

La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial

Francisco Ballesteros Robles

Introducción

Todavía hoy seguimos discutiendo en los congresos de mantenimiento si sería buena idea aplicar estrategias de mantenimiento como la preventiva o la predictiva. Este artículo pretende despejar todas las dudas que suscitan estos asuntos.

Estamos en la época de la optimización de recursos. Recientemente se ha publicado (finales de 2014) una norma sobre Gestión de Activos (ISO 55001). Ya existen organizaciones que han reaccionado, que apuestan por una Gestión de Activos inteligente, optimizada, racional, que convierta a sus plantas de producción en organizaciones más competitivas. Lo dice todo el mundo, las organizaciones que no reaccionen y apuesten por el continuismo, desaparecerán. Y a pesar de todo esto, todavía hoy existen muchas organizaciones que están ignorando lo que sucede a su alrededor.

Las estrategias de mantenimiento son en realidad estrategias para la optimización de los planes de mantenimiento y, por lo tanto, de la fiabilidad de los activos productivos.

En mi artículo “El Mantenimiento Predictivo es un pilar fundamental del RCM” publicado en Preditecnico 22 ubico las estrategias reactiva, preventiva y predictiva en el ámbito del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM). En cambio en este artículo profundizo en los

aspectos propios y las aplicaciones de cada una de estas estrategias, centrándome principalmente en la estrategia predictiva y sus ventajas frente a las demás.

Estas tendencias de mantenimiento han probado ya su éxito en sectores como el de generación, oil&gas, industria de proceso y otros... pero son aplicables a todos los sectores industriales e incluso al mantenimiento de edificios y otras instalaciones.

Estrategias de mantenimiento

¿Cuántas estrategias de mantenimiento diferentes puedo aplicar?

En una primera clasificación distinguimos entre Mantenimiento Planificado y Mantenimiento No planificado.

Mantenimiento Planificado: Es aquel que implica una proactividad, es decir, plantea una programación de tareas con el fin de mitigar el riesgo de se produzca una avería o de que ésta llegue a generar consecuencias no deseadas. Estas tareas se pueden programar a intervalos fijos (preventivo), según condición (predictivo) o cuando ya se ha producido la avería, pero no se requiere una acción inmediata (reactivo).

Mantenimiento no Planificado: Es el mantenimiento reactivo inmediato. La avería ya se ha producido y se ha de reparar inmediatamente.

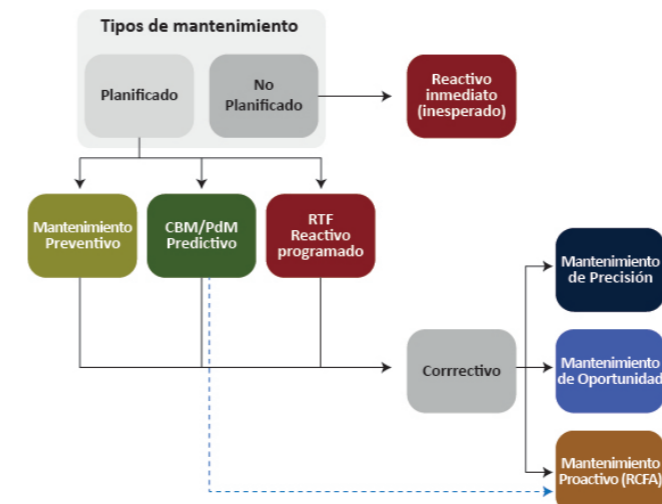


Fig. 1. Esquema de relaciones entre las estrategias de mantenimiento industrial.

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 reactivo es el tradicional, que se limitaba a actuar como un “taller de mantenimiento”, concebido bajo la idea 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.



Fig. 2. La estrategia reactiva en el mantenimiento no debe aplicarse a los activos críticos, en los cuales una avería puede tener consecuencias catastróficas.

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 reactivo puede realizarse inmediatamente tras detectarse la avería o bien programarse en la parada o momento en el cual sea posible la intervención, con el fin de afectar lo menos posible la disponibilidad de la instalación.

