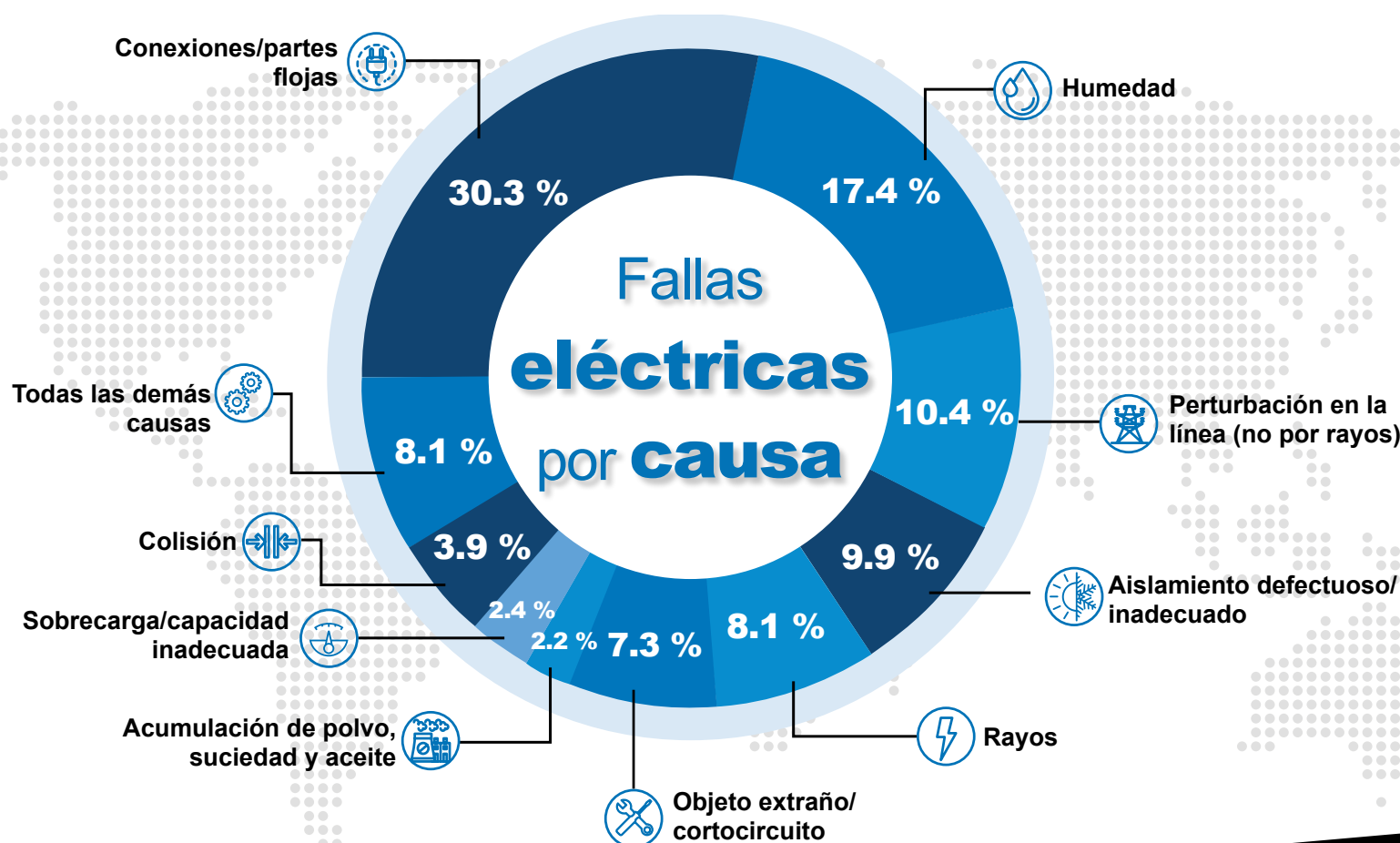
Además, la disponibilidad de personal hábil y capacitado para llevar a cabo las tareas relacionadas con el mantenimiento y las presiones para la producción que conlleva su realización complica aún más que estas se lleven a cabo. La mayoría de los propietarios y operadores de instalaciones siguen rutinas de mantenimiento eléctrico con periodicidad de tres o cinco años o en muchos casos solo reaccionan ante un apagón imprevisto.

