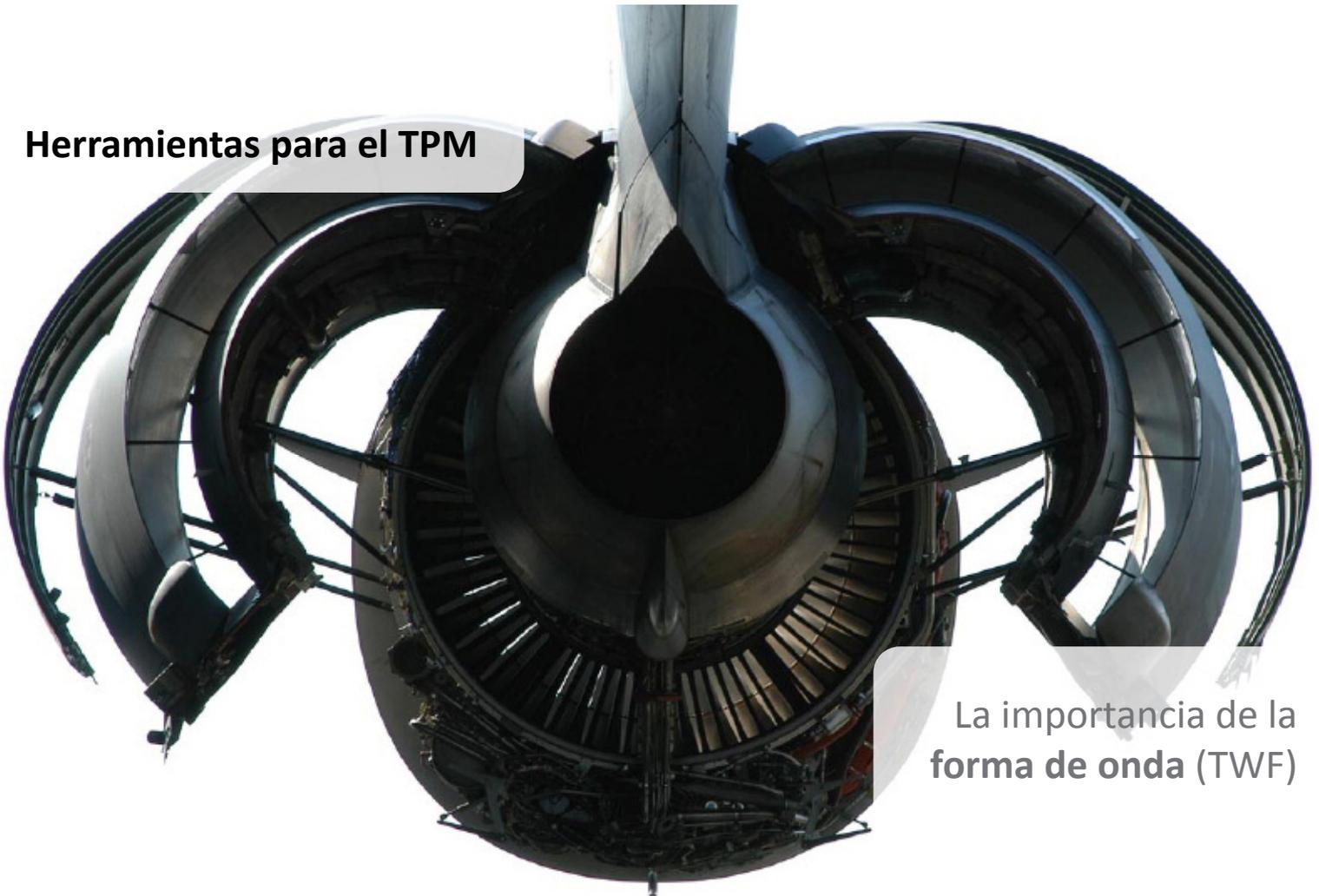


# Preditécnico

Boletín informativo de técnicas predictivas y fiabilidad industrial

Herramientas para el TPM



La importancia de la  
forma de onda (TWF)

## Tercer Foro Español de Fiabilidad y Mantenimiento Predictivo

¿Están bien mantenidos **sus sistemas de protección** ■  
de maquinaria por vibraciones?

Diferentes **tácticas de mantenimiento** para el ■  
sostenimiento de la fiabilidad de los activos

Curso express de alineación láser ■

Fiabilidad en el mantenimiento industrial ■

**Curso de analista de vibraciones** ■  
en el mantenimiento industrial



Your partner in reliability

Atención, esto es un link



Siempre que veas una palabra subrayada, significa que es un link y te llevará a una página web.



[www.preditec.com](http://www.preditec.com)

# EDITORIAL

PREDITÉCNICO

Transcurridos seis años desde que se editase el último número de la revista Preditécnico, hemos decidido aventurarnos a continuar con la edición de nuestra revista de información técnica sobre temas de fiabilidad industrial.

En los tiempos que corren, donde todo lo que se oye es acerca de recortes presupuestarios, Preditec/IRM nada contra corriente y dedica más recursos a la divulgación de las técnicas, tecnologías y filosofías relacionadas con la fiabilidad industrial.

Hoy es un hecho que las principales corporaciones industriales incluyen en su estrategia empresarial los principios de la fiabilidad industrial. La permanencia de los planes de mantenimiento predictivo a lo largo del tiempo en las principales corporaciones industriales es la prueba de que esta estrategia de gestión del mantenimiento es indudablemente rentable.

La edición de esta revista se realiza exclusivamente en formato electrónico, lo cual permite enlazar los artículos y notas técnicas con contenido multimedia de gran valor.

Esperamos que esta nueva etapa de Preditécnico se consolide y nuestros mensajes ayuden a crear la conciencia necesaria para aumentar la aplicación de las técnicas predictivas en la industria.



**Francisco Ballesteros Robles**  
Director de Marketing – Preditec/IRM

[www.preditec.com](http://www.preditec.com)

nº18 - Abril - 2012

Edita: Preditec/IRM

Director Editorial: Francisco Ballesteros Robles

Redactores: José Pedro Rayo Peinado  
Francisco Ballesteros Robles  
Simón Clemente Seijas

Publicidad: Ángela Ruiz Navarro  
[aruiz@preditec.com](mailto:aruiz@preditec.com)

Diseño y maquetación: Ángela Ruiz Navarro

ISSN 2254-5557

[www.preditec.com](http://www.preditec.com)

Queda prohibida la reproducción total o parcial de cualquier trabajo, su tratamiento informático, la transmisión por cualquier forma o medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia u otras, sin previo permiso por escrito del titular del Copyright.

**Contacta con nosotros:**  
**+34 916 121 163**  
**[www.preditec.com](http://www.preditec.com)**

# SUMARIO



## 01 Entrevista

*José Pedro Rayo Peinado* **11**

## 02 Novedades

*Tecer Foro Español de Fiabilidad y Mantenimiento Predictivo* **15**

*¿Están bien mantenidos sus sistemas de protección de maquinaria por vibraciones?* **17**

*Sensores de presión dinámica para turbinas de gas* **18**

*Herramientas para el TPM* **19**

## 03 Artículos

*La importancia de la forma de onda (TWF)* **21**

*Diferentes tácticas de mantenimiento para el sostenimiento de la fiabilidad de los activos* **27**

## 04 Destacamos

*Curso express de alineación láser* **31**

*Fiabilidad en el mantenimiento industrial* **32**

## 05 Formación

*Curso de analista de vibraciones de maquinaria* **33**

*Calendario* **36**

visite  
[www.preconcerto.com](http://www.preconcerto.com)



Sólo con informarte puedes ganar un iPad



Preditec/IRM ha creado la plataforma de servicios en la nube que revoluciona la manera en la cual se gestiona la información sobre el estado de los activos de planta.

**Quiero participar**

[Pinchar aquí >>](#)

Nombre completo	
E-mail	
Departamento	
Teléfono	
Código postal	
Ciudad	
País	
Estado	
Categoría	
Sector	
Otro	

01

# ENTREVISTA

## J.P. Rayo Peinado

por: Ángela Ruiz Navarro

Tenemos el placer de poder entrevistar a José Pedro Rayo Peinado, como persona de referencia en el ámbito del mantenimiento industrial y que hoy en día desempeña el puesto de director de fiabilidad en la empresa Preditec/IRM.

### ¿Cuántos años lleva usted trabajando en el mundo de la fiabilidad industrial?

En el mundo de la fiabilidad como tal, desde que salió. La fiabilidad se incorpora al mantenimiento, esa nueva visión, en los años 80. En el mundo del mantenimiento llevo 34 años, fundamentalmente en mantenimiento predictivo.

### ¿Se ha avanzado algo desde los años 80 hasta esta década en cuanto a la aplicación de la estrategia predictiva en el mantenimiento?

No cabe duda que se ha avanzado, sobre todo en tecnología. En los principios y en la aplicación, realmente yo creo que no, para ello nos podemos referir a todas las encuestas que se han hecho últimamente. Ya en los años 80 las encuestas indicaban que como máximo un 10% del mantenimiento que se hacía era mantenimiento predictivo, mientras que se seguía haciendo del orden de un 60% de mantenimiento al fallo, forma totalmente reactiva de actuar. En una encuesta llevada a cabo hace unos 2 años por nuestra empresa, los resultados que obtuvimos fueron los mismos, refiriéndonos a España un 55% aproximadamente el mantenimiento que se hace es mantenimiento al fallo, mientras que sólo un 40%-45% mantenimiento planificado. Dentro de este mantenimiento tenemos el preventivo a intervalo fijo y el preventivo según condición, es decir el predictivo, y de este no se hace más

de un 10%. Las cosas no han cambiado mucho, si hablamos del resto del mundo, no ya de España, las últimas encuestas también llevadas a cabo por SMRP - EE.UU, hablan de que se sigue haciendo del orden de un 55% de mantenimiento al fallo y sólo un 10% en predictivo. No se ve un avance importante en la aplicación de esta estrategia.

### ¿Existe actualmente una diferencia de actitud entre los responsables de la gestión de mantenimiento en América del Norte (y otros lugares avanzados) y España?