La estrategia reactiva en el mantenimiento ofrece las siguientes ventajas:

- Es para muchos componentes la estrategia más eficiente, porque sólo se actúa sobre ellos cuando ya se ha producido una avería, luego la duración útil del componente es mayor que si se aplicase, por ejemplo, una estrategia preventiva con sustituciones de la pieza a intervalos fijos.
- Ahorros en planificación, puesto que las órdenes de trabajo se generan conforme van apareciendo la averías y no se necesita apenas planificación.

El mantenimiento reactivo es adecuado para aquellos activos no críticos donde una avería:

- no afecta a la seguridad,
- no provoca emisiones o vertidos contaminantes,
- no interrumpe o reduce la producción,
- no provoca daños irreversibles en la máquina o costosas reparaciones,
- y no afecta a la calidad del producto fabricado ni a la reputación de la compañía.

En cambio, el mantenimiento reactivo no es adecuado para máquinas críticas o esenciales donde una avería inesperada genere alguna situación inadmisibles de las enumeradas en la lista anterior.

A pesar de que la estrategia reactiva no es adecuada para el mantenimiento de activos críticos, donde una avería puede tener consecuencias inaceptables, todavía hoy es la única estrategia en algunas instalaciones industriales cuyo mantenimiento se subcontrata por periodos

cortos o en sectores con una carencia clara de cultura industrial.

Mantenimiento programado según calendario o mantenimiento preventivo (PM)

El mantenimiento preventivo es aquel que programa la sustitución de los elementos de las máquinas de manera periódica. La periodicidad de las intervenciones de mantenimiento se basa en cálculos teóricos o estimaciones de la duración de los componentes que fallan según patrones basados en el tiempo de funcionamiento.

El análisis estadístico de la vida útil de los equipos y sus elementos permite realizar el mantenimiento de las máquinas basándose en la sustitución periódica de estos elementos independientemente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos. Esta filosofía se conoce como mantenimiento a intervalos fijos o mantenimiento preventivo basado en calendario. Su gran limitación es la incertidumbre a la hora de definir el instante de la sustitución del elemento, puesto normalmente se ignora la enorme dispersión de los datos relativos a la duración de los componentes que en ocasiones se produce y se basa exclusivamente en su valor promedio.

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.

El principal objetivo del mantenimiento preventivo es reducir las paradas no planificadas por avería, lo cual es una gran ventaja en los procesos productivos continuos. Pero esta estrategia solamente se recomienda si no existe una manera de conocer el estado de las piezas o componentes a sustituir mediante inspecciones o monitorización continua. 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 y provocar

una situación de riesgo innecesaria, al intervenir máquinas sólo “por que les toca”. Siempre hay que preguntarse cuando programamos una operación de mantenimiento si lo hacemos por “pura inercia” o si realmente reconocemos el valor que genera dicha operación.

La planificación del mantenimiento a intervalos fijos evita algunas averías, pero también provoca otras y además resulta extremadamente cara por:

- la sustitución de componentes en buenas condiciones,
- por la mano de obra asociada a estas intervenciones innecesarias
- y por las consecuencias de las averías provocadas por manipular las máquinas innecesariamente.

Desmontar, 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 a intervalos fijos cuando se pueda realizar una supervisión del estado de la maquinaria por algún medio, como por ejemplo, la aplicación de las técnicas predictivas.

La estrategia del mantenimiento preventivo se recomienda para aquellos activos con modos de fallo al desgaste, en los cuales una avería tendría consecuencias graves y no es posible definir ningún indicador de supervisión de sus modos de fallo o sí es posible, pero la monitorización tiene un coste superior al beneficio que produce.

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.

La mayoría de modos de fallo de la maquinaria tienen una evolución lenta. Desde sus etapas incipientes, los fallos en desarrollo emiten mensajes en forma de vibración, ultrasonidos, etc. que son descifrados por los analistas predictivos para determinar el estado de los activos críticos y encontrar el momento óptimo para su reparación.