En el equipo de distribución de energía eléctrica, con frecuencia se pasan por alto la adición gradual de cargas y sus efectos en todo el sistema.

Por ejemplo, un sistema diseñado y puesto en servicio con una carga calculada de 2000 A hace una década en un centro de alojamiento de datos o una instalación industrial de manufactura puede estar funcionando hoy en día un 30-50 % por encima de sus parámetros de diseño.

Dado que la mayoría de los sistemas se diseñan con criterios conservadores considerando la carga futura marginal, esto puede no representar un problema de importancia en el corto plazo. No obstante, la misma tendencia a añadir cargas adicionales con el tiempo sin considerar sus efectos (como las características de picos y ciclos de trabajo) tendrá un impacto negativo en las características de desempeño y el aislamiento que podría conducir a un apagón imprevisto.

La verdad incómoda sobre las fallas evitables del equipo de distribución de energía es que estas interrumpen una línea de producción completa o, en algunos casos, apagan las instalaciones en su totalidad. En contraste, muchos procesos continúan en funcionamiento en caso de una falla de un solo componente del equipo corriente abajo, como una bomba o un motor de un proceso de manufactura.



Fuente de los datos: Hartford Steam Boiler Insurance Co.



El colapso de los sistemas eléctricos es una de las causas principales de pérdidas por interrupciones del negocio y de daños en equipos. El problema tiende a crecer y las pérdidas pueden ser muy significativas; los sistemas eléctricos constituyen una fracción importante del valor total de una propiedad.

¿QUÉ OCASIONA LA FALLA DE SUS EQUIPOS ELÉCTRICOS?

La segmentación de las fallas eléctricas totales por tipo de causa publicada por una prestigiosa compañía aseguradora de instalaciones industriales revela que las conexiones/partes flojas contribuyen a más del 30% de todas las fallas eléctricas y son una de las principales causas de apagones eléctricos, seguidas por un 17% a causa de la humedad y un 10.4% por perturbaciones en las líneas.

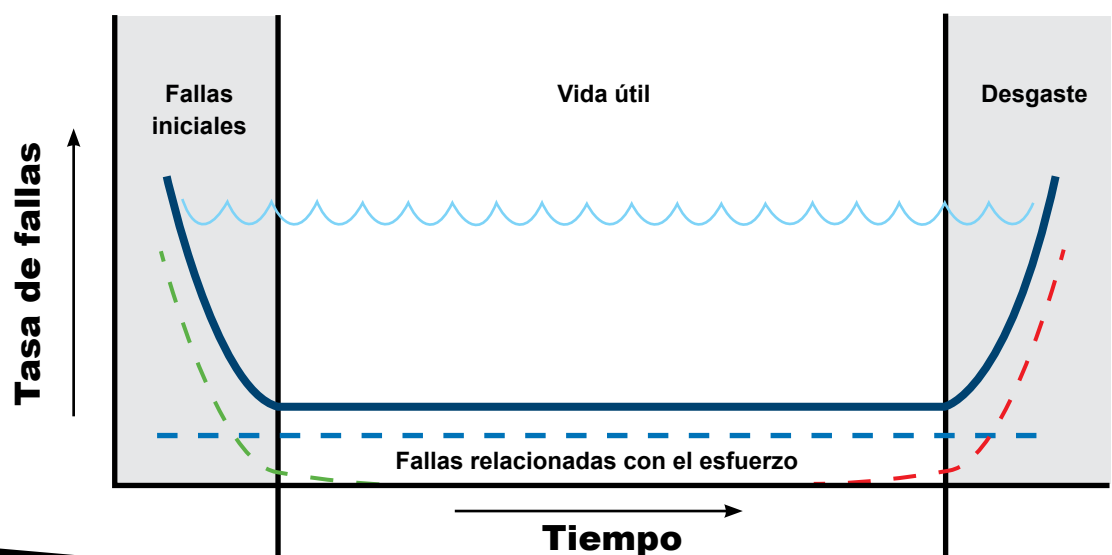
PRIORIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO: ¿POR DÓNDE EMPIEZO?