Si hablamos de actitud, que es lo más difícil de cambiar, debe ser proactiva siempre que queramos realizar algún cambio, si hablamos de actitud debemos analizar caso por caso.

Si hablamos de cómo han implementado estas metodologías actuales en EE.UU concretamente, y en el resto del mundo, no cabe duda que allí están más desarrolladas, hay una razón y es que son ellos los que han tomado la iniciativa en todos los nuevos procedimientos o metodologías que hasta ahora se han ido introduciendo. Así el mantenimiento predictivo por ejemplo, surge en EE.UU en el año 1952, el RCM surge en United Airlines en 1978 y el resto del mundo se va adaptando o siguiendo las corrientes. Lo cual no quiere decir que hoy, después de que ha transcurrido el tiempo, sean ellos los que realmente estén más concienciados y estén siguiendo de forma efectiva o eficaz estas metodologías. En España estamos bien posicionados.



**Entonces, ¿tenemos todavía camino por recorrer o hemos llegado ya al final del camino en este sentido?**

No hemos llegado al final del camino probablemente por una razón; comentaba que el mantenimiento predictivo surge en el año 1950, las empresas no comenzaron a implementarlo por entonces, pero a finales de los 70, y en España concretamente, empresas donde trabajan con tecnología norteamericana, refinerías de petróleo, etc, empiezan a instalar sistemas de mantenimiento predictivo. Con el paso del tiempo cuando parece que muchas más empresas y segmentos los están incorporando en sus empresas, surge algo nuevo, como puede ser el RCM, lo cual hace que muchas empresas se desvíen de la trayectoria original para adoptar una nueva corriente o tendencia, que cuando todavía no se ha terminado de implementar, y cuando se habla ya de fiabilidad, surge otra nueva metodología, el TPM, y mucha gente que se había desviado para otras prácticas, se desvían de nuevo, de esta manera estamos siguiendo. Lo que vemos es que los que inicialmente aplicaron predictivo, si se hubieran mantenido en esa dirección, hoy estarían en una posición mejor y más avanzada. ¿Queda mucho camino por recorrer? Sí, mucho.

**¿Por qué las compañías que han intentado aplicar el RCM parece que sólo se han quedado en la teoría y les está costando tanto llevar esta estrategia a la práctica?**

Verdaderamente, también hay que analizar caso por caso, hay empresas que lo han iniciado, que tenían claro los objetivos, y que tenían claro donde estaban y donde querían llegar, entonces han trazado el camino, lo han medido lo han seguido y han llegado a la meta, pero lamentablemente es el caso de muy pocas empresas. Hay otras que han iniciado un proceso de RCM, por ejemplo sin saber claramente cual es el objetivo, si no se utiliza verdaderamente para lo que se debe aplicar, que es para la distribución correcta de las tareas de mantenimiento, al final se termina convirtiendo para lo que los americanos llaman un monstruo consumidor de recursos, en definitiva no se llega a un objetivo, se emplean muchos recursos, mucho tiempo, mucho esfuerzo de inversión, al final, para perderse por el camino.

**Cómo estima el futuro de los departamentos predictivos, ¿con más personal propio bien formado o con más subcontratación de servicios de diagnóstico?**

También la pregunta requiere un análisis, porque el mantenimiento predictivo hay que entenderlo como lo que realmente es, con el mantenimiento predictivo lo que intentamos es seguir el estado de la salud de un equipo, y en base a su estado tomar decisiones de mantenimiento. Si yo monto un hospital, una enfermera sin mayor cualificación, puede perfectamente tomar la temperatura de un enfermo o medir la presión arterial, para ver como evoluciona, lo que no vamos a conseguir nunca es que esa misma persona que tiene una determinada cualifica-

ción pueda enfrentarse a lo mejor a un análisis avanzado de diagnóstico utilizando resonancia magnética y que esté capacitada y preparada para manejar un equipo de resonancia magnética e interpretar los resultados de esa técnica de diagnóstico. Si lo trasladamos a nuestro entorno, es exactamente lo mismo. Es decir, cualquier persona sin una formación especial, con un curso básico, puede aprender a tomar medidas en las máquinas, ya sea: vibración, temperatura, ultrasonidos, lo que sea, para intentar detectar cuál es el estado de salud y anticiparse así al fallo de la máquina, detectándolo lo antes posible, objetivo del predictivo. Cuando realmente se detecta el problema, entonces depende de cuál sea la naturaleza y lo que evidentemente no van a tener todas las empresas, es personal formado y con la experiencia que pueden ofrecer las empresas especializadas en análisis avanzado, en tecnologías que hace falta mucha preparación y un nivel muy alto de cualificación para poder aplicarlas.

**¿Se puede diagnosticar el estado de excelencia de un departamento de mantenimiento en relación a la aplicación de estrategias de gestión del mantenimiento?**

Evidentemente, es fundamental para lo que hoy se llama optimización de mantenimiento, realmente todas las empresas tienen un sistema u otro y son pocas las que lo han llevado a un nivel de optimización que permita desarrollar un trabajo correcto y obtener los resultados que se persiguen.

Hay un cambio por otro lado. Antes se consideraba, el mantenimiento como un centro de costos, cuando realmente sabemos que haciendo bien las cosas se puede convertir en lo que realmente es, que es un centro de beneficios, para llegar a esos objetivos hay que llevar a cabo una optimización de nuestras tareas y esa optimización pasa por hacer un diagnóstico de cual es la situación en la que nos encontramos y en una medida muy importante es la correcta distribución de las tareas lo que nos va a llevar a su optimización y en definitiva a conseguir los objetivos que deseamos. Yo creo que desde ese punto de vista queda mucho trabajo por hacer. En líneas generales se hace demasiado mantenimiento y el mantenimiento cuesta dinero.

**Y en el caso de que se detecten puntos de mejora, ¿es sencillo implantar planes de optimización de los recursos de mantenimiento?**

La mayor parte de las veces, y una vez detectados los puntos débiles a través de un diagnóstico o auditoría, vamos a encontrar en prácticamente todas las plantas, por lo menos en donde lo hemos llevado a cabo, puntos débiles y ahí en esos puntos débiles es donde van a estar realmente las oportunidades de mejora. Y ¿es fácil encontrarlas? Sí. ¿Y aplicar esas oportunidades de mejora? No hay que recurrir desde luego a grandes inversiones, grandes procedimientos, embarcarse en procesos que van a durar años y que no sabemos si nos van a llevar a ningún resultado, sino que simplemente es optimizar: con hacer las cosas

de otra manera y muchas veces sin una inversión importante, sin tener que incrementar los recursos que tenemos en la compañía y con una adecuada reorganización, eliminando muchas tareas que no es necesario llevar a cabo y que no sabemos por qué las realizamos, podemos llegar en tiempo record a una optimización de las tareas y a conseguir los beneficios que todos perseguimos.

**Ante un horizonte futuro invadido por productos asiáticos, ¿se hacen más necesarias las políticas de gestión de excelencia operacional?**

Es evidente, es decir, creo que comentábamos hace un momento, que es necesario el entender que el departamento de mantenimiento no es un centro de costos, es un centro de beneficio. Si sabemos, y lo sabemos, que una reducción de costos de un 10% en mantenimiento tiene el mismo impacto en el resultado final del balance de la compañía que un incremento del 40% en las ventas, nos daremos cuenta de la importancia que tiene el gestionar adecuadamente los activos. Y si pensamos que en muchos casos un incremento, un pequeño incremento en la tasa de producción del 2% nos puede llevar a un importante incremento del beneficio en la cuenta de resultados de la compañía, nos daremos cuenta que gestionar correctamente los activos, evidentemente va a marcar una diferencia. Nos va hacer más productivos, va hacer que tengamos mayor rendimiento. ¿Y cómo conseguir todo eso? De una forma muy sencilla, sosteniendo la fiabilidad de los activos, gestionar la fiabilidad de los activos implica, aumentar el MTBF (tiempo medio entre fallos) aumentar la disponibilidad, y en definitiva mejorar la producción, que es lo que debemos perseguir realmente. Si no lo hacemos nosotros nuestro competidor lo va hacer.

**¿Qué futuro le augura a aquellas organizaciones que no implanten sistemas de gestión que optimicen sus recursos productivos y su mantenimiento?**

Está muy claro, el mundo cada vez es más competitivo, es lo que comentaba. Es decir, si yo no lo hago, estoy casi convencido que mi competencia lo va hacer o lo puede hacer. Y si mi competidor tiene unos mejores costos de producción, unos mayores beneficios y tiene optimizados todos los recursos productivos no me cabe duda que mi futuro va a estar bastante comprometido.

**“... se hace demasiado mantenimiento y el mantenimiento cuesta dinero...”**

**HEAR MORE SDT**

**SDT270**  
the evolution of ultrasound

**El detector de ultrasonidos más evolucionado para el mantenimiento predictivo**

**Varios pasos por delante**

- Una predicción sin precedentes en la detección y medición
- Grabación de archivos de ondas dinámicas y sonido
- Dos canales de entrada
- Tacómetro láser y prómetro integrados
- Integración de bases de datos SQL
- Transferencia de datos a través de USB y conexión Ethernet
- Software de diagnóstico amigable
- Sistema modular ampliable

**Aplicaciones... fuentes de ahorro inmediato**

- Detección de fugas de aire comprimido
- Inspección de purgadores de vapor
- Supervisión del estado de los rodamientos
- Control de la lubricación en tiempo real
- Detección de cavitación en bombas
- Detección de fugas internas en válvulas
- La detección de fallos eléctricos

**Ex II 1 G Ex ia IIC T3/T2 Ga**

**¡Pónganos a prueba! GRATIS**  
Clickea una o dos aplicaciones en sus instalaciones y realizaremos una demostración gratis y sin compromiso

SDT International s.a.  
Rd de l'Humanité 415  
B-1190 Bruxelles  
info@sdtdt.be - www.sdtdt.be

# NOVEDADES

## Tercer Foro Español de Fiabilidad y Mantenimiento Predictivo

Tras el éxito de las pasadas ediciones, se ha programado el Tercer Foro Español de Fiabilidad y Mantenimiento Predictivo, que convoca a los ingenieros de fiabilidad, analistas predictivos y gestores del mantenimiento industrial a una serie de jornadas técnicas a celebrar en Madrid, Puertollano, Sagunto, Huelva, Sevilla, Algeciras, Barcelona, Tarragona, Cartagena, Bilbao, Gijón y A Coruña.