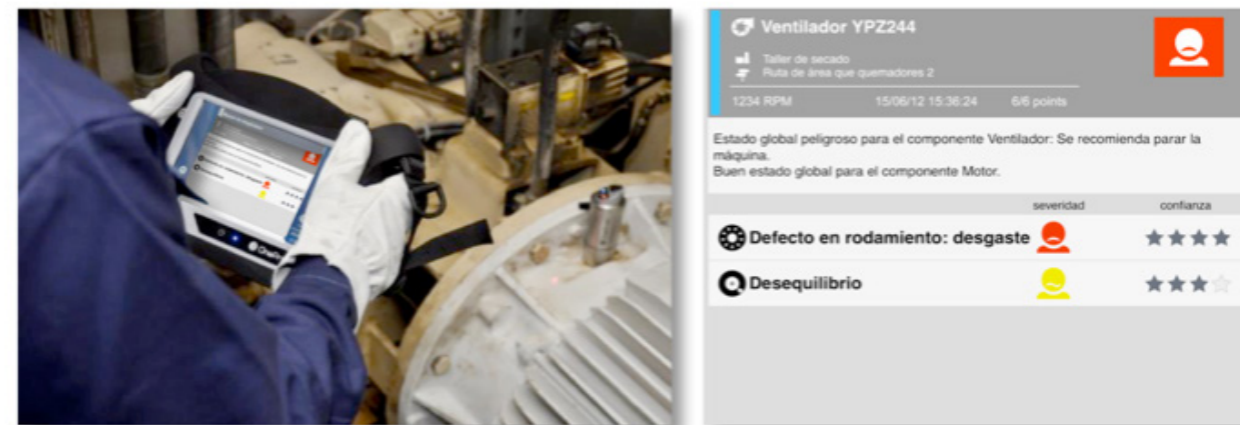


Fig. 3. Colector de vibraciones con diagnóstico automático FALCON de ACOEM.

El diagnóstico predictivo de maquinaria se desarrolla en la industria en la década que va desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX. Actualmente, la estrategia predictiva se aplica a la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con programas de optimización del mantenimiento.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar los modos de fallo potenciales de los equipos productivos. Su misión principal es 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 condiciones normales de operación.
- 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.
- El departamento de mantenimiento (planificación, taller) y producción (operación) estén preparados para reaccionar ante la eventualidad de un diagnóstico que reclame acciones inmediatas.

	Elementos no críticos	Elementos críticos			
		Fallo al desgaste		Fallo aleatorio	
		Todos	Monitorizable	No monitorizable	Monitorizable
Reactivo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Preventivo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
Predictivo	Verde	Verde	Rojo	Verde	Rojo
Rediseño	Verde	Rojo	Rojo	Rojo	Verde

Fig. 4. Aplicación de las estrategias predictivas en función de criticidad y tipo de fallo.

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado sistemas de diagnóstico predictivo de bajo costo y altas prestaciones que reducen considerablemente los costes de explotación de los sistemas de mantenimiento predictivo. En máquinas muy críticas que requieren una supervisión con intervalos cortos entre medidas puede ser más rentable instrumentar la maquinaria para tomar las medidas mediante sistemas automáticos, los cuales miden y procesan parámetros indicadores de los modos de fallo habituales. Los avances en comunicaciones facilitan que la información

fluya desde las máquinas hasta los analistas que interpretan estos datos para generar los informes de diagnóstico predictivo, los cuales indican qué máquinas deberán intervenir, con qué prioridad y en qué plazo. Los sistemas de medida de parámetros de supervisión en continuo reducen los costes de operación de los sistemas predictivos y aumentan en gran medida su fiabilidad, al generarse abundante información de gran calidad a un coste mínimo.

Las técnicas predictivas de mayor implantación son:

- análisis de vibraciones,
- inspecciones termográficas,
- análisis de aceites,
- detección de ultrasonidos,
- análisis de motores eléctricos
- y otras...

Cada una de estas técnicas tiene su aplicación en la detección y diagnóstico de un conjunto determinado de fallos. Cuando dos o más técnicas permiten el diagnóstico de un mismo fallo, se comportan como complementarias y aumenta la fiabilidad del diagnóstico.