La priorización del mantenimiento eléctrico es una de las principales preocupaciones que enfrentan muchos propietarios y operadores de instalaciones. En muchos de los casos, los equipos ni son nuevos ni datan de la edad de piedra. Por ejemplo, una planta construida hace veinticinco años puede tener equipo eléctrico con antigüedad de 3 a 20 años. ¿Cómo debo priorizar el mantenimiento de mi equipo?

Las normas IEEE 493 (del Libro Dorado) y la famosa curva de confiabilidad "de la bañera" pueden ilustrar cómo se clasifican sus equipos a partir de las estadísticas de la instalación y confiabilidad de los diferentes tipos de equipo eléctrico.

Curva de la bañera

La mayoría de las fallas ocurridas durante la vida útil se deben a mantenimiento inadecuado y errores humanos.



La mayoría de los sistemas eléctricos están diseñados para una temperatura ambiente de 40 - 45 °C

Cada **10 °C de elevación** de la temperatura **acortan** la confiabilidad **promedio** de los componentes eléctricos en un **50%**



La curva de la bañera sugiere que muchas fallas de productos ocurren durante el período de fallas iniciales o etapa temprana a causa de defectos de fabricación o problemas de calidad; posteriormente, durante la vida útil, las fallas tienen relación con el esfuerzo, errores humanos o mantenimiento incorrecto y con el desgaste debido al envejecimiento. Una regla general simple es comenzar siempre por los equipos críticos que generen un punto de falla única o puedan colapsar el sistema de sus instalaciones en su totalidad y continuar con los equipos que muestren indicios de fallas inminentes. Considere el factor de las pérdidas económicas provocadas por un apagón eléctrico y el costo de evitar que este se presente al priorizar sus equipos.

Las conexiones flojas contribuyen a más del 30% de todas las fallas eléctricas, y son una de las causas principales de apagones.

Fuente: Aseguradora prominente de instalaciones industriales

Tipo de equipo	Tiempo de vida útil previsto (años) ¹
Transformadores	25 - 30 años
Interruptores automáticos	15 - 20 años ²
Tableros de conmutadores/ Subestaciones de control	30 - 40 años
Centros de control/ arrancadores de motor	20-30 años
Tableros de distribución	30 años
Motores	18-25 años
Generadores	5-20 años
UPS	10 años
Luminarias	20 años
Capacitores (para corrección del factor de potencia)	17 años
VFD	20 años
Cables/alambres	30-40 años

¹ Información sobre la vida útil esperada obtenida de ABB, CDA, CDM, Libro Dorado de IEEE y Siemens.

² Para el año 10, un 50 % de los interruptores automáticos no funcionan correctamente conforme a las especificaciones. Para el año 20, un 90 % no funcionan adecuadamente.





Las inspecciones llevadas a cabo en **horas no pico** debido a la **disponibilidad de las instalaciones y de personal** puede afectar significativamente la **relevancia** de los **datos medidos**.

MANTENIMIENTO PROACTIVO Y PREDICTIVO: UNA SOLUCIÓN SIMPLIFICADA Y APLICABLE

La mayoría de las fallas de equipo eléctrico ocurren en los equipos de distribución de energía ya sea a causa de conexiones flojas (30.3%) o fallas del aislamiento (9.9%). No obstante, el colapso del aislamiento del equipo es detectable mediante estudios y pruebas de descargas parciales.

Es especialmente difícil detectar la causa de las conexiones flojas, ya que pueden deberse tanto a problemas mecánicos como eléctricos.