### CALENDARIO

#### Abril 2012

Día 10, martes en Madrid  
Día 11, miércoles en Puertollano  
Día 12, jueves en Cartagena  
Día 24, martes en Barcelona  
Día 25, miércoles en Tarragona  
Día 26, jueves en Sagunto

#### Mayo 2012

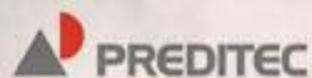
Día 8, martes en Huelva  
Día 9, miércoles en Sevilla  
Día 10, jueves en Algeciras  
Día 15, martes en A Coruña  
Día 16, miércoles en Gijón  
Día 17, jueves en Bilbao

### Inscríbese

Y si no ha podido acudir personalmente a este Foro, le invitamos a consultar la información sobre los temas tratados en [www.preditecnico.com](http://www.preditecnico.com)

# TERCER FORO ESPAÑOL DE FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO PREDICTIVO

ASISTENCIA  
GRATUITA



Your partner in reliability

### PROGRAMA

09:30 Presentación de la jornada  
10:00 La optimización del Plan de Mantenimiento  
11:00 Coffee break  
11:20 Mantenimiento predictivo multitecnología  
11:40 Nuevas tecnologías de monitorización en la nube "Cloud Monitoring"  
12:00 Mantenimiento de sistemas de monitorizado  
12:15 Aplicaciones de los ultrasonidos en el mantenimiento industrial  
12:30 Cómo arrancar con éxito un programa de mantenimiento predictivo  
12:45 Técnicas avanzadas de diagnóstico y causa raíz  
13:00 Mesa redonda sobre los temas expuestos  
13:30 Fin de la jornada

Asistencia gratuita previa inscripción. Para inscribirse, rogamos rellene el formulario correspondiente a su ciudad (ver apartado Calendario).

# ¿Están bien mantenidos sus sistemas de protección de maquinaria por vibraciones?

Ponemos a punto cualquier tecnología

AEG

METRIX  
Experience ValueRockwell  
Automation

SHINKAWA

Brüel &amp; Kjær Vibro

SCHENCK

BENTLY  
NevadaVibro-Meter  
MEGGITT

Video patrocinado: Instalación y mantenimiento de instrumentación de monitorizado por vibraciones

La medida de la vibración es un método muy efectivo para proteger y supervisar la maquinaria. Pero los sistemas de monitorizado en continuo no siempre se encuentran en un estado óptimo, principalmente por los siguientes motivos:

Los sistemas de monitorizado en continuo son una instrumentación distinta de la típica de PLCs y por ello los instrumentistas de planta no siempre están familiarizados con estos sistemas dedicados, a menos que hayan sido formados para ello.

- Las revisiones periódicas de la maquinaria pueden dañar sensores o cables del sistema de protección por vibraciones.
- Los módulos de medida de la vibración han podido quedar obsoletos y el fabricante ya no suministra repuestos.
- A veces se han encontrado errores de instalación o de configuración de origen.

· El servicio técnico de los fabricantes de los sistemas de monitorizado es muy costoso y a veces propone la actualización de todos los componentes del armario del sistema de protección.

Pero la solución a estos problemas no es dejarlos morir o aplazar su resolución, porque si un sistema de protección no actúa cuando debe, se pueden producir las siguientes situaciones:

- Riesgo de seguridad para las personas.
- Riesgo de daños irreversibles en la maquinaria y aledaños.
- Riesgo de emisiones a la atmósfera o de vertidos de líquidos peligrosos con sus consecuencias medioambientales.
- Riesgo de interrupción del proceso productivo, con todas sus consecuencias.



Es fundamental pues que los responsables de estos sistemas se ocupen de su mantenimiento, para asegurar que actúen cuando se superen los niveles prefijados y así cumplan con su función de protección. Por todo ello se ha de poner especial atención en:

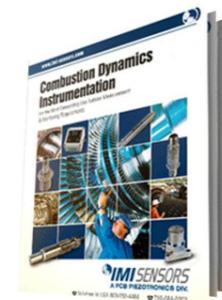
- Respetar las normas internacionales relativas a estos sistemas (API670, ISO10816...)
- Verificar la calibración de los sensores de vibración y de toda la cadena de medida.
- Asegurar que no existen problemas en la instalación física del cableado ni en la inducción de interferencias radioeléctricas.
- Comprobar que la configuración de los parámetros de medida de la vibración son los adecuados para que las medidas se realicen correctamente.
- Verificar que los relés de alerta y disparo actúan correctamente cuando se alcanzan los niveles prefijados.
- Comprobar que los niveles de disparo prefijados son adecuados para cada máquina monitorizada.

Los sistemas de protección de maquinaria por vibraciones son frecuentes en refinerías, plantas químicas, centrales eléctricas de carbón o gas, centrales nucleares, centrales hidráulicas, fábricas de cemento, plantas de laminación de metales, laboratorios farmacéuticos, plantas alimentarias y otras plantas de proceso. ■

Enlaces patrocinados:

- [Servicio de mantenimiento de instrumentación de monitorizado por vibraciones](#)
- [Nuevo sistema de protección por vibraciones SETPOINT de Metrix](#)
- [Monitores de protección XM de Rockwell Automation \(Allen Bradley\)](#)
- [Curso de diseño de sistemas de monitorizado por vibraciones](#)

## Sensores de presión dinámica para turbinas de gas



Descargar PDF

Durante más de 40 años, PCB se ha especializado en el diseño y fabricación de sensores y sistemas de medición innovadores para la monitorización de turbinas de gas.

Debido a la necesidad de mejorar la eficiencia en relación al consumo de combustible y la reducción de emisiones de escape, las turbinas de gas actuales aplican innovaciones tecnológicas, pero también sufren nuevos problemas derivados de estas innovaciones. Para reducir las emisiones de NOx se genera una llama más delgada, pero esto aumenta la inestabilidad (la dinámica de la combustión) en la turbina de gas. Esta inestabilidad puede dañar los componentes de la cámara de combustión, lo cual provoca averías, paradas no programadas y en definitiva pérdida de ingresos. ■

# Herramientas para el TPM



Vibrómetro para TPM modelo PRE5050

El TPM (Total Productive Maintenance) se aplica con éxito en plantas de fabricación donde los operadores de producción tienen contacto cercano con la maquinaria. Los beneficios del TPM son muchos y tienen un impacto considerable en los resultados anuales de los indicadores de la rentabilidad de la planta. Pero conseguir que los operadores de planta se consideren a sí mismos técnicos de mantenimiento de primer escalón no es tan sencillo, aunque existen dos puntos clave que ayudarán al buen desarrollo del TPM en las plantas de producción:

1. Dotar a los operadores de mantenimiento de medios técnicos que aporten indicadores objetivos sobre el estado de la maquinaria.
2. Procedimentar el registro de la información y comunicación con el departamento de mantenimiento.

Kuino Shirose propone las siguientes actividades para los operadores de planta:

- \* Rutas de inspección diarias.
- \* Rutas de lubricación.
- \* Sustitución de piezas.
- \* Pequeñas reparaciones.
- \* Chequeos de precisión.
- \* Detección del deterioro del estado de la instalación.

Se pretende, por lo tanto, que los operadores sean capaces de determinar si las condiciones de funcionamiento dejan de ser normales y actuar para reparar o reportar la avería al departamento de mantenimiento, luego se les ha de dotar de herramientas de supervisión y evaluación del estado de la maquinaria.

Tanto los medios para obtener la información sobre el estado de la maquinaria, como la forma de reportar esta información han de ser sencillos y efectivos, porque cuanto más complicados sean más probabilidad tendremos de que falle la implantación del TPM.

Al facilitar al operador de estos medios técnicos conseguimos además motivarle e involucrarle en el buen funcionamiento de la maquinaria. Se ha de eliminar completamente la idea de que mientras la máquina funciona, la máquina pertenece a producción, pero cuando esta deja de funcionar por una avería, entonces la máquina es de mantenimiento.

Las herramientas recomendadas para que el operador de planta supervise las máquinas son:

- \* Estetoscopio, para la escucha de ruidos internos de la maquinaria.
- \* Termómetro
- \* Vibrómetro
- \* Detector de fallos en rodamientos
- \* Lámpara estroboscópica

<b>Estetoscopio</b>	Escucha de ruidos internos de la máquina.
<b>Termómetro</b>	Problemas de lubricación, calentamiento de motores, roces, sobrecargas...
<b>Vibrómetro</b>	Desequilibrios, desalineaciones, holguras...
<b>Envolvente</b>	Defectos en rodamientos y engranajes.
<b>Estroboscopio</b>	Medida de rpm e inspección de elementos móviles, como palas, poleas, correas, cadenas...

Fig. 1 Tabla de detección de fallos en función de la técnica aplicada.

Con este planteamiento conseguimos que el operador de planta sea como enfermero del centro de salud y el técnico de mantenimiento sea como el médico especialista del hospital general.

Hoy día existen en el mercado instrumentos que pueden realizar la mayor parte de estas medidas por un coste más que razonable, de manera que cada operador de planta puede equiparse con su equipo de inspección para la supervisión de su área de actuación. ■

**ivib** Advanced Machinery Supervisor

Muy pronto...

03

# ARTÍCULOS



Simón Clemente Seijas

## La Importancia de la Forma de Onda (TWF)

**E**l análisis de la forma de onda es importante para diagnosticar cajas de engranajes y problemas relacionados con rodamientos.

En el caso particular de análisis de cajas de engranajes existe un fallo que afecta el patrón de la forma de onda en un modo particular.