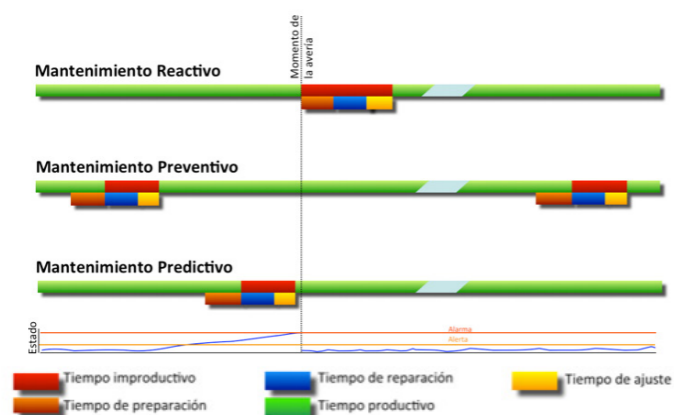


Fig. 5. Impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva. Con las estrategias preventiva y predictiva el tiempo de preparación no es un tiempo improductivo, puesto que al programarse la reparación ya se conoce sobre qué componentes se ha de actuar y por lo tanto, se preparan los trabajos con antelación.

El análisis de vibraciones es la técnica que aporta más información sobre el estado de la maquinaria rotativa, por lo que ésta suele ser la técnica principal sobre la cual se apoyan la mayoría de los departamentos de mantenimiento predictivo de las plantas industriales. Pero un error

muy frecuente es considerar que el análisis de vibraciones es la única técnica predictiva aplicable en un plan de mantenimiento predictivo y se menosprecian otras técnicas que también aportan una gran capacidad de diagnóstico.

El mantenimiento preventivo a intervalos fijos realiza más intervenciones de las realmente necesarias, por lo cual pierde rentabilidad frente al mantenimiento basado en la condición o mantenimiento predictivo.