Una falla eléctrica a causa de una conexión floja es algo común y puede deberse a conexiones insuficientemente apretadas, cargas mecánicas en las terminales, condiciones de carga variable, ciclos de trabajo, prensado de los cables y capacitación. La mayoría de esas conexiones fallan a causa de la gran elevación de la temperatura que resulta del aumento de la resistencia eléctrica en las conexiones. Ambas circunstancias pueden monitorearse sin interrumpir el servicio de las instalaciones. Aunque las inspecciones de termografía infrarroja son uno de los métodos más comunes para predecir anomalías

de temperatura, es importante entender los ajustes de transistividad de las conexiones monitoreadas y las calibraciones correctas de la cámara IR.



CONSEJO DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO:

Mantenga sus conexiones eléctricas limpias, frescas, secas y apretadas.

Los puntos calientes se presentan a causa de:

- Conexiones flojas
- Vibración
- Esfuerzos mecánicos debidos a fuerzas magnéticas intensas durante las fallas o altas corrientes de arranque
- Equipo viejo/sin mantenimiento
- Cargas desequilibradas
- Condiciones de sobrecarga
- Armónicos provocados por cargas no lineales
- Condiciones ambientales y ciclos térmicos

La temperatura de operación de los equipos afecta significativamente su vida útil en general. La mayoría de los sistemas eléctricos están diseñados para una temperatura ambiente de 40 - 45 °C. Cada 10 °C de aumento en la temperatura acorta la confiabilidad promedio de los componentes eléctricos en un 50%.



CONCEPTOS BÁSICOS DE TERMOGRAFÍA

Los métodos de termografía consisten en dirigir una cámara infrarroja (IR) hacia la conexión eléctrica o fuentes calientes potenciales dentro del equipo eléctrico para medir la temperatura. Las inspecciones de termografía a puerta abierta exigen el uso de grandes cantidades de EPP, termógrafos certificados y personal trabajando en proximidad cercana a los componentes energizados.



La termografía a puerta cerrada utiliza ventanas de visualización IR instaladas en el equipo, a través de las cuales la cámara IR se apunta hacia los puntos calientes. Con frecuencia es difícil inspeccionar todas las conexiones críticas de un panel eléctrico con el limitado campo visual (FOV) de la ventana IR debido a la ubicación de esta, la complejidad del equipo y la configuración de las barras. Aunque la mayoría de las ventanas IR están disponibles en diámetros de 2 - 20", no es posible contar con un FOV más amplio sin usar más ventanas o ventanas más grandes, o costosas ventanas hechas a la medida. La instalación de ventanas IR



en equipo con clasificación para arcos eléctricos representa además una amenaza para la clasificación del arco y la integridad estructural del equipo, y genera muchas inquietudes en los fabricantes con respecto de la garantía.

La termografía IR es una excelente herramienta para detectar anomalías de temperatura, pero requiere que el trabajo sea realizado por termógrafos calificados y certificados.

La mayoría de las compañías y normas de seguros requieren que las inspecciones IR se lleven a cabo en los sistemas bajo una condición energizada que replique la carga de operación normal o al menos un 40% de la carga nominal.

Las inspecciones llevadas a cabo en horas no pico debido a la disponibilidad de las instalaciones y de personal también afecta la relevancia de los datos medidos. Como resultado de las inspecciones, los termógrafos normalmente expiden un informe detallado en donde identifican los equipos con las imágenes correspondientes, hallazgos de elevaciones de temperatura y acciones recomendadas. Unas pocas compañías de seguros y prevención de pérdidas y termógrafos que incorporan prácticas modernas proporcionan estimaciones detalladas de las reparaciones y detalles para evitar costos tomando en consideración el tiempo de inactividad de la producción.