UN DIENTE ROTO, FISURADO O AGRIETADO, AFECTARÁ LA AMPLITUD PICO-PICO DE LA FORMA DE ONDA DEBIDO A LA DISTORSIÓN GENERADA POR EL IMPACTO PUNTUAL INTRODUCIDO POR EL DIENTE DETERIORADO AL MOMENTO DE ENGRANAR.

No es el objeto de este artículo el tratar todos los fallos potencialmente detectables por medio del análisis de vibraciones mecánicas en cajas de engranajes.

ANALIZAREMOS UN CASO REAL DE DIAGNÓSTICO PUNTUAL EN UNA CAJA DE ENGRANAJES CON UN PROBLEMA, QUE COMO ADELANTAMOS ANTES, AFECTA PRINCIPALMENTE EL DOMINIO DEL TIEMPO (TWF - FORMA DE ONDA EN EL TIEMPO) Y CON AFECTACIÓN NO TAN EVIDENTE EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA (FFT - ESPECTROS).

Se trata de una caja de engranajes similar a la de la **Figura 1**:

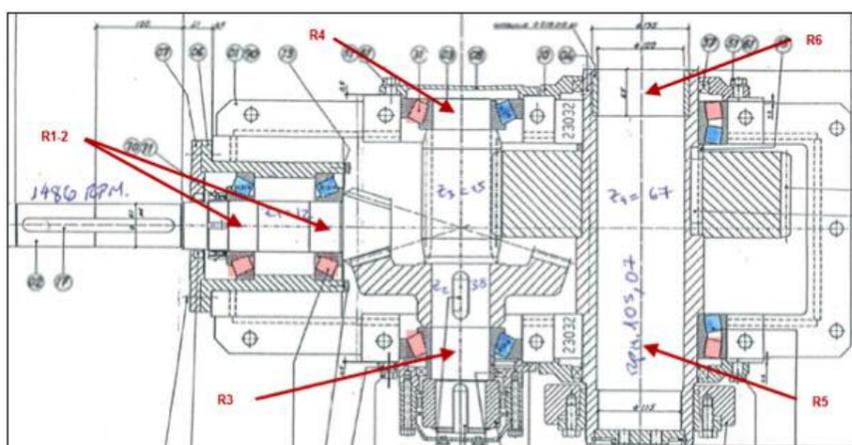


Figura 1

Engranaje	Nº D	CPM	Hz	1 x FE (Ord)	2 x FE (Ord)	3 x FE (Ord)
Z1 (entrada)	12	1488,5	24,8	12 x RPM1	24 x RPM1	36 x RPM1
Z2 (intermedio 1)	38	470,1	7,8	38 x RPM2	76 x RPM2	114 x RPM2
Z3 (intermedio 2)	15	470,1	7,8	15 x RPM2	30 x RPM2	45 x RPM2
Z4 (salida)	67	105,2	1,8	67 x RPM3	134 x RPM3	201 x RPM3

Engranaje	Nº D	CPM	Hz	1 x FE (Hz)	2 x FE (Hz)	3 x FE (Hz)
Z1 (entrada)	12	1488,5	24,8	297,7	595,4	893,1
Z2 (intermedio 1)	38	470,1	7,8	297,7	595,4	893,1
Z3 (intermedio 2)	15	470,1	7,8	117,5	235,0	352,5
Z4 (salida)	67	105,2	1,8	117,5	235,0	352,5

Tabla 1

De esta caja de engranajes podemos destacar las siguientes frecuencias forzadas:

$$RPM\ 2\ (Z2\ y\ Z3) = (RPM1) \cdot \frac{Z1}{Z2} = 470,1\ rpm$$

$$RPM\ 3\ (Z4) = (RPM1) \cdot \frac{Z1}{Z2} \cdot \frac{Z3}{Z4} = 105,2\ rpm$$

De izquierda a derecha, en la **Tabla 1**, tenemos el número de dientes de cada rueda dentada (columna NºD), la frecuencia de rotación en CPM y en Hz de cada rueda:

$$FE1\ (Hz) = \frac{RPM1 \cdot Z1}{60} = \frac{RPM2 \cdot Z2}{60} = 297,7\ Hz$$

$$FE2\ (Hz) = \frac{RPM2 \cdot Z3}{60} = \frac{RPM3 \cdot Z4}{60} = 117,5\ Hz$$

Luego la frecuencia de engrane (1 x FE) de cada etapa de reducción:

Por último el 2x y 3x de la Frecuencia de Engrane (2xFE, 3xFE).

Se han tomado medidas en los puntos R1, R2, R3, R4, R5 y R6 (**Figura 1**). Teniendo presente que los engranajes son helicoidales (**Figura 2**) se ha colocado un punto en dirección axial en los puntos R3 y R6. A ambos lados del acoplamiento (esto incluye el punto R1) se mide en las tres direcciones (V, H y Ax).

Recordemos que los engranajes rectos generan cargas principalmente en dirección radial y los engranajes helicoidales generan cargas importantes en dirección axial.

En la **Tabla 2** se resumen los valores globales en mm/s medidos en cada punto.

Los valores globales de la **Tabla 2** podrían ser considerados normales.



Figura 2



Figura 2.1

Punto	V-Global	Unid.
R1H	1,544	mm/s - rms
R1V	1,814	mm/s - rms
R1A	1,475	mm/s - rms
R2V	1,720	mm/s - rms
R3V	1,997	mm/s - rms
R3A	1,942	mm/s - rms
R4V	1,581	mm/s - rms
R5V	1,791	mm/s - rms
R6V	1,372	mm/s - rms
R6A	1,560	mm/s - rms

Tabla 2

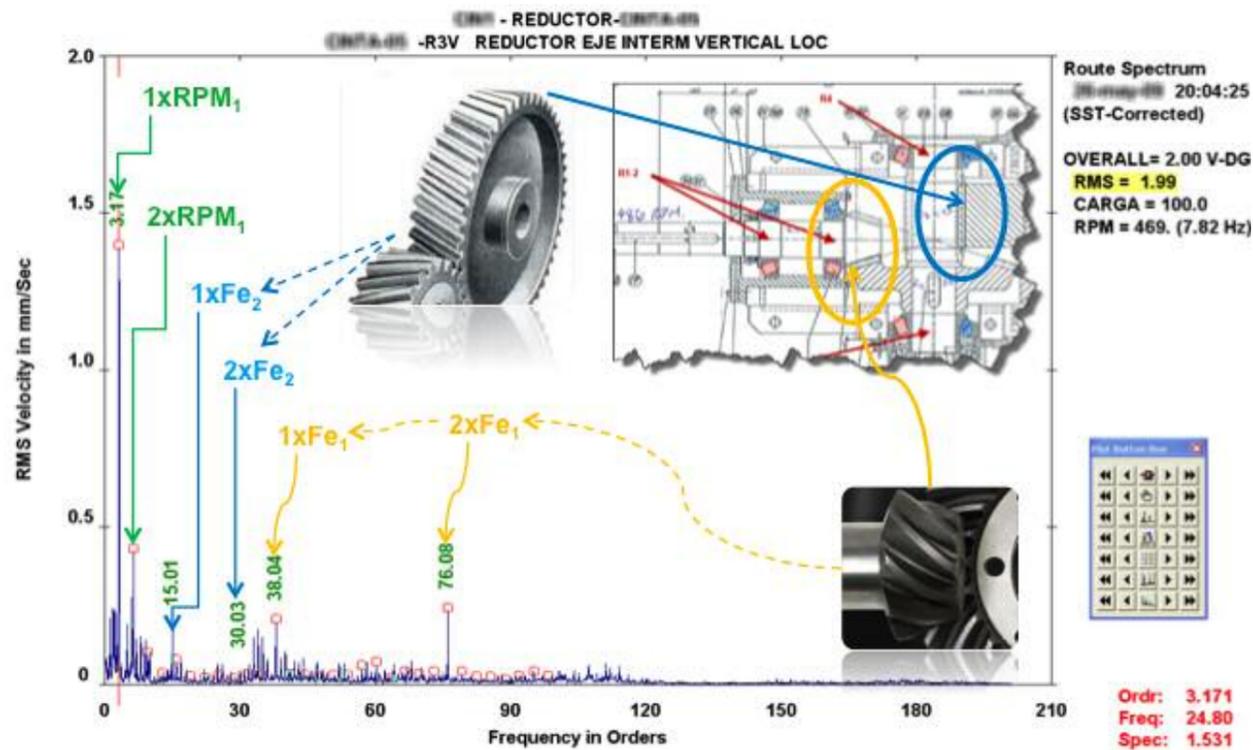


Figura 3

En la **Figura 3** observamos el espectro en dirección radial en el punto 3 (R3Vertical). Las bajas amplitudes observadas (valor global de 1,99 mm/s rms) pueden dar a entender que no existen problemas en esta caja de engranajes.

Dentro de la firma espectral destaca el **1xRPM1** y el **2xRPM1** (rpm del eje de entrada) siempre en baja amplitud. El segundo armónico se interpreta como desalineación residual entre el motor y el eje de entrada.

También podemos observar la frecuencia de **engrane 2** → **1xFe2 (15xRPM2)** y un segundo armónico prácticamente imperceptible por su baja amplitud.

La frecuencia de 38 órdenes de giro corresponde a la frecuencia de **engrane 1** → **1xFe1 (38xRPM2)**, la amplitud de **2xFe1 > 1xFe1** nos podría sugerir desalineación “residual” entre las ruedas dentadas, no obstante LAS BAJAS AMPLITUDES NOS LLEVAN A DESESTIMAR ESTA FIRMA ESPECTRAL POR CONSIDERAR BAJAS TODAS LAS AM-

PLITUDES (es común encontrar firmas espectrales en cajas de engranajes sin anomalías importantes con un espectro similar al de la **Figura 3**).

Con la información que tenemos hasta ahora no nos aventuraríamos a sugerir una intervención en esta máquina\*.

Seguidamente veremos más información de otros parámetros.