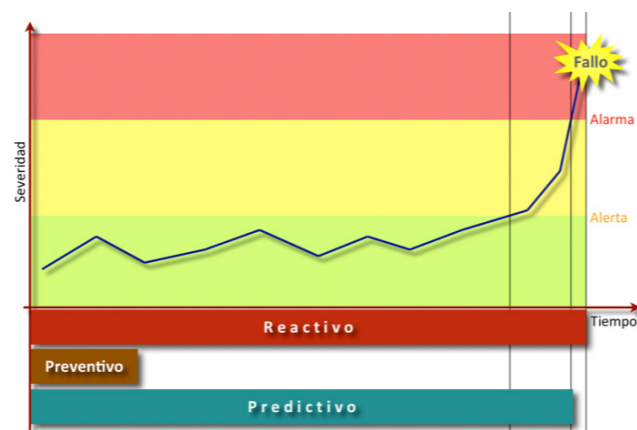


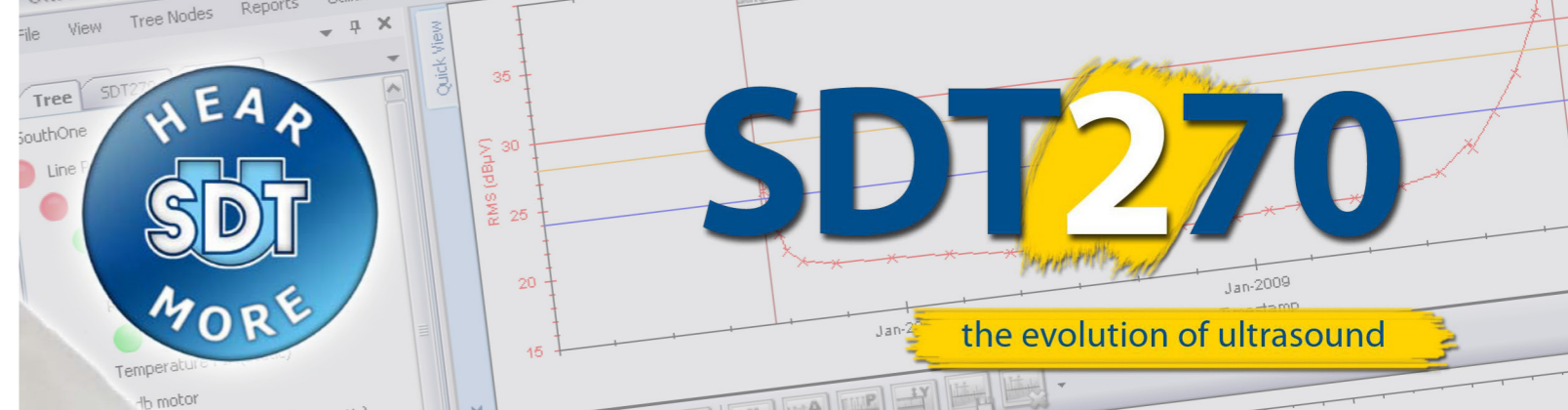
Fig. 6. Al aplicar la estrategia predictiva se puede extender la vida útil de un activo hasta cinco veces más que si se sigue una estrategia preventiva. La estrategia reactiva es la que aprovecha mejor la duración de los activos, pero ignora el riesgo de hacer funcionar una máquina hasta el momento de su avería.

Hay veces que es difícil decidir si una orden de trabajo se origina por Mantenimiento Reactivo o por Mantenimiento Basado en la Condición. Por ejemplo, si en una instalación aparece una fuga de aceite por el deterioro de una junta,

- si la fuga es detectada en una ruta de inspección predictiva, entonces se programaría la reparación mediante una orden de trabajo generada por Mantenimiento Predictivo, en cambio,
- si la fuga es detectada por el departamento de producción o por otro personal de mantenimiento que no estuviese realizando una inspección predictiva, se trataría claramente de una corrección debida a Mantenimiento Reactivo.

Para alcanzar el éxito en la implantación de un plan predictivo se han de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Conseguir que el mantenimiento predictivo



Es hora de mejorar su programa de mantenimiento

El detector de ultrasonidos más evolucionado para el mantenimiento predictivo



se considere estrategia de empresa, es decir, que se encuentre dentro de un plan de orden superior de Gestión de Activos, como puede ser la implantación y desarrollo del RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) o del RBM (Mantenimiento Basado en Riesgo).

- Diseñar un plan para dimensionar los recursos necesarios para implantar con éxito la estrategia predictiva.
- Documentar en unidades económicas los ahorros obtenidos por el cambio de estrategia.
- Si en un año no se han conseguido resultados satisfactorios, tomar las acciones correctivas necesarias.
- Siempre es más sencillo acertar a la primera si nos dejamos aconsejar por expertos que ya hayan cosechado éxitos en otros proyectos similares.

El mantenimiento predictivo o basado en la condición se debe aplicar en aquellas máquinas en las cuales se puedan definir unos indicadores de modos de fallo y se realicen inspecciones de supervisión periódicas que alerten de las necesidades de mantenimiento sobre estos activos. Para definir correctamente qué estrategia de mantenimiento aplicar a cada activo se recomienda realizar un estudio RCM (Reliability Centered Maintenance) sobre los activos productivos de la planta industrial.

Evidentemente, la aplicación de la estrategia predictiva será más interesante en la maquinaria crítica. La manera de identificar la maquinaria crítica en una planta industrial es mediante un análisis de criticidad. Este análisis de criticidad tiene como resultado la lista de activos de la planta ordenados según el RPN o IPR (Risk Priority Number o Índice de Prioridad de Riesgo)

$$\text{RPN} = \text{Frecuencia de ocurrencia} \times \text{Gravedad de las consecuencias} \times \text{Detectabilidad}$$

Criticidad Histórico (MTBF) FMEA Condition Monitoring

Figura 7. RPN, Risk Priority Number o Índice de Prioridad de Riesgo.

La frecuencia de ocurrencia se obtiene del histórico de fallos. La gravedad de las consecuencias se evalúa al analizar qué sucedería si se produjese ese fallo. Y la detectabilidad es un

parámetro que no siempre se tiene en cuenta y es absolutamente clave, pues un modo de fallo detectable y detectado con antelación reduce el riesgo de manera que cambia totalmente el Índice de Prioridad de Riesgo.

Por ejemplo, en un ventilador industrial existen modos de fallo fáciles de detectar como el desequilibrio de masas, fallos en rodamientos o poleas/correas y otros más difíciles de detectar como el desarrollo de grietas en el eje principal.

La gestión optimizada de la planificación del mantenimiento

La planificación del mantenimiento puede gestionarse según averías inesperadas, de manera periódica o basado en la condición del activo.

La programación de las intervenciones de mantenimiento a partir de las averías inesperadas aparecidas es lo que hemos llamado Mantenimiento Reactivo.

La programación de las intervenciones de mantenimiento a partir de intervenciones periódicas según calendario u horas de funcionamiento es lo que hemos llamado Mantenimiento Preventivo.

Y la programación de las intervenciones de mantenimiento en base a la condición de los activos es lo que hemos llamado Mantenimiento Predictivo o Mantenimiento Basado en la Condición.

Por lo tanto, se recomienda el siguiente procedimiento para aplicar alguna de estas tres estrategias de programación del mantenimiento:

Estrategia reactiva:

- Cuando no es posible definir indicadores de fallo para llevar un seguimiento del estado del activo.
- Cuando, a pesar de poderse definir indicadores de seguimiento de los fallos potenciales del activo, sería antieconómica la estrategia predictiva, porque las consecuencias de un fallo no son graves.
- Cuando, a pesar de que la probabilidad de aparición de algún modo de fallo aumente con

el tiempo, las consecuencias de un fallo no son graves y, por lo tanto, tampoco se justifica la estrategia preventiva.

- Cuando los posibles modos de fallo no atienden a patrones de desgaste, es decir, una estrategia basada en mantenimientos periódicos no aumenta la fiabilidad del activo.

Estrategia preventiva:

- Cuando la consecuencia de una avería inesperada es grave y por lo tanto se han de tomar medidas para evitar fallos durante los periodos productivos.
- Cuando no es posible definir indicadores de fallo para llevar un seguimiento del estado del activo.
- Cuando los posibles modos de fallo siguen un patrón de desgaste, es decir, la probabilidad de un fallo es mayor a medida que aumentan las horas de funcionamiento.
- Cuando la intervención de la máquina no puede inducir nuevas averías por errores en el montaje o ajuste.

Estrategia predictiva:

- Cuando la consecuencia de una avería inesperada es grave y por lo tanto se han de tomar medidas para evitar fallos durante los periodos productivos.
- Cuando se pueden definir indicadores de fallo para realizar un seguimiento del estado del activo.
- Cuando el coste de la monitorización es superado por los beneficios derivados de la misma.
- Cuando la intervención de la máquina puede inducir nuevas averías por errores en el montaje o ajuste.

Los responsables del mantenimiento han de realizar los cambios necesarios para conseguir un equilibrio entre intervenciones de mantenimiento reactivas, preventivas y predictivas. Aunque los porcentajes entre ellos difieren de unos tipos de plantas industriales a otras, un objetivo general sería no tener en maquinaria crítica más de un 10-20% de intervenciones por reactivo, aproximadamente un 20-40% por preventivo y el resto (40-60%) por predictivo. La realidad de muchas plantas industriales es bastante diferente, lo cual influye negativamente en la rentabilidad global de la planta (ver figura 8).