Comparemos

Termografía de puerta abierta vs. ventanas IR

vs. Monitor de puntos calientes

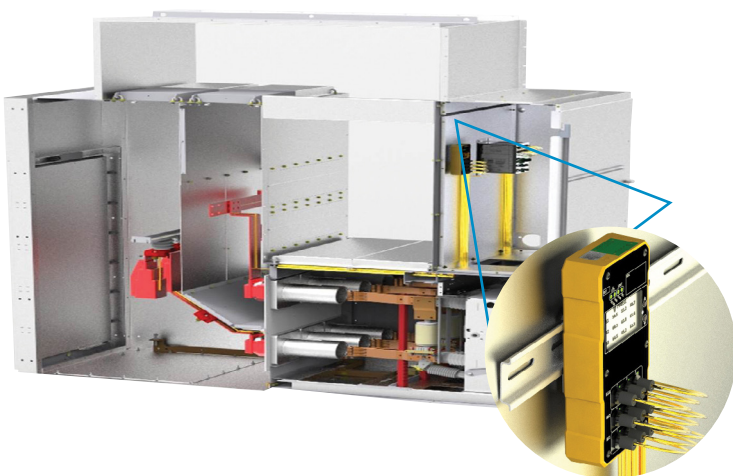


Descripción	Termografía de puerta abierta	Ventanas IR	Monitor de puntos calientes
Exposición a energía incidente	Alta	Media	Ninguna
Equipo de protección personal (EPP)	Se requiere	Se requiere	Ninguno
Calibración de dispositivos	Se requiere	Se requiere	No se requiere
Capacitación, habilidades y certificaciones especiales (termografía)	Se requieren	Se requieren	No se requieren
Capacidades de registro de datos y estimación de tendencias	Manual/ninguna	Manual/ninguna	Salida de alarma/ relevador
Acceso a conexiones críticas/geometría compleja del sistema	No	No	Sí
Capacidad de alarma	No	No	Sí
Integración con sistemas SCADA/DCS existentes	No	No	Sí
Medición del ambiente	No	No	Sí
Instalación	N/A	Compleja	Simple
Degradación estructural	N/A	Sí	No
Frecuencia de inspección	Semestral/anual	Trimestral	Continua
Tecnología	Sin contacto	Sin contacto	Contacto no conductor de electricidad



MONITOR DE PUNTOS CALIENTES GRACESENSE™ - UNA HERRAMIENTA PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El monitor de puntos calientes (HSM) GraceSense™ es un dispositivo de monitoreo continuo de la temperatura que puede detectar anomalías de temperatura en conexiones eléctricas de sistemas de distribución de energía como barras de bus, centros de control de motores, paneles de controladores, subestaciones de control y ductos de barras, etc.



El HSM supervisa, registra, alerta y permite al usuario dar seguimiento a variaciones de temperatura que puedan indicar una falla potencial. El HSM es un componente del sistema de mantenimiento predictivo que, cuando se integra en el programa de mantenimiento preventivo (EPM) eléctrico de las instalaciones conforme a lo definido en la norma NFPA 70B, permite al usuario planificar y programar tareas de mantenimiento que eviten paros no planificados y daños monetarios.

El HSM permite al usuario ajustar, monitorear, grabar y recuperar los datos de temperatura de las conexiones críticas de un equipo eléctrico. La exclusiva tecnología de fibra óptica no conductora de electricidad con conexiones seguras permite una sencilla instalación en campo en sistemas eléctricos de bajo, medio y alto voltaje de hasta 80 kV.

Nuestra filosofía Safety-by-Design, combinada con las capacidades de monitoreo remoto del HSM eliminan la exposición de los trabajadores a alta energía incidente y la pérdida de producción a causa de paros imprevistos.