En la **Figura 4** observamos el espectro en dirección axial en el punto 3 (R3A). Las amplitudes siguen considerándose bajas (valor global de 1,94 mm/s rms). No obstante de este espectro podemos resaltar: 1. Del punto de vista de amplitudes el segundo armónico de la frecuencia de engrane 2 mayor que el primero (**2xFe2 > 1xFe2**) 2. El segundo y tercer armónico de la frecuencia de engrane 1 mayor que la fundamental (**3xFe1 > 2xFe1 > 1xFe1**) 3. El nivel de ruido (hierba o pasto) que tiene el espectro. De lo anterior concluimos que existe

desalineación, algo de excentricidad y del ruido que se trata de un problema de severidad media-alta.

En la **Tabla 3** se resumen los valores globales medidos en PeakVue (Demodulación). Si nos centramos sólo en el valor como tal, los mismos no dan a entender la existencia de anomalías.

\*De esta máquina no se tiene ningún histórico por ser la primera vez que se media, ya que en esta planta en particular nunca antes se habían tomado medidas de vibraciones mecánicas. Este reductor pertenece a una línea de producción en continuo, es un equipo crítico ya que el fallo operacional del mismo detiene toda la línea de producción y no cuenta con equipo de respaldo (backup). Cabe destacar que la hora de parada en esta empresa tiene un costo de 4.000€.

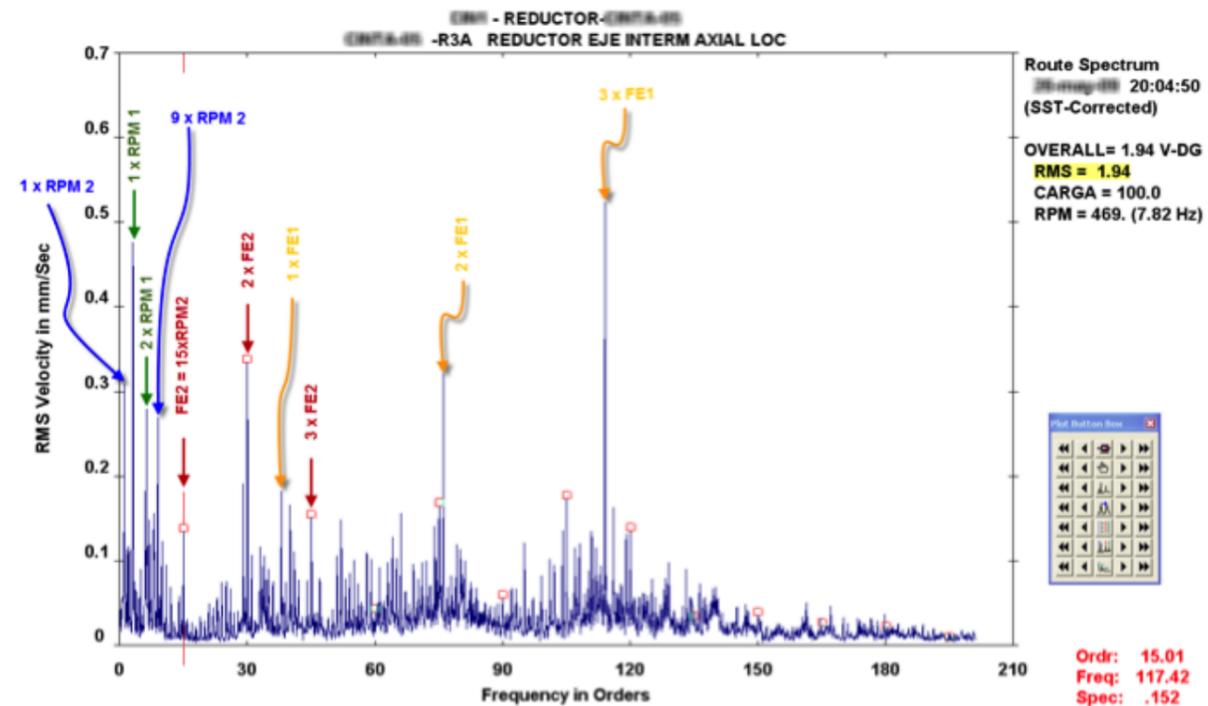


Figura 4

Tabla 3

Teniendo en cuenta el título de este artículo es lógico que demos un vistazo a los valores Pk-PK de la forma de onda. En la **Tabla 4** se resumen éstos valores, tomados de la forma de onda convencional.

Tabla 4

Ya en este punto resalta un valor notablemente alto respecto al resto. Nos centraremos en la forma de onda con mayor amplitud, es decir la del punto R3A (**Figura 5**).

Punto	V-Global	Unid.
R1P	0,843	G's - rms
R2P	0,617	G's - rms
R3P	0,308	G's - rms
R4P	0,135	G's - rms
R5P	0,089	G's - rms
R6P	0,104	G's - rms

Tabla 3

Punto	Valor	Unid.
R1H	4,770	G's - Pk-Pk
R1V	4,310	G's - Pk-Pk
R1A	2,500	G's - Pk-Pk
R2V	6,610	G's - Pk-Pk
R3V	3,030	G's - Pk-Pk
R3A	11,450	G's - Pk-Pk
R4V	2,820	G's - Pk-Pk
R5V	0,676	G's - Pk-Pk
R6V	0,875	G's - Pk-Pk
R6A	1,430	G's - Pk-Pk

Tabla 4

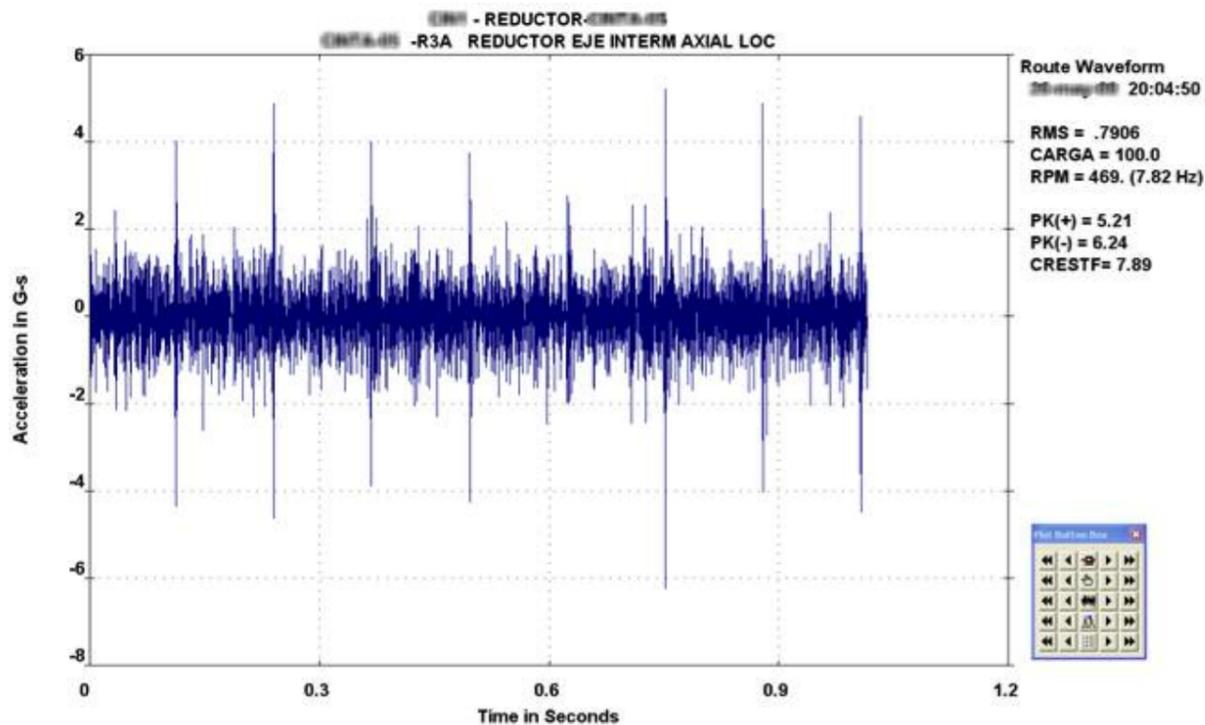


Figura 5

En la figura anterior destacan los eventos con mayor amplitud Pk-Pk y que al parecer están igualmente espaciados.

En la figura 6 se puede ver que estos eventos (distorsiones de la forma de onda) tienen un período igual a 0,1279 segundos, o lo que es igual 7,82 Hz (469 CPM). Esto corresponde a la velocidad de rotación del eje intermedio (1xRPM2).

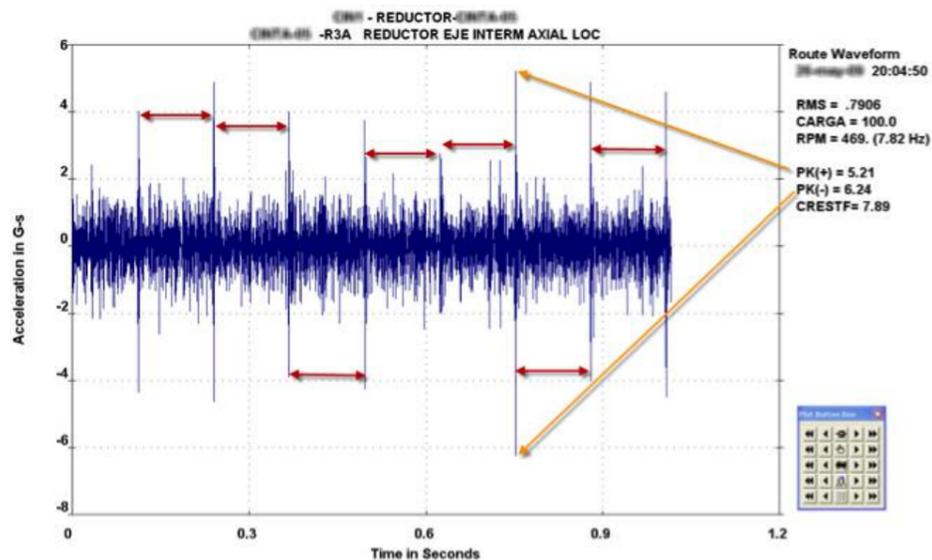


Figura 6

En la **Figura 7** (gráfico polar) se ve claramente el evento por cada vuelta del eje intermedio. Este comportamiento es típico de un diente roto (fisurado o agrietado). La severidad del problema queda de manifiesto al ver la amplitud Pk-Pk en la forma de onda.

Centrando el análisis (para este caso en particular) sólo en el dominio de la frecuencia (espectros) este tipo de problemas es difícilmente reconocible y puede subestimarse, más aún siendo la primera y única medida con la que se cuenta (teniendo un histórico se complican menos las cosas).

Al ver esto se reportó inmediatamente este equipo en peligro y se recomendó su intervención en el período más breve posible, ya que la continuidad operativa de este equipo (y en consecuencia de la planta) estaba seriamente comprometida.

Qué ocurrió después con este informe es materia de un próximo artículo. ■

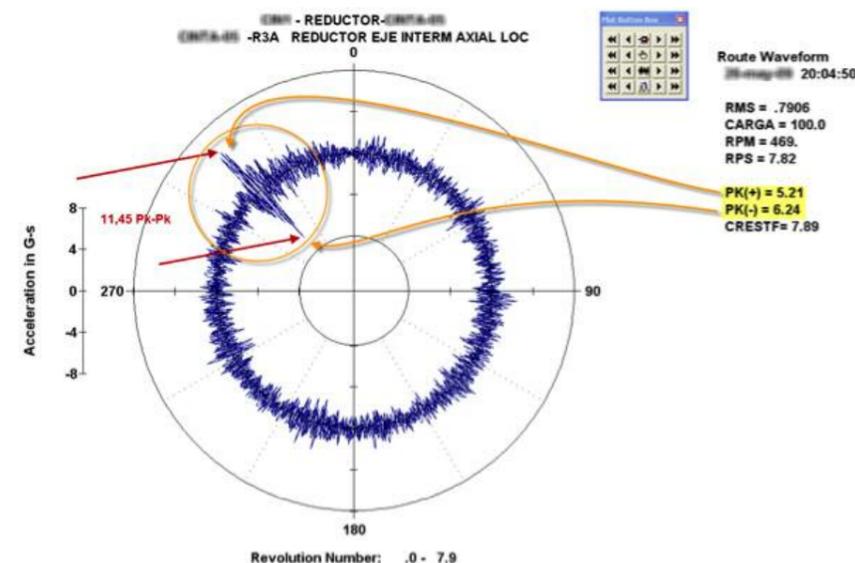


Figura 7

# Diferentes tácticas de mantenimiento para el sostenimiento de la fiabilidad de los activos

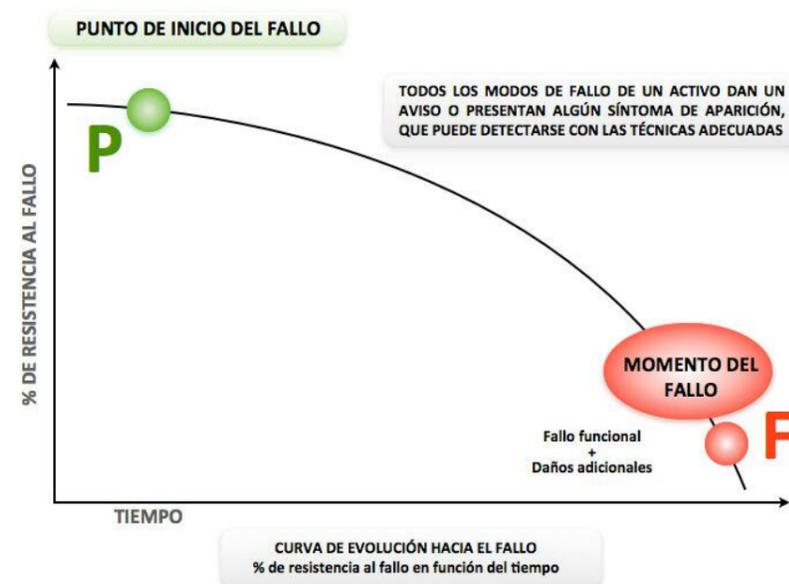


J.P. Rayo Peinado

**E**n la concepción actual de la función mantenimiento no se establece como objetivo prioritario la reducción de costos sino la preservación de la función de la máquina para de esta forma incrementar al máximo la disponibilidad y llevar la producción hasta la capacidad máxima de diseño de la planta.

Esto sólo lo lograremos manteniendo la fiabilidad de la máquina en sus niveles de diseño (o de máquina nueva).

La mejora continua en los niveles de disponibilidad del activo, sólo la lograremos interrumpiendo su operación lo menos posible. Para ello debemos lograr que las intervenciones de mantenimiento sean siempre planificadas para evitar de cualquier forma los fallos imprevistos.



Fuente: John Moubray - RCM II



De esta forma, el mantenimiento sólo admite dos formas de llevarlo a cabo: Planificado, o no Planificado.

Dentro de esta clasificación podemos distinguir cuatro tácticas básicas que hoy aplicamos:

- Mantenimiento Al Fallo (RTF)
- Mantenimiento Preventivo a intervalos fijos (PM)
- Mantenimiento Preventivo según condición llamado también Predictivo (PdM)
- Mantenimiento Proactivo (PAM)

Uno de los objetivos básicos del RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es conseguir la correcta distribución porcentual de utilización de cada una de estas tácticas.

Según estudios llevados a cabo en los inicios del análisis RCM, el modelo de evolución hacia el fallo que se presenta en el mayor número de ocasiones es el que se muestra en la figura demostrando que la mayor parte de los fallos aparecen de una forma aleatoria en el tiempo y que desde su inicio, (lo que llamamos fallo potencial o punto "P") evolucionarán con una determinada pendiente hasta llegar al fallo total (punto "F").

Deberíamos pues conocer la forma de evolución de la curva P-F para los distintos modos de fallo que una máquina pueda generar y en función de las características de esta y de la criticidad del fallo, determinar que táctica utilizaremos para evitar el fallo total: RTF - PM - PdM ó PAM.

## MANTENIMIENTO AL FALLO (RTF) "Run To Failure"

Consideremos un elemento común a muchas plantas como es un intercambiador de calor.

Suponemos en nuestro caso que en un período de un año, este activo de la planta ha fallado en seis ocasiones.

Al seguir la táctica de RTF, no habremos hecho nada para evitar los fallos y lo normal es que, al aparecer estos de una forma totalmente aleatoria y por tanto imprevista, hayan interrumpido el proceso con la consiguiente indisponibilidad y pérdida de producción asociada.

Según el enfoque actual de la función mantenimiento, no es tan importante la rotura de la máquina y el costo de reparación asociado, como la pérdida de su función que nos llevará a una pérdida de producción

tanto mayor cuanto mayor sea el MTTR (tiempo medio de reparación). Nos interesa ayudar a incrementar la producción.

En el caso que analizamos vemos según el gráfico de más arriba que el intervalo de tiempo mínimo entre dos fallos consecutivos ha sido de seis semanas.

Si sólo seguimos una táctica de RTF habremos tenido seis fallos imprevistos y seis intervenciones no programadas que llevarán a una importante pérdida de indisponibilidad.

El mantenimiento al fallo es: reactivo, destructivo, disruptivo y muy caro.

No obstante, el Mantenimiento al fallo se considera una estrategia legítima cuando:

- Los modos de fallo son aleatorios y el tiempo de detección disponible es insuficiente (fallos instantáneos).
- Los modos de fallo no son Predecibles ni Prevenibles.
- Las consecuencias del fallo no son graves.
- Se puede aplicar un remedio antes de que aparezcan las consecuencias.

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO A INTERVALOS FIJOS (PM)

Siguiendo con nuestro ejemplo del intercambiador de calor, veíamos que este había fallado seis veces en el período de un año y que el tiempo mínimo entre dos fallos consecutivos es de seis semanas.

La experiencia adquirida con los fallos de nuestro equipo nos ha llevado por otro lado a determinar que el modo de fallo es el mismo en un 99% de ocasiones: Suciedad acumulada en los tubos con el paso del fluido.

Para prevenir el fallo total decidimos establecer una gama de mantenimiento para limpiar el intercambiador, que se llevará a cabo con un intervalo de cuatro semanas para prevenir así el fallo total y por tanto sus consecuencias.

Hemos establecido en definitiva una táctica de Mantenimiento Preventivo a Intervalos Fijos.

En el gráfico de más arriba muestra que el número de intervenciones ha pasado a ser de 13/año lo cual implica trece interrupciones de la producción pues es evidente que debemos sacar el equipo de servicio para ejecutar la tarea de limpieza.

El problema es que sabemos que un 68% de los modos de fallo responden a un modelo de evolución que es totalmente aleatorio es decir, el fallo se puede presentar en cualquier momento lo cual pone en cuestión el Mantenimiento Preventivo a Intervalos Fijos.

El Mantenimiento Preventivo a Intervalos fijos se caracteriza por:

- Llevar a cabo un gran número de intervenciones (muchas de ellas innecesarias)
- No impide que se presenten fallos imprevistos
- Puede ser disruptivo
- Revisar aunque no haga falta sabiendo que cada intervención que se haga en un equipo, compromete su fiabilidad.
- Es caro

En resumen podemos considerar que el mantenimiento preventivo a intervalos fijos PM es aquel que

- Está activado a intervalos fijos en una base de tiempos:
- Según calendario
- Según un parámetro de operación medible (km, Ciclos, Arranques, Horas,...)
- Está relacionado con mecanismos de fallo predecibles:
- El desgaste es dominante.
- Fatiga.
- Intervalos de fallo altamente regulares.
- NO ES VÁLIDO para el 68% de los fallos al ser estos de naturaleza aleatoria.
- Es válido y aplicable siempre que existe un modo de fallo dominante.
- Es válido si el fallo dominante es desgaste, fatiga u otros relacionados con la edad
- No añade valor si las tareas no están establecidas según modos de fallo.
- Se aplicará a aquellas tareas que NECESARIAMENTE tienen que hacerse a intervalos fijos:
  - Los cambios de aceite.
  - Las impuestas por ley.