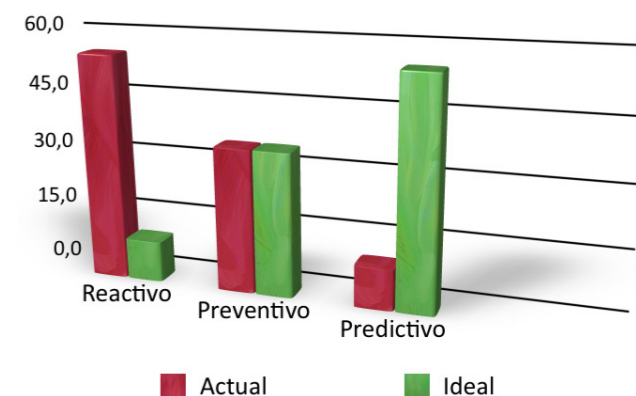


Figura 8. Un objetivo recomendado por expertos en gestión de mantenimiento es no generar más de un 10% de las intervenciones de mantenimiento en maquinaria crítica por reactivo, un 35% por preventivo y un 55% por predictivo.

La nueva norma de Gestión de Activos ISO 55001 apunta a la monitorización de la maquinaria como un pilar imprescindible para conseguir una gestión optimizada de su ciclo de vida. Términos que destaca como el Índice de Salud del Activo (Asset Health Score), pueden conseguirse mediante cálculos estadísticos a partir de datos históricos o mucho mejor a partir de la información derivada de su monitorización.

Nuevas tendencias: La aplicación del IIoT y el Big Data al mantenimiento predictivo en la era de la Industria 4.0

Estamos asistiendo en estos días a la revolución consecuencia del buen uso de los datos generados automáticamente por las propias máquinas.

El concepto de monitorización aplicado a la maquinaria no es nuevo. Lo novedoso en la era de la Industria 4.0 es obtener información útil de manera automatizada de los datos generados por todos los sensores incorporados en las máquinas.

Si los datos que ofrecen los sensores instalados en una máquina, originariamente incorporados exclusivamente para su protección o para la supervisión del proceso comunican la información que generan a una base de datos, donde esos datos se correlacionan entre sí y se diseñan modelos de comportamiento "normales" y "anormales", tendremos la capacidad de

adelantarnos a las averías y programar las intervenciones de mantenimiento en el momento óptimo. La era de las comunicaciones nos trae sensores que hablan en protocolos estándar y facilita que la información se almacene y se trate en potentes servidores donde se aplican algoritmos “busca alertas”. Este es el perfecto caldo de cultivo para que la aplicación de la estrategia predictiva en el mantenimiento industrial avance otro peldaño hacia su universalización.

La gestión optimizada de la programación del mantenimiento reporta las siguientes ventajas:

- Aumento de la disponibilidad de la maquinaria.
- Mejora de la fiabilidad global.
- Reducción del índice de intervenciones/año de los equipos.
- Amplía la duración de servicio de los componentes, solamente se sustituyen cuando comienzan a dañarse.
- Reducción de los riesgos de mortalidad infantil (por errores humanos en las reparaciones), al producirse menos intervenciones de mantenimiento.
- Se evitan las pérdidas de producto por paros en el proceso productivo.
- Reducción del gasto en repuestos, pues el número de intervenciones a lo largo del ciclo de vida del activo puede reducirse hasta a la quinta parte (p.e. en rodamientos).
- Como consecuencia del punto anterior, se reduce la mano de obra.
- Si aprovechamos los datos de la monitorización para establecer un programa de análisis causa raíz de los fallos (RCFA), reduciremos los fallos en general y especialmente los fallos catastróficos.
- Se mejora la calidad del producto fabricado (mecanización, laminación).
- Se aumenta la reputación de la compañía. Menos sorpresas desagradables.
- Se evitan emisiones y vertidos contaminantes.
- Se garantiza el cumplimiento de regulaciones.
- Se impiden penalizaciones por retrasos en las entregas.
- La monitorización tiene como consecuencia la reducción de accidentes y el aumento de la seguridad.
- Menor coste de los seguros industriales, al alcanzar la planta mejores KPIs y, por lo tanto, reducir el riesgo para la compañía aseguradora.

Conclusiones

La estrategia predictiva se desarrolla en la industria hace ahora unos 30 años, pero todavía hoy se sigue discutiendo la conveniencia o no de aplicar un modelo como el expuesto en este artículo. Además, muchos intentos de implantación de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo han fracasado