EL MANTENIMIENTO NO ES SOLO UNA MÉTRICA DE PRODUCTIVIDAD Y ACTIVIDAD: ES UN REQUISITO PARA LA SEGURIDAD PERSONAL

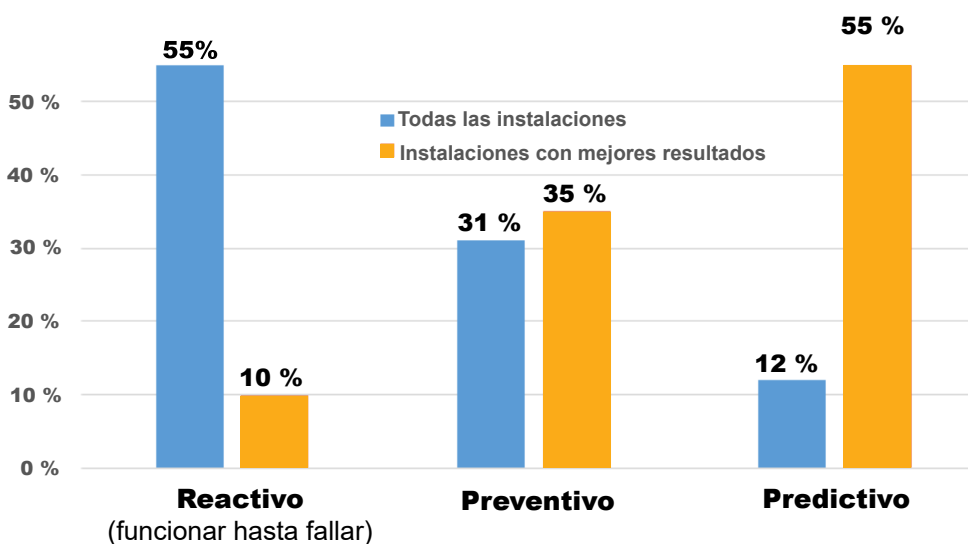
Según la OSHA, el mantenimiento es una obligación reglamentaria. La norma NFPA 70E dice que el propietario del equipo será responsable de mantener este y de documentar los registros de mantenimiento para reducir la exposición de los trabajadores a riesgos eléctricos. Las normas también dicen que el mantenimiento se llevará a cabo conforme a los lineamientos recomendados por el fabricante o las normas de consenso del sector como NFPA 70B o ANSI/NETA MTS.

¿CUÁL ES SU ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO?

Según la Guía de Operación y Mantenimiento del Departamento de Energía de los EE. UU., las instalaciones con mejor desempeño usan un 45-55% de programas de mantenimiento predictivo, en comparación con un 25-35% de mantenimiento preventivo y 10% de mantenimiento reactivo o esquemas de "funcionar hasta fallar". Mientras que una de las instalaciones con mejor desempeño y una instalación promedio gastan cantidades equiparables en programas de mantenimiento preventivo, la mayor diferencia es cómo se comparan en las métricas de mantenimiento predictivo y "funcionar hasta fallar". La siguiente gráfica ofrece un buen ejemplo de las tendencias actuales de mantenimiento y sus modelos de madurez.

Comparación de los tipos de mantenimiento

Las instalaciones con mejor desempeño gastan más de la mitad de su presupuesto de mantenimiento en programas de mantenimiento predictivo.



¿Dónde está el dinero?

Justificación de las herramientas de mantenimiento predictivo mediante el ROI

Calculadora de ROI de muestra	
Costo del equipo con falla	\$16 000.00
Costo de los repuestos y la logística	\$3500.00
Costo de la mano de obra (por hora)	\$150.00
N.º de técnicos	3
N.º de horas requeridas para efectuar la reparación	8
Pérdida de inventario/producción	\$15 000.00
Pérdida de ingresos por el tiempo de inactividad	\$35 000.00
Costo total de la mano de obra	\$3600.00
Costo de un paro	\$73 100.00
N.º de paros evitados	3
N.º de años	5
Ahorros totales por los paros evitados	\$219 300.00
Costo de inversión de la herramienta de mantenimiento predictivo	\$45 000.00
ROI	387.33%
ROI anualizado	37.27%

Nota: Los cálculos anteriores son para fines ilustrativos y proporcionan referencias a algunas de las variables clave por considerar al calcular el retorno de inversión (ROI). El ROI real varía en función del conjunto único de aportes definido por el usuario.