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEGÚN CONDICIÓN Ó MANTENIMIENTO PREDICTIVO (PdM)

Cuando empezamos nuestra historia con el intercambiador y sólo seguíamos una táctica de RTF, pusimos nuestra atención exclusivamente en el eje de tiempos demostrando que el tiempo mínimo entre dos fallos consecutivos fue de 6 semanas y en base a este hecho decidimos (quizá erróneamente) implementar una táctica de mantenimiento a intervalos fijos con una tarea de revisión cada cuatro semanas.

Si en lugar de limitarnos a analizar el eje de abscisas nos hubiésemos fijado en la evolución en el tiempo de una determinada variable y representado su valor en el eje de ordenadas habríamos sacado quizá otras conclusiones y cambiado nuestra táctica de mantenimiento.

Así, si nos fijamos en el dibujo de nuestro intercambiador veremos que hemos instalado dos manómetros, uno a la entrada y otro a la salida de fluido del circuito principal pudiendo determinar de esta manera la presión diferencial.

Es evidente que en un estado de limpieza total, la presión diferencial es cero mientras que a medida que el sistema se va ensuciando la presión diferencial va creciendo hasta un máximo valor para el cual el grado de suciedad impide el funcionamiento del equipo.

Si siguiéramos la evolución de esta variable en el tiempo aprenderíamos que, no con un intervalo de tiempo fijo, pero sí siempre que la presión diferencial alcanza un valor de 6 kg/cm<sup>2</sup>, nuestro intercambiador deja de funcionar ocasionando el fallo de la instalación y la consecuente pérdida de producción.

Parece entonces lo lógico que programemos las intervenciones de mantenimiento no ya basándonos en el tiempo sino en los valores periódicamente medidos de la presión diferencial.

Así estableceremos que cuando la presión alcance un valor de 4 kg/cm<sup>2</sup> dispondremos aun de dos semanas (antes de que llegue al valor máximo permisible de 6 Kg/cm<sup>2</sup> para programar y ejecutar la tarea de limpieza buscando el momento que menor incidencia tenga en la operación de la planta.

Las intervenciones por tanto no se llevarán a cabo en intervalos de tiempo fijo sino en función de la necesidad y así vemos como realmente se habrán hecho tantas como fallos ha tenido el equipo (este no va a dejar de ensuciarse porque hayamos colocado unos manómetros y estemos monitorizando el valor de la presión diferencial) pero a diferencia del RTF, en que no conocíamos cuando se iba a producir el fallo podremos, al conocer su evolución, anticiparnos al fallo total y programar así la intervención con casi dos semanas de anticipación, tiempo que media entre la advertencia (4 kgs/cm<sup>2</sup>) y el fallo (6 kgs/cm<sup>2</sup>).

Del Mantenimiento Predictivo ó Preventivo basado en Condición (PdM) podremos concluir que:

- Es la acción de Mantenimiento basada en la condición real de un activo (evidencia objetiva de necesidad) obtenida a partir de mediciones de operación y condición y/o ensayos no invasivos llevados a cabo "in-situ".
- La herramienta necesaria en PdM es

el monitorizado de condición (CM) que ha demostrado su capacidad de identificar anomalías con el tiempo suficiente para minimizar el impacto de interrupciones en la producción, evitar costosos fallos (incluyendo daños colaterales) y reducir significativamente el costo del mantenimiento.

Muchas empresas líderes en los sectores de fabricación, proceso, papel, cemento, producción de electricidad, han sustituido la mayor parte de sus tareas de mantenimiento preventivo basado en tiempo por preventivo basado en condición.

### MANTENIMIENTO PROACTIVO (PAM)

Hemos aprendido hasta aquí varios aspectos fundamentales sobre la evolución en el tiempo de un alto porcentaje de modos de fallo y estos son:

- Un 68% de los fallos son de naturaleza aleatoria.
- Desde que aparecen los primeros síntomas de fallo (punto P) y hasta el fallo total (punto F) transcurrirá más o menos tiempo según la naturaleza del fallo y las características del activo.
- Si no tomamos ninguna acción, (mantenimiento al fallo ó RTF), el fallo evolucionará hasta el fallo total con los daños que esto conlleva y llevando el equipo a la pérdida de su función.
- La afirmación establecida en el punto 1 pone en cuestión el mantenimiento preventivo programado a intervalos fijos (PM), para aquellos fallos de aparición aleatoria.
- El mantenimiento preventivo según condición (o mantenimiento predictivo) nos permite detectar la presencia del fallo potencial (punto P) y anticiparnos al fallo evitando así su aparición.

Se puede dar aun "un paso más allá" cambiando nuestra mentalidad, en muchos casos reactiva, hacia otra eminentemente proactiva.

Un activo más fiable es aquel que tiene un mayor MTTF (cuando nuevo) ó MTBF (después de haber sido sometido a intervenciones de mantenimiento).

Muchos de los fallos y pérdidas de fiabilidad del activo se producen por malos montajes o intervenciones de mantenimiento que no se adaptan a las "mejores prácticas".

Uno de los objetivos que nos planteamos siendo proactivos es retrasar lo más posible en el tiempo la aparición del punto P de la curva P-F. Esto lo conseguimos a través del denominado Mantenimiento Proactivo (PAM) teniendo en cuenta que:

- Ser proactivo implica actuar desde el inicio aplicando las mejores prácticas.
- Una tarea proactiva es (por ejemplo) el correcto equilibrado de todos los rotores.
- Una tarea proactiva es la correcta alineación de todos los equipos.
- El Mantenimiento Proactivo cumple perfectamente los objetivos de:
  - Mejora de Fiabilidad
  - Aumento de Producción
  - Reducción de Costos

### MANTENIMIENTO REACTIVO

Conocido como Run to failure o funcionamiento hasta el fallo, consiste en no programar ninguna tarea hasta que la máquina falla.

El mantenimiento tradicional se limitaba al concepto del "Taller de Mantenimiento", concebido bajo la idea central de crear una gran capacidad humana que pudiese atender a cualquier imprevisto dentro de las plantas industriales. Es decir, como la aparición de la avería era absolutamente imprevisible, era necesario disponer de un equipo humano libre de obligaciones, salvo la propia de actuar en caso de una emergencia.

Esta filosofía de "bombero" se conoce en la actualidad como mantenimiento reactivo o reparativo.

Podemos definir el mantenimiento reactivo como el mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. El mantenimiento correctivo puede ser o no planificado. El mantenimiento correctivo planificado comprende las intervenciones no planificadas (preventivas) que se efectúan en las paradas programadas. Por ejemplo, si en una instalación aparece una junta por la

que fuga aceite y se mantiene en servicio hasta una parada programada en la que se interviene para sustituir dicha junta, este mantenimiento no es preventivo pues no estaba estipulado el efectuar dicha intervención a intervalos regulares de tiempo o eventos (horas de servicio).

Además, es una intervención correctiva planificada por realizarse durante una parada programada sin afectar la disponibilidad de la instalación.

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO O MANTENIMIENTO PLANIFICADO (PM)

La planificación del mantenimiento evita algunas averías, pero también provoca otras y además resulta extremadamente caro.

El análisis estadístico de la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos permitió realizar el mantenimiento de las máquinas basándose en la sustitución periódica de elementos independientemente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos.

Esta filosofía se conoce como mantenimiento a intervalos o mantenimiento preventivo. Su gran limitación es el grado de incertidumbre a la hora de definir el instante de la sustitución del elemento.

Podemos decir que el mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o según eventos regulares (horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas). El objetivo de este tipo de mantenimiento es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación tratando de planificar unas intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido.

Pero esta estrategia solamente se recomienda si no existe una manera de conocer el estado de las piezas o componentes a sustituir. Si se sustituyen piezas sólo por el criterio de horas de funcionamiento, corremos el riesgo de programar trabajos inútiles para reparar máquinas que están en perfecto estado.

Además, desmontar y volver a montar y ajustar una máquina es una tarea que conlleva un riesgo, puesto que se pueden inducir averías derivadas de estas intervenciones.

Muchas compañías consideran inútiles los trabajos de mantenimiento programado, si podemos realizar una supervisión del estado de la maquinaria por algún medio, como son las técnicas predictivas.

### MANTENIMIENTO PREDICTIVO (PdM) O MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN (CBM)

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, lo cual produce grandes ahorros en mantenimiento.

El mantenimiento predictivo o basado en la condición se debe aplicar en aquellas máquinas que un estudio RCM lo recomiende.

El mantenimiento predictivo 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.

### MANTENIMIENTO PROACTIVO O INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento proactivo o ingeniería de mantenimiento investiga las causas de las averías y busca remedios para evitar que se repitan.

Esta filosofía de mantenimiento persigue el conocimiento de la causa raíz de un problema para eliminar por completo la aparición de averías. Por ejemplo, un acoplamiento desalineado puede producir una vibración axial y una carga cíclica que cause una fatiga constante en los rodamientos de apoyo del motor. Si nos limitamos a detectar el fallo de los rodamientos y a sustituirlos en el

momento que el deterioro sea notable, jamás llegaremos a evitar este tipo de intervención. Sin embargo, el análisis de la causa raíz del problema nos llevaría a diagnosticar no sólo un problema de deterioro en rodamientos, sino además un problema de desalineación. Realizando una alineación de precisión en el acoplamiento se conseguiría una mayor vida útil de los rodamientos del motor.

Las prácticas proactivas más frecuentes en mantenimiento industrial son el equilibrado dinámico de rotores y la alineación de precisión de acoplamientos. Otras prácticas menos habituales (por requerir una mayor especialización) son los análisis estructurales del tipo ODS (Operating Deflection Shape) o Análisis

Modal Experimental, aplicados a la modificación de bancadas y elementos estructurales y al rediseño operativo del equipo.

