



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
“ ANTONIO JOSÉ DE SUCRE ”  
VICE - RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO



**Profesor:** Ing. JORGE CRISTANCHO

**AUTORES:**

MANTILLA GABRIEL  
CARRASQUERO CARLOS  
CENTENO FRANCISCO  
BELLO EDUARD

**PUERTO ORDAZ, MAYO DE 2004**

## ÌNDICE DE CONTENIDO

	pp.
INTRODUCCIÒN	
MANTENIMIENTO	04
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	05
EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y LA RECETA UNIVERSAL	05
VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	08
FASES DE IMPLANTACIÒN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	09
APLICACIONES DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO:	11
Por técnica predictiva:	11
Análisis de lubricantes	12
Termografía	13
Análisis de Vibraciones	13
Análisis de motores eléctricos de inducción	15
Análisis de maquinas alternativas	16
Detección ultrasónica	17
Descargas parciales en maquinas eléctricas	18
Parámetros de supervisión de grandes maquinas eléctricas	19
Aislamiento en Hexafluoruro	20
Por Sector Industrial:	21
Generación eléctrica	21
Petroquímico	22
Cemento	23
Molinos	23
Ventiladores de horno	23
Reductores de hornos	23
Separadores	24

Papel	24
Prensas	24
Zona de secado	24
Equipos auxiliares	25
Otras Industrias	25
Laminación de metales	25
Por Maquina Motorizada	26
INSTRUMENTACION PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO:	27
Recolección intermitente con colectores	27
Recolección automática con sistemas de adquisición en continuo	27
CONCLUSIONES	29
ANEXOS	31

## INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento industrial en nuestros días necesita de una serie de instrumentos para poder innovarse y abaratar costes. Esos instrumentos se convierten a veces en auténticas políticas del buen hacer para la industria que conminan a la misma a reconsiderar todos sus estamentos.

Es preciso disponer de un sistema de mejora continua para tratar de distanciarse de los competidores y así mejorar nuestra posición en el mercado. En cuanto a Mantenimiento se refiere, las únicas estrategias válidas hoy en día son las encaminadas tanto a aumentar la disponibilidad y eficacia de los equipos productivos, como a reducir los costes de Mantenimiento, siempre dentro del marco de la seguridad y el medio ambiente.

Un buen mantenimiento predictivo ayuda a garantizar la disponibilidad y eficacia requerida de los equipos e instalaciones, asegurando la duración de su vida útil y minimizando los costes de Mantenimiento, dentro del marco de la seguridad y el medio ambiente.

Los medidores fundamentales de la gestión de Mantenimiento son la Disponibilidad y la Eficacia, que van a indicarnos la fracción de tiempo en que los equipos están en condiciones de servicio (Disponibilidad) y la fracción de tiempo en que su servicio resulta efectivo para la producción (Eficacia).

## MANTENIMIENTO

Cada equipo de la planta cuenta con características importantes a la hora de valorar su estrategia de mantenimiento óptima. Dicha estrategia estará orientada a obtener la mejor disponibilidad, calidad y seguridad operativa del proceso y deberá considerar los siguientes factores:

- Criticidad en el Proceso
- Características Constructivas
- Condiciones Operativas

En función de estos factores se aplica una determinada estrategia de mantenimiento a cada máquina de la planta:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo o planificado.
- Mantenimiento predictivo o basado en la condición.
- Mantenimiento proactivo o ingeniería de mantenimiento.

La evolución del mantenimiento se estructura en las cuatro siguientes generaciones:

- 1ª generación: Mantenimiento correctivo total. Se espera a que se produzca la avería para reparar.
- 2ª generación: Se empiezan a realizar tareas de mantenimiento para prevenir averías. Trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada.
- 3ª generación: Se implanta el mantenimiento a condición. Es decir, se realizan monitorizaciones de parámetros en función de los cuales se efectuarán los trabajos propios de sustitución o reacondicionamiento de los elementos.

- 4ª generación: Se implantan sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento. Se establecen los grupos de mejora y seguimiento de las acciones. Sistemas del tipo TPM (Mantenimiento Productivo Total).

## **MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El Mantenimiento Predictivo consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial). Es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es articular un único sistema de gestión global de planta capaz de integrar operación y mantenimiento bajo la misma óptica y por otra parte optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

Desde el punto de vista técnico, una actividad de mantenimiento será considerada como predictiva siempre que se den ciertos requisitos:

- La medida sea no intrusiva, es decir, que se realice con el equipo en condición normal de operación (en marcha).
- El resultado de la medida pueda expresarse en unidades físicas, o también en índices adimensionales correlacionados.
- La variable medida ofrezca una buena repetibilidad.
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo típico de fallo del equipo, es decir, ofrezca alguna capacidad de diagnóstico.

Desde el punto de vista organizativo, un sistema de gestión de mantenimiento será predictivo siempre que:

- La medida de las variables se realice de forma periódica en modo rutina.
- El sistema permita la coordinación entre el servicio de verificación predictiva y la planificación del mantenimiento.

La organización de mantenimiento (planificación, taller) y la de producción (operación) esté preparada para reaccionar ante la eventualidad de un diagnóstico crítico.

Los últimos avances tecnológicos ya son utilizados en beneficio de las compañías industriales y están dando paso a una nueva filosofía que está imponiéndose con los sistemas de monitorización en continuo para la adquisición de parámetros indicadores del estado de la maquinaria.

La aplicación de los sistemas de adquisición y proceso de datos en continuo representa una serie de ventajas frente a la tradicional recogida de datos manual. Las modernas redes informáticas tejidas por las plantas industriales pueden trasladar la información desde las máquinas, hasta donde se interpreta, reduciendo los costes de operación de los sistemas y aumentando su fiabilidad, al contarse con abundante información a un coste mínimo.

## **EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y LA RECETA UNIVERSAL**

Se habla de cero averías, de cero defectos, de control total, de mínimo costo y algunos imaginan que tiene que haber sólo una solución para alcanzar tan loables objetivos. Se piensa, entonces, en una institución denominada *Mantenimiento Predictivo*, especie de fórmula mágica, capaz de dar respuesta de una vez y por todas, a los problemas de mantenimiento de toda una empresa, industria, planta, taller... La idea —si este tipo de creencia puede tomarse en serio— no puede ser más tentadoramente falsa. No existe, en mantenimiento, nada capaz de resolver y

aplicarse a todos los casos. Entiéndase, a todas las empresas y en cualquier condición. Es sabido de antaño que lo vital es el dominio de los principios que rigen las reglas de implantación de un *Programa de Mantenimiento* y que las recetas copiadas, al pie de la letra, puede resultar un total fracaso. No puede haber un Programa diseñado (o fácil de diseñar) para ninguna planta. Existen, si, líneas generales, métodos de trabajo, más, la solución particular nadie puede esperarla fuera del contexto de sus propias necesidades y limitaciones.

Lo anterior se evidencia con claridad si se reconoce que no existen dos plantas iguales en cuanto a tamaño, localización, equipamiento, servicio, distribución, régimen de explotación, etc. Si se considera que no hay dos empresas idénticas, que ellas difieren en organización, políticas de producción y en personal, no queda más remedio que aceptar que el *Programa de Mantenimiento* debe ser cortado a la medida y es único para cada lugar donde se vaya a aplicar; atendiendo al estudio de las necesidades y problemas propios, no teniendo, necesariamente, que incluir al célebre *Mantenimiento Predictivo*.

Y no es que se pretenda subestimar los beneficios que pudiera aportar, o que se quiera relegar la importancia de su existencia y desarrollo. Al contrario. Las tecnologías predictivas tienen, en mantenimiento, una importante influencia en el aumento de la disponibilidad, la reducción del consumo energético, la disminución de las emisiones de contaminantes, la reducción o eliminación de averías catastróficas, minimización de los costos por indisponibilidad y otras ventajas.

Sin embargo, no siempre la relación costo/beneficio está a su favor. Requiere personal especializado y de instrumentos relativamente costosos. Y no en todos los casos se justifica o es posible disponer de ellos. A veces, las ventajas que pudiera ofrecer no superan cualitativamente a las obtenidas con acciones preventivas o preventivas combinadas con técnicas de diagnóstico. Tampoco, resulta factible la aplicación de un *Programa Predictivo* a la totalidad de las áreas y máquinas de una planta. Lo aconsejable sería la aplicación en áreas y máquinas



de reconocida criticidad. Parece una verdad trivial, sin embargo muchos de los que oyen hablar del mantenimiento predictivo por vez primera, se enamoran de él y creen ver en sus cualidades la respuesta insuperable. La única respuesta, sin la cual no podrían resolverse los problemas. Un Programa Integral de Mantenimiento supera a un Programa Predictivo.

Los que hablan del mantenimiento predictivo como solución global aplicable a todos los casos, confunden la parte con el todo y de ahí pasan sin ningún esfuerzo a reafirmar públicamente: ¿Mantenimiento predictivo?

Las frecuencias de las actividades de mantenimiento predictivo deben basarse en los períodos de desarrollo de las fallas (intervalos de falla o intervalos P-F).

## **VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Entre las ventajas que proporciona el mantenimiento predictivo se nombran las siguientes:

1. Reduce los tiempos de parada.
2. Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
3. Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
4. La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
5. Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
6. Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
7. Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
8. Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.

9. Facilita el análisis de las averías.
10. Permite el análisis estadístico del sistema.

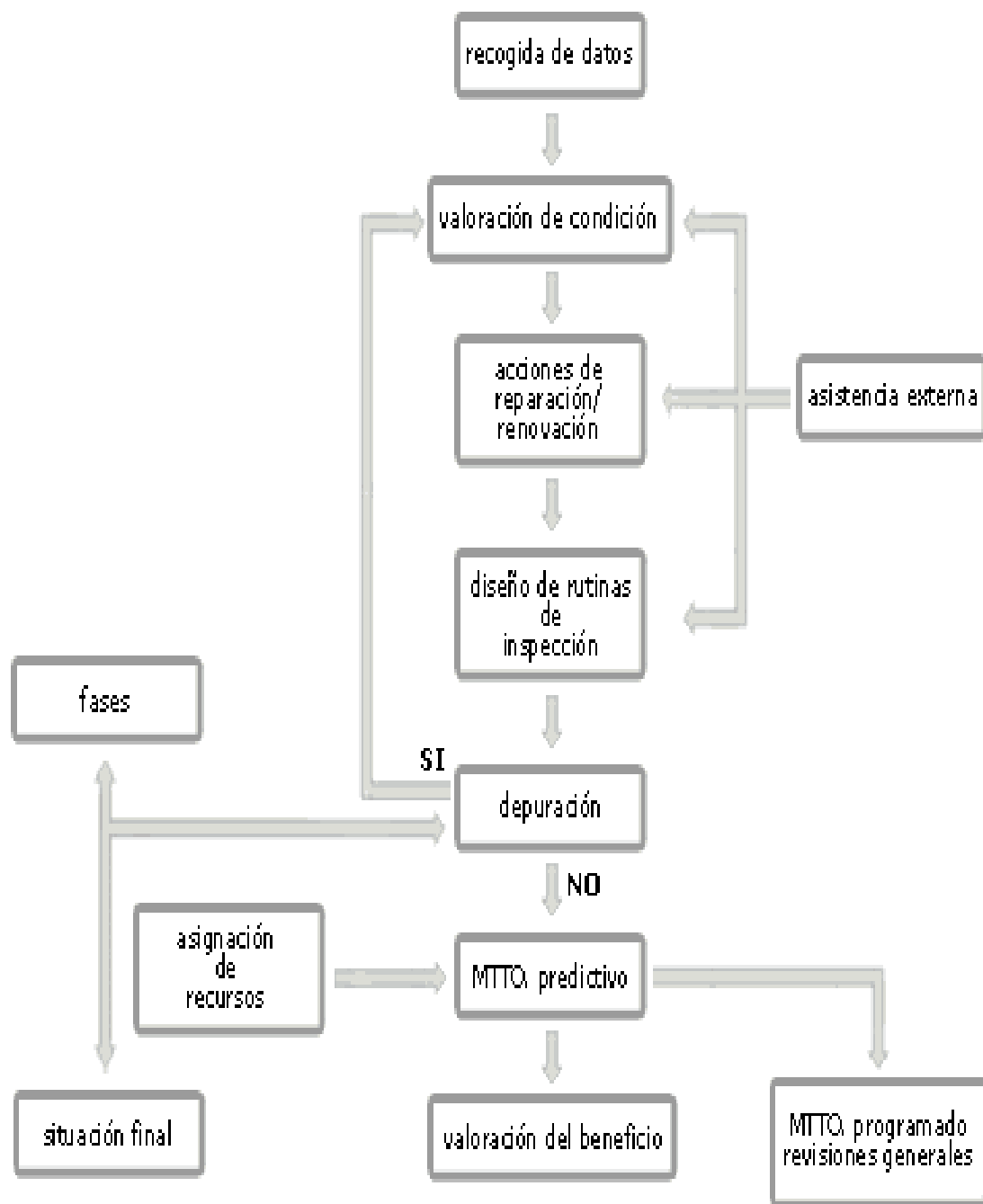
## **FASES DE IMPLANTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El siguiente diagrama de flujo representa las diferentes etapas y fases para implantar un programa de mantenimiento predictivo en una planta industrial.

Las primeras etapas: recogida de datos, valoración de condición, acciones de reparación renovación, diseño de rutinas de inspección, son muy importantes la primera vez que implantamos un programa de mantenimiento predictivo puesto que es básico partir de una buena información. En estas etapas es clave contar con asistencia externa que pueda enriquecer el análisis con otras experiencias ajenas, incluso, a nuestro subsector industrial.

La segunda parte de la implantación es de ejecución y de asignación de recursos por parte de la compañía y, más concretamente, de la Unidad de Mantenimiento. La información y los resultados obtenidos, a lo largo de los diferentes ensayos que se realizan, es la base de la eficacia del programa de mantenimiento predictivo en una planta industrial.

### fases de implantación del programa de MTTQ, predictivo



## **APLICACIONES DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

### **Por técnica predictiva**

Sin datos objetivos no podemos conocer el estado de las máquinas, un valor de temperatura, un nivel de vibración son parámetros a partir de los cuales podremos supervisar el estado de las máquinas de una planta industrial.

El mantenimiento predictivo, modulador de las acciones correctivas y preventivas, necesita nutrirse de información procedente de los sistemas de monitorización de las plantas.

En los últimos años se han producido importantes avances en este campo que ya se aplican con éxito en las industrias más productivas. En los siguientes apartados se exponen las claves para la aplicación con éxito de las técnicas avanzadas de monitorización de máquinas.

Las técnicas predictivas más relevantes son:

- Análisis de Lubricantes
- Termografía
- Análisis de Vibraciones
- Análisis de Motores Eléctricos de Inducción
- Análisis de Máquinas Alternativas
- Detección Ultrasónica
- Descargas parciales en máquinas eléctricas
- Parámetros de supervisión de grandes máquinas eléctricas
- Aislamiento en Hexafluoruro

## **Análisis de lubricantes**

La técnica del análisis de aceites viene aplicándose desde la Segunda Guerra Mundial al mantenimiento predictivo de las flotas de barcos y aviones de combate.

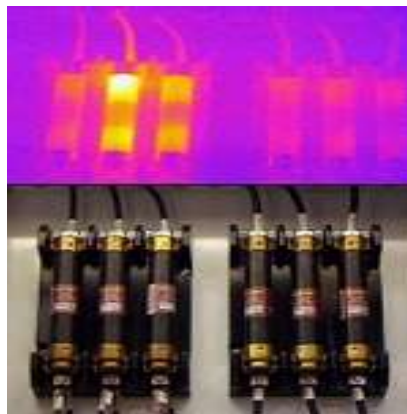
En la actualidad, el análisis de aceites se viene realizando por parte de los suministradores de aceites (Cepsa, Repsol, Mobil, Krafft, etc.) o por otros laboratorios especializados (Asinel, Labein, etc.), pero raras veces se compromete al laboratorio de la propia planta para hacer análisis con fines predictivos. Las técnicas de análisis son muy diversas y su utilización depende de la aplicación del aceite. A continuación se detallan las más habituales:

- Espectroscopia de Emisión.
- Espectroscopia de Absorción FTIR.
- Ferrografía.
- Recuento de partículas.
- Viscosidad.
- Contenido en agua.
- Grado de Acidez TAN.



## Termografía

La termografía por infrarrojos se ha ido extendiendo durante más de 20 años desde el campo de aplicación médico y militar a otras aplicaciones de mantenimiento industrial, especialmente en equipo y aparellaje eléctrico en alta y baja tensión (líneas, subestaciones, centros de control, etc.). La medida de temperatura sin contacto es una técnica fundamental en mantenimiento eléctrico que ha experimentado grandes cambios en los equipos e instrumentación disponibles, y que está aún en continua evolución. Se caracteriza por su espectacularidad, facilidad de manejo y capacidad de detección de puntos calientes



## Análisis de Vibraciones

El análisis de vibraciones se aplica con eficacia desde hace más de 30 años al control y diagnóstico de fallos mecánicos en máquinas rotativas. Inicialmente, se emplearon equipos analógicos para la medida de la vibración en banda ancha, lo que hacía imposible el diagnóstico fiable de fallos en rodamientos y engranajes. Más tarde, se incorporaron filtros sintonizables a la electrónica analógica, lo que incrementó enormemente la capacidad de diagnóstico, pero sin poder tratar la información de forma masiva. Desde 1984, se comenzaron a emplear equipos

digitales con FFT en tiempo real y capacidad de almacenamiento (analizadores-colectores) y tratamiento en software para PC.

Hoy día nadie pone en duda la capacidad del análisis de vibraciones en máquinas rotativas, que incluso permite el diagnóstico de algunos problemas en máquinas eléctricas. La información que puede procurar el análisis de vibraciones de forma exhaustiva en forma de parámetros de supervisión y gráficos de diagnóstico incluye:

#### Parámetros de Supervisión:

1. Medida de vibración global o total en banda ancha.
2. Medida de vibración en banda estrecha de frecuencia.
3. Medida de parámetros vibratorios específicos para detección de fallos en rodamientos y engranajes (demodulación, PeakVue,...).
4. Parámetros de la Forma de Onda: Simetría (Kurtosis) y Cresta (Skewness).
5. Fase vibratoria en armónicos: 1x, 2x, 3x,... RPM.
6. Medida de vibración síncrona en picos: 1x, 2x, 3x,... RPM.
7. Medida de vibración sub.-síncrona.
8. Medida de vibración no-síncrona.

#### Gráficos de Diagnóstico:

1. Forma de Onda.
2. Espectro de Frecuencia.
3. Diagramas Pico-Fase: Bodé, Nyquist, Polar,...
4. Órbitas X-Y de canales cruzados a 90°.



## **Análisis de motores eléctricos de inducción**

Los análisis de vibraciones pueden complementarse con análisis de corriente de alimentación y flujo magnético de dispersión cuando se trata de diagnosticar motores eléctricos de inducción.

Estas técnicas aplicables a motores de inducción son relativamente recientes:

Corriente de Alimentación. El espectro de corriente eléctrica se ha venido aplicando desde hace 15 años en el diagnóstico de problemas de barras rotas en motores de inducción de jaula de ardilla. La técnica es fiable en altos regímenes de carga, pero el tipo de avería no es frecuente en general.

Flujo de Dispersión. El espectro de flujo magnético es una técnica prometedora que ha despertado gran interés desde su aparición, hacia mediados de los 90. Mediante esta técnica se puede llevar un control de la evolución de fallos de aislamiento, cortocircuitos de espiras, y otros problemas relacionados con estator y rotor.





## **Análisis de maquinas alternativas**

En compresores de pistón y motores de explosión el análisis de vibraciones mediante FFT no es una técnica eficaz, ya que el espectro de vibración está muy nutrido de picos y resulta imposible discernir los distintos problemas mecánicos allí presentes.

El análisis de las trazas de presión de cilindro es la técnica fundamental en el diagnóstico predictivo de este tipo de máquinas. La presión de cilindro se puede representar en forma de curva cerrada respecto del volumen barrido por el pistón (P-V) o de curva abierta respecto del ángulo de cigüeñal (P- $\alpha$ ).

La curva P-V sirve para calcular potencia (IHP) y hacer un análisis de eficiencia (*performance*) de máquina, como técnica de evaluación de condición operativa por comparación con los parámetros nominales o de diseño.

La curva abierta P- $\alpha$  se utiliza para el análisis multicanal de las formas de onda, por superposición de variables típicas de condición mecánica (vibración y ultrasonidos) sobre la traza de presión de cilindro.

Los gráficos de diagnóstico típicos para máquinas alternativas son:

- Gráfico de Presión versus volumen de cilindro (P-V).
- Gráfico de Presión versus ángulo de cigüeñal (P- $\alpha$ ).
- Gráfico superpuesto de vibraciones BF (0-200 Hz) sobre la traza (P- $\alpha$ ).
- Gráfico superpuesto de vibraciones AF (1-20 kHz) sobre la traza (P- $\alpha$ ).
- Gráfico superpuesto de ultrasonidos (40-60 kHz) sobre la traza (P- $\alpha$ ).
- Monitor de cinemática angular de RPM (análisis de vibraciones torsionales).
- Gráfico FFT de presión (análisis de pulsación).
- Gráfico de Ignición Secundaria y Primaria (en M.E.P.).

### **Detección ultrasónica**

Existen numerosos fenómenos que van acompañados de emisión acústica por encima de las frecuencias del rango audible. Las características de estos fenómenos ultrasónicos hacen posible la utilización de detectores de ultrasonidos en infinidad de aplicaciones industriales dentro del mantenimiento:

- Detección de grietas y medición de espesores por impulso eco.
- Detección de fugas de fluidos en conducciones, válvulas, etc.
- Verificación de purgadores de vapor.
- Inspección de rodamientos.
- Control de descargas eléctricas en corona, tracking y arco.



## Descargas parciales en maquinas eléctricas

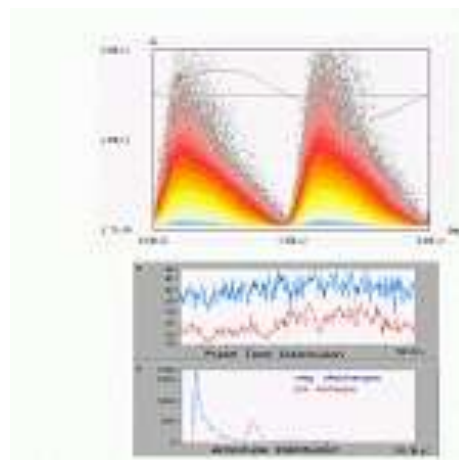
La técnica de descargas parciales es conocida desde hace más de 30 años y va a camino de convertirse poco a poco en la más aplicada a los sistemas de aislamiento en media tensión, por tratarse de la única técnica que permite evaluar el aislamiento de una máquina rotativa en operación. Los equipos de medida, inicialmente analógicos, han sufrido también una revolución para hacerse compatibles con todas las aplicaciones de equipos eléctricos (motores y alternadores, cables, interruptores,...), ofreciendo la siguiente información:

### Parámetros de supervisión:

- Descarga aparente (pC)
- Corriente de Fuga (nA)

### Gráficos de Diagnóstico:

- PDA (Distribución de pulsos por amplitud)
- PRPD (Distribución de pulsos por amplitud y fase, o "fingerprint")



## **Parámetros de supervisión de grandes máquinas eléctricas**

Las técnicas predictivas aplicables a grandes máquinas eléctricas es uno de los capítulos donde los investigadores están poniendo más interés para desarrollar tecnologías predictivas fáciles de aplicar y con capacidades de diagnóstico más fiables:

Entrehierro. El control del entrehierro en operación es una técnica de medida que emplea sensores capacitivos inmunes a la inducción de corrientes de Foucault. Esta tecnología existe desde hace unos 10 años, y existen más de 400 instalaciones "on-line" en alternadores hidráulicos y turbos de gran calado. Recientemente, ABB está empleando esta técnica como parte de un sistema de control de potencia en motores de molinos de cemento de nuevo diseño.

Flujo de Entrehierro. Es un sistema de medida inductivo para determinar problemas de excentricidad en turboalternadores y cortocircuitos de espiras en máquinas de polos salientes.

Vibraciones en barras de estator (SBV). Basada en sensores capacitivos, esta técnica monitoriza la vibración de barras en el interior de la ranura del hierro de alternadores para prevenir el desacuñamiento por fatiga.

Vibraciones en cabeza de bobina (EWV). Esta técnica emplea acelerómetros de fibra óptica para el control predictivo de las vibraciones en cabezas de bobina, para la prevención de la disgregación del aislamiento por fatiga y la consiguiente descarga eléctrica.



## Aislamiento en Hexafluoruro

El tratamiento y manipulación del  $\text{SF}_6$  se recoge en la recomendación CEI-1634, atendiendo a la prevención de asfixia del personal, la degradación del gas en ácido fluorhídrico (y sulfuro de tionilo) y la prevención de contaminación por aire (y vapor de agua). Todas las técnicas de análisis de  $\text{SF}_6$  son muy recientes, a pesar de que este gas viene aplicándose como aislamiento de equipos eléctricos de alta tensión desde hace mucho tiempo.

Medida de Degradación. Basada en medida de la concentración de HF (PPM ácido fluorhídrico) en una célula electroquímica de difusión.

Medida de Contaminación. Basada en medida de la pureza de oxígeno (PPM) o en el punto de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ ) a una determinada presión.

Detección de Fugas. Basada en la medida con sensores de efecto corona (PPM).



## Por Sector Industrial

Cada sector industrial tiene sus particularidades en cuanto a las características de su maquinaria crítica de manera que podemos realizar una división de técnicas y tecnologías de mantenimiento predictivo por sector industrial.

Tradicionalmente los sectores donde se ha aplicado y desarrollado el mantenimiento predictivo de maquinaria con mayor índice de implantación han sido:

- Generación eléctrica
- Petroquímico
- Cemento
- Papel
- Otras Industrias
- Laminación de metales



## Generación eléctrica

Las centrales eléctricas se caracterizan por poseer grandes turbinas, ya sean de vapor, de gas o hidráulicas. Este tipo de maquinaria es muy vulnerable ante las averías, de manera que un problema mecánico severo puede ocasionar la

autodestrucción de la máquina. Por ello, éste es quizás el sector industrial donde primero se utilizaron los sistemas de protección de maquinaria por vibraciones.

En los últimos tiempos la industria de generación eléctrica se enfrenta a nuevos retos, como son la desregulación y la renovación del parque de potencia (ver anexo 1).

## **Petroquímico:**

En el sector del petroquímico, las averías catastróficas pueden suponer la destrucción total de la instalación, por la peligrosidad de los productos tratados. La pérdida de producto procesado también puede suceder si en el momento crítico fallan los mecanismos de trasvase del producto de una zona a otra de la planta petroquímica. Las plantas petroquímicas cuentan desde hace años con equipos portátiles para recogida de datos de vibración por la planta, así como sistemas de medida en continuo sobre todo aplicados a la turbomaquinaria. La tendencia actual se centra en aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo a todas las máquinas críticas, incluyendo las turbomáquinas. Aprovechando la instrumentación existente para protección de la máquina, se toma la señal de vibración de los paneles existentes y se procesan con los modernos sistemas capaces de realizar análisis espectrales, de fase, forma de onda, análisis por bandas, diagramas de Bodé, espectros en cascada, etc. (ver anexo 2).

Las máquinas críticas en las plantas petroquímicas son:

- Turbomáquinas
- Bombas
- Compresores
- Reductores
- Ventiladores
- Motores eléctricos

## **Cemento**

En el sector del cemento está más que probada la aplicación de los sistemas para mantenimiento predictivo, tanto los colectores de datos de vibración portátiles como los modernos sistemas de monitorización en continuo (on-line). Consulte la nota de aplicación: Sistemas de medida de vibración en continuo en fábricas de cemento. Aplicación del sistema 4500 A continuación se detallan cuales son los puntos críticos donde conviene sensorizar las máquinas ya así supervisar continuamente el estado de ellas.

Un fallo en la cadena de transmisión de potencia que mueve el horno de cemento provoca la parada de la producción de la planta. Los motores y reductores son piezas críticas y deben ser vigilados para anticiparse a cualquier problema (ver anexo 3).

### **Molinos**

Los molinos de cemento son partes críticas en la cadena de producción de las fábricas de cemento, por este motivo, normalmente se montan sensores fijos que lleven su señal a un sistema de medición en continuo.

### **Ventiladores de horno**

El fallo en los ventiladores de horno, puede provocar situaciones de peligro al descontrolarse la temperatura en el horno. Los sistemas de medida en continuo eliminan los fallos imprevistos.

### **Reductores de hornos**

Estas máquinas son críticas debido a la necesidad de transmitir grandes potencias para hacer girar los hornos.



## **Separadores**

Máquinas de eje vertical donde los desequilibrios son frecuentes y por la disposición de la propia máquina pueden excitar frecuencias de resonancia de la estructura.

## **Papel**

En el sector del papel está más que probada la aplicación de los sistemas para mantenimiento predictivo, tanto los colectores de datos de vibración portátiles como los modernos sistemas de monitorización en continuo (on-line)(ver anexo 4).

## **Prensas**

Esta es quizás la zona de la máquina de papel más crítica por su influencia en la calidad del papel. La monitorización de las vibraciones aportará información sobre el estado de:

- Los rodamientos.
- La lubricación.
- Los cilindros y rodillos.
- Las telas.
- Los accionamientos.

## **Zona de secado**

La zona de secado está compuesta por una gran cantidad de cilindros y rodillos susceptibles de provocar una parada de la máquina en caso de fallo de un rodamiento. Aunque tradicionalmente se han tomado manualmente las medidas de vibración de esta zona, la parte alta dentro de la campana no podía ser medida con la máquina en funcionamiento por las elevadas temperaturas que se registran allí. Colocar un sensor por cada rodamiento en esta zona puede parecer costoso y laborioso, pero las fábricas que ya lo han hecho, continúan manteniendo la instalación, pues ya han visto las ventajas de disponer de la información necesaria

para sustituir rodamientos en paradas planificadas y anticiparse así a indeseables averías que producen ruinosas paradas de la producción.

### **Equipos auxiliares**

Bombas, ventiladores, motores, reductoras,...

### **Otras Industrias**

En industrias de automoción, alimentarias, farmacéuticas, etc. se van incorporando cada vez más los sistemas de mantenimiento predictivo basados en el estado de la maquinaria.

Un fallo en la cadena de producción provoca la parada de la producción de la planta. Los motores y reductores son piezas críticas y deben ser vigilados para anticiparse a cualquier problema. Además, son especialmente críticos los compresores de aire, sistemas de bombeo y ventilación en cabinas de pintado, bombas de alimentación, etc.

El hardware más extendido en este sector industrial para mantenimiento predictivo consiste en analizadores de vibración portátiles, sistemas de protección por nivel de vibración conectados al sistema de control mediante salidas, 4-20 mA. También se utilizan técnicas complementarias a la vibración como la inspección termográfica o la inspección ultrasónica (ver anexo 5).

### **Laminación de metales**

En el sector metalúrgico hace años que se aplican los sistemas de monitorización del estado de la maquinaria, aunque principalmente mediante analizadores de vibración portátiles.

Más recientemente estamos viendo un interés creciente hacia los sistemas de adquisición de datos **on-line**, las razones son:

La toma de datos mediante equipos portátiles se suele realizar cada 2 ó 3 semanas, en ese periodo de tiempo podría desarrollarse una avería y no sería detectada.

Los puntos de toma de datos de vibración en trenes de laminación son lugares donde la presencia humana es peligrosa en funcionamiento, de manera que se recomienda instalar sensores de vibración fijos para realizar la toma de datos.

Además, una vez tenemos la lectura de los datos de vibración en continuo, pueden usarse para otros cometidos distintos del mantenimiento, como por ejemplo el control de la calidad del producto laminado por evaluación de la intensidad del "**efecto persiana**" (chatter).

Al contar con sistemas de adquisición de datos automáticos, eliminamos las horas/hombre que antes se requerían para la toma de datos (ver anexo 6).

## **Por Maquina Motorizada**

- Aerogeneradores
- Ascensores para edificios
- Bombas
- Camiones de minas
- Compresores de aire
- Engranajes
- Estaciones de bombeo desatendidas
- Escaleras automáticas
- Equipos de refrigeración y calefacción de edificios
- Grandes máquinas alternativas: Compresores y Motores
- Grandes máquinas eléctricas
- Grúas
- Máquina herramienta
- Mecanizado de madera

- Minicentrales hidráulicas
- Molinos (cemento, yeso, cal,...)
- Radares (militares y civiles)
- Rodamientos y Soportes
- Separadores centrífugos
- Trenes de alta velocidad
- Turbomaquinaria
- Torres de refrigeración
- Ventiladores de refrigeración
- Ventiladores de túneles

## **INSTRUMENTACION PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

### **Recolección intermitente con colectores portátiles**

Los equipos portátiles de medida de vibración aplicados al mantenimiento de maquinaria, están contruidos con calidad industrial para ser usados en campo. La mayoría disponen de memoria en la cual almacenan los datos tomados en rutas de medición para descargarlos posteriormente a un PC donde se analizan tendencias para ver la evolución a lo largo del tiempo y los espectros, principalmente para diagnosticar los problemas y pronosticar futuros fallos.

### **Recolección automática con sistemas de adquisición en continuo**

Los sistemas de medida en continuo permiten, desde avisar o parar la máquina una vez alcanzado un determinado nivel de vibración, hasta recoger y almacenar todos los datos necesarios para realizar diagnósticos y realizar un mantenimiento predictivo. Podemos clasificar los sistemas de monitorización en continuo por su función de la siguiente manera:

Protección. Son dispositivos que actúan por nivel de vibración para parar la máquina antes de llegar a niveles peligrosos.

Supervisión. La supervisión del estado de la maquinaria se realiza mediante las medidas de vibración y su seguimiento mediante el estudio de tendencias. Los monitores de vibración suelen estar provistos de una salida 4-20 mA para comunicar los niveles de vibración al sistema de control (DCS).

Diagnóstico predictivo. Los sistemas on-line preparados para el mantenimiento predictivo recogen y almacenan datos de vibración y otros parámetros tanto en valor global, como espectros, forma de onda, fase, demodulación, etc.

Diagnóstico transitorio. Las turbomáquinas necesitan sistemas de adquisición de datos multicanales y con una elevada velocidad de adquisición. Esto permite tomar medidas simultáneas y así determinar las vibraciones transitorias que se producen en arranques paradas o cuando surge algún problema. Además, estos sistemas disponen de potentes herramientas gráficas de diagnóstico.

## CONCLUSIONES

Indiscutiblemente, a medida que las máquinas se hacen cada vez más complejas, se torna más evidente la necesidad de predecir ciertos fallos, una buena parte de los cuales dan alguna señal que constituye un aviso de que van a ocurrir o que están en proceso de ocurrencia. Para aquellos casos en los que es conveniente implementar una o varias tareas predictivas que eviten la ocurrencia de tales fallos, se debe decidir, entre otros aspectos, cuál sea la frecuencia con la que se acometerán.

La realidad indica que, en muchos casos, el criterio que se emplea para decidir es la frecuencia con la que ocurre un fallo dado, es decir, si determinado modo de fallo no ocurre muy a menudo, la frecuencia de la tarea predictiva que se le asocia es poco frecuente y viceversa.

La tarea predictiva se ejecuta con mayor frecuencia en una máquina crítica que en otra que no lo sea. Sin embargo, la credibilidad de estas acciones predictivas están seriamente amenazadas, porque lo cierto es que la frecuencia a la que se debe realizar una tarea predictiva no tiene nada que ver con la frecuencia de ocurrencia del modo de fallo que trata de evitar, ni tampoco con la criticidad de la máquina sobre la cual se aplica.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Generación Eléctrica



## ANEXO 2

### Petroquímico





## ANEXO 3

### Cemento



## ANEXO 4

### Papel



## ANEXO 5

### Otras Industrias



## ANEXO 6

### Laminación de Metales