Metodologías de mantenimiento

Ventajas y desventajas



Mantenimiento reactivo (funcionar hasta fallar)

Ventajas:

- Costo mínimo
- Personal mínimo
- Tiempo de preparación mínimo

Desventajas

- Altos costos por tiempo de inactividad
- Aumento en los costos de mano de obra por el tiempo extraordinario.
- Tiempo de actividad inconsistente
- Uso ineficiente de los recursos

Costo del tiempo de inactividad:

\$\$\$\$\$



Mantenimiento preventivo (basado en el tiempo)

Ventajas:

- Mayor vida útil del activo
- Rentable
- Menos fallas del equipo
- 12-15 % de ahorro en costos en comparación con el mantenimiento reactivo

Desventajas

- Sigue siendo probable que se presenten fallas
- Laborioso
- Incluye mantenimiento innecesario
- El mantenimiento innecesario da lugar a daños

Costo del tiempo de inactividad:

\$\$\$\$



Mantenimiento predictivo (basado en la condición)

Ventajas:

- Mayor vida útil y disponibilidad del activo
- Visibilidad completa del activo
- Reducción del tiempo de inactividad del equipo o proceso
- Reducción del costo de mano de obra y partes
- Mantenimiento bajo demanda
- 8-12% de ahorro en costos en comparación con el mantenimiento preventivo

Desventajas

- Mayores costos iniciales al adquirir el equipo de monitoreo
- Capacitación del personal para interpretar los datos
- Justificación de los ahorros de largo plazo con la gerencia

Costo del tiempo de inactividad:

\$\$



Mantenimiento centrado en la confiabilidad (modelo híbrido)

Ventajas:

- Programa de mantenimiento más efectivo
- Minimizar la frecuencia de las reparaciones mayores
- Menos fallas repentinas de equipo
- Mayor confiabilidad de los componentes
- Análisis de causa de raíz incorporado

Desventajas

- Costos, equipo y capacitación iniciales significativos
- Justificación de los ahorros de largo plazo con la gerencia

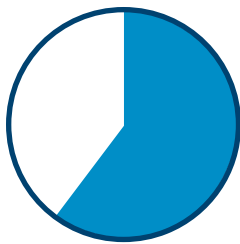
Costo del tiempo de inactividad:

\$

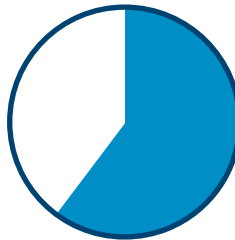


Los resultados indicados a continuación muestran que las empresas que implementan mantenimiento predictivo han observado:

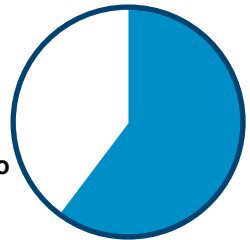
35-45%
Reducción
del tiempo
de inactividad



20-25%
Mayor
productividad



25-35%
Reducción de
los costos de
mantenimiento



Fuente de datos: Departamento de Energía de los EE. UU.,
Guía de Operación y Mantenimiento

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MANTENIMIENTO

¿Es el mantenimiento predictivo una respuesta para todas sus necesidades de mantenimiento? A diferencia del método "funcionar hasta fallar", tanto el mantenimiento preventivo como el predictivo se clasifican como métodos de mantenimiento proactivo. Aunque los métodos preventivo y predictivo comparten la misma categoría, los principios, la estrategia y los métodos de implementación son diferentes y, en algunos casos, un tanto complicados para las herramientas predictivas. La siguiente gráfica muestra las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de mantenimiento. Un programa robusto de mantenimiento incluirá elementos tanto de herramientas de mantenimiento preventivo como de mantenimiento predictivo.