En definitiva, el análisis de causa raíz en mantenimiento proactivo utiliza las mismas tecnologías que el predictivo, para establecer modificaciones tanto constructivas como operativas en los equipos de proceso. ■

# DESTACAMOS

## Curso express de alineación láser



La alineación de ejes acoplados mediante equipos de alineación láser aporta grandes ventajas sobre la tradicional alineación mediante relojes comparadores:

- Menor tiempo empleado en la operación de alineación.
- Más técnicos de su equipo podrán realizar una alineación con éxito, al simplificarse la operación de alineado.
- Mayor precisión en el resultado de la alineación.
- Mayor duración de rodamientos, cierres mecánicos, acoplamientos y ejes como consecuencia de que se consigue una alineación más precisa más veces.
- Menor consumo de energía en el accionamiento.

Por todo lo anterior, la alineación de ejes acoplados dentro de las tolerancias establecidas por los fabricantes de maquinaria es más que recomendable.

El propio equipo de alineación láser guía al técnico con un sencillo procedimiento con las siguientes fases:

- Definición de medidas geométricas.
- Comprobación de la pata coja.
- Medición de la desviación.
- Corrección vertical de las patas del motor.
- Corrección horizontal de las patas del motor.
- Comprobación de la desalineación residual tras las correcciones.
- Generación del informe de alineación. ■

**Vea un ejemplo práctico de alineación descrito paso a paso en este vídeo.**

### Puede ser de su interés:

- [Alineador láser GO Pro](#)
- [Curso presencial de alineación láser](#)
- [Servidor de alineación de precisión](#)
- [Plan renove para alineadores láser](#)
- [Curso a distancia de alineación láser](#)

## Fiabilidad en el mantenimiento industrial



Siguiendo las "mejores prácticas" recomendadas, muchas plantas se someten a auditorías periódicas de su función de mantenimiento con el fin de localizar los puntos débiles en su trabajo diario y así identificar sus oportunidades de mejora.

La actual normativa (aún incipiente) como la PAS55 recomienda que se lleven a cabo auditorías externas al menos anualmente en todo lo que afecta a la gestión de activos.

El enfoque de una auditoría de mantenimiento, aparte de estudiar los aspectos organizativos fundamentales del departamento, los recursos humanos, el modelo de flujo de trabajo y la gestión de éste, se debe centrar fundamentalmente en analizar la distribución de tareas de mantenimiento entre Mantenimiento al Fallo (RTF), Mantenimiento Preventivo a intervalos fijos (PM) y Mantenimiento Preventivo según condición o predictivo (PdM).

Los resultados óptimos de mantenimiento en lo referente a: reducción de costos, incremento de disponibilidad, aumento del OEE, dependen en una grandísima medida de dicha distribución de tareas.

TODOS los consultores coinciden en que siguiendo las recomendaciones de los distintos métodos y procedimientos surgidos en los últimos años: RCM, TPM; RBM, ..... se utilice el PdM (predictivo) siempre que sea posible y se apliquen

todas sus técnicas asociadas de monitorizado de condición: vibración, termografía, captación de ultrasonidos, MCA, ... en la detección prematura de los diferentes modos de fallo que un activo pueda presentar.

Hasta aquí podemos decir que sería "la parte fácil" de la auditoría. El panorama se complica cuando debemos auditar si el PdM está correctamente implementado en aquellas plantas que lo tienen en funcionamiento o bien cuando debemos implementarlo junto con las técnicas que permitan detectar los distintos modos de fallo en una forma segura que posibilite sustituir gamas de PM por gamas de PdM.

Preditec/IRM cuenta con más de treinta años en implantaciones de PdM y todas sus técnicas asociadas que, unida a la desarrollada por nuestros técnicos e ingenieros en el conocimiento de todo tipo de maquinaria industrial así como en los aspectos más directamente relacionados con la gestión del mantenimiento y la ingeniería de fiabilidad nos sitúan en una destacada posición para llevar a cabo con total éxito este tipo de trabajo de diagnóstico y buscar puntos de mejora que permitan a nuestros clientes alcanzar el objetivo de "excelencia en mantenimiento". ■

# FORMACIÓN

## Cursos de analista de vibraciones en maquinaria

Francisco Ballesteros Robles



Preditec/IRM publica el nuevo programa de formación para 2012. Ya están abiertos los plazos de inscripción a los próximos cursos de certificación de analista de vibraciones según la norma ISO 18436-2.

El profesorado, certificado en Categoría III, cuenta con una gran experiencia, tanto como analista como formador. En los pasados años Preditec/IRM ha obtenido unos resultados excelentes de aprobados, próximos al 100%, en las pruebas de certificación. El conocido método Mobius Institute ha triunfado en el mundo de los analistas predictivos y hoy es la opción más elegida para la formación de técnicos predictivos. ■

### Introducción al RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad)

PRE-7160 Conocer el RCM para implementar su metodología en una planta industrial, dirigido a Ingenieros y Técnicos de Mantenimiento, Fiabilidad y Operación de Planta

[>> más](#)

### Mantenimiento Predictivo y Fiabilidad. Las mejores prácticas para mantener la salud de los activos

PRE-7161 Conocer las técnicas necesarias para un correcto seguimiento predictivo.

[>> más](#)

### Curso de certificación de analista de vibraciones Categoría I según ISO-18436-2

PRE-ISO-CAT-I Formación y certificación para inspectores predictivos que deseen seguir los procedimientos recomendados para la recolección de datos predictivos.

[>> más](#)

### Curso de certificación de analista de vibraciones Categoría II según ISO-18436-2

PRE-ISO-CAT-II Formación y certificación para analistas predictivos que deseen conocer todos los recursos disponibles para desarrollar sus tareas como analistas.

[>> más](#)

### Diagnóstico de averías en maquinaria: Resolución de casos prácticos según metodología ISO-18436-2

PRE-7104 Curso de especialización para analistas predictivos por vibraciones que deseen conocer cómo trabajan los expertos en diagnóstico mediante casos prácticos.

[>> más](#)

### Curso Análisis y Diagnóstico de Vibraciones en Turbomaquinaria

PRE-7105 Curso de especialización para diagnóstico de máquinas de eje flexible que funcionan por encima de sus velocidades críticas.

[>> más](#)

### Técnicas de mantenimiento predictivo de motores eléctricos

PRE-7110 Diagnóstico avanzado de motores eléctricos mediante pruebas con motor en funcionamiento y a motor parado.

[>> más](#)

### Curso práctico de manejo avanzado de analizadores de vibraciones

PRE-7133 Perfecto para analistas que desean conocer todos los recursos para el diagnóstico de maquinaria con la ayuda de un analizador de vibraciones portátil.

[>> más](#)

### Curso Práctico de Inspección Termográfica: Aplicaciones y Resultados

PRE-7120 Para técnicos de mantenimiento predictivo que busquen conocer cómo trabajan los termógrafos profesionales y así obtener los mejores resultados.

[>> más](#)

### Curso de PeakVue: Aplicaciones y Resultados.

PRE-7130 Curso dedicado a la potente tecnología PeakVue de CSI para su configuración y aplicación al diagnóstico predictivo de maquinaria crítica.

[>> más](#)

### Equilibrado dinámico de rotores de ejes rígidos

PRE-7150 Curso teórico-práctico para el diagnóstico y corrección de problemas de equilibrado en rotores de eje rígido para corrección in situ.

[>> más](#)

### Curso de alineación láser

PRE-7151 Curso práctico para alineación de ejes acoplados (horizontales y verticales) mediante relojes comparadores y alineadores láser.

[>> más](#)

### Curso práctico de captación y detección de ultrasonidos

PRE-7121 Conocer cómo realizar inspecciones ultrasónicas de una manera eficaz y profesional para obtener los mejores resultados de la aplicación de esta tecnología.

[>> más](#)

**Curso de diseño de sistemas de monitorizado por vibraciones**

PRE-7180 Descubra cómo plantear sus diseños para ahorrar en costes mejorando la solución técnica de la instrumentación de monitorizado de maquinaria. [>> más](#)

**Diagnóstico avanzado de maquinaria por análisis de vibraciones**

PRE\_7103 Dirigido a aquellos analistas que deseen seguir avanzando el conocimiento de las técnicas de diagnóstico por vibración. [>> más](#)

**Curso de especialización para usuarios del software predictivo EMONITOR**

PRE-7132 Curso de especialización para usuarios del software predictivo Emonitor de Rockwell Automation, compatible con colectores analizadores Enpac y anteriores. [>> más](#)

**Curso de especialización para usuarios del software predictivo Machinery Health Manager**

PRE-7131 Curso de especialización para usuarios del software predictivo Machinery Health Manager de CSI, compatible con colectores analizadores CSI 2130. [>> más](#)

**Curso de especialización para usuarios de tecnología OneProd XPR-300**

PRE-7134 Curso de Especialización de OneProd XPR-300 está orientado a los usuarios que sean obtener el máximo rendimiento de los diferentes módulos de esta plataforma. [>> más](#)

**Curso de diagnóstico básico de maquinaria por análisis de vibraciones**

PRE-7102 Dirigido a aquellos técnicos o ingenieros de mantenimiento industrial que pretenden iniciarse en la técnica del análisis de vibraciones con fines predictivos. [>> más](#)

# CALENDARIO



- Certificación de analista de vibraciones Categoría I según ISO 18436-2
- PRE-7160 Introducción al RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad)
- PRE-7161 Mantenimiento predictivo y fiabilidad. Las mejores prácticas para mantener la salud de los activos
- PRE-7121 Curso práctico de captación y detección de ultrasonidos
- PRE-7120 Curso práctico de inspección termográfica: aplicaciones y resultados
- Certificación de analista de vibraciones Categoría II según ISO 18436-2
- PRE-7104 Diagnóstico de averías en maquinaria: Resolución de casos prácticos según metodología ISO 18436-2
- PRE- 7151 Alineación láser
- PRE- 7180 Diseño de sistemas de monitorizado por vibraciones

## Blog

para el fomento del  
Mantenimiento  
Predictivo y  
Fiabilidad Industrial



[www.preditecnico.com](http://www.preditecnico.com)

[Suscripción](#)

PREDITEC/IRM

C/Coso, 67 planta 6ª of. C y D 50001 Zaragoza - España Tel: 34 976 200 969 Fax: 34 976 362 340  
Proción, 7 - Edificio América II 28023 Madrid - España Tel: 34 916 121 163 Fax: 34 976 362 340 Créditos