Beneficios del mantenimiento predictivo:

- Evitar interrupciones del negocio
- Mejorar la productividad y la actividad
- Extender la vida útil del equipo
- Reducir el costo de las pólizas de seguro y del cumplimiento reglamentario

Elementos a considerar en las herramientas de mantenimiento predictivo:

- Impacto de la falla del activo en caso de un paro inesperado
- Tiempo de inactividad de la producción
- Costos de reparación antes y después de la falla
- Redundancia disponible
- Cuánto tiempo se necesita para reparar el activo
- Disponibilidad de partes de repuesto



DAÑOS ELÉCTRICOS MÁS ALLÁ DEL EQUIPO Y EL TIEMPO DE INACTIVIDAD

Un informe de investigación publicado por la Agencia Nacional de Protección contra Incendios de los EE. UU. (NFPA) en 2017 resaltaba que se reportaron 37 910 incendios en propiedades industriales y de manufactura para el período 2011-2015, incluidos 7770 incendios estructurales.

De todos los incendios estructurales, los equipos de distribución eléctrica e iluminación formaron parte de un 24% y el equipo de calefacción formó parte de un 16%.

Otro informe sobre datos de incidentes eléctricos sin incendio ni rescate publicado por la NFPA en 2014 señalaba 95 700 incidentes a causa de formación de arcos o equipos eléctricos en cortocircuito y 23 600 incidentes debidos a motores o cableado sobrecalentado, lo que representaba casi un tercio de los incidentes reportados.

Evitar una falla catastrófica de equipo eléctrico no solo salvará el equipo y evitará el tiempo de inactividad, sino que también puede ayudar a evitar en gran medida daños materiales y lesiones personales significativas.

Fallas de equipos eléctricos y de rodamientos que tuvieron como resultado el sobrecalentamiento de motores fueron los detonantes de dos incidentes con incendios que tuvieron grandes pérdidas en 2016. Las pérdidas financieras fueron estimadas en USD 17.6 millones y USD 13 millones (Informe de incendios con grandes pérdidas de la NFPA, 2016).

RELACIÓN ENTRE LA SEGURIDAD ELÉCTRICA Y EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO: NFPA 70E

Artículo 100: Mantenimiento, Condición de

El estado del equipo eléctrico considerando las instrucciones del fabricante, las recomendaciones del fabricante y los códigos, estándares y prácticas recomendadas aplicables de la industria (2018).

Artículo 110.1(C): Condición de mantenimiento

El programa de seguridad eléctrica incluirá elementos que consideren la condición de mantenimiento del equipo y los sistemas eléctricos.

Artículo 130.1(4): Condición normal de operación

La operación normal del equipo eléctrico se permitirá donde exista una condición normal de operación. Una condición normal de operación existe cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- 1) El equipo está instalado correctamente.
- 2) Se da el mantenimiento correcto al equipo.

Las empresas que implementan **mantenimiento predictivo** han observado una **reducción del 35-45% en el tiempo de inactividad**



- 3) El equipo se usa conforme a las instrucciones incluidas en los avisos y etiquetas y según las instrucciones del fabricante.
- 4) Las puertas del equipo se mantienen cerradas y aseguradas.
- 5) Todas las cubiertas del equipo están en su lugar y aseguradas.
- 6) No hay evidencia de falla inminente.

El mantenimiento del equipo eléctrico no es solo una métrica de actividad o productividad: el mantenimiento es una parte importante de la seguridad eléctrica.

Artículo 130.5(B) 2: Evaluación del riesgo de formación de arcos: Se tendrá en cuenta la condición de operación y la condición de mantenimiento del equipo eléctrico.

Artículo 205.3: Requisitos generales para el mantenimiento

- a. El equipo eléctrico se mantendrá conforme a las instrucciones del fabricante o las normas de consenso de la industria para reducir el riesgo asociado con su falla.
- b. El propietario del equipo o su representante designado serán responsables del mantenimiento del equipo eléctrico y su documentación.

Artículo 205.4: Dispositivos de protección de sobrecorriente

Los dispositivos de protección de sobrecorriente se mantendrán conforme a las instrucciones del fabricante o las normas de consenso de la industria. Se documentarán el mantenimiento, las pruebas e inspecciones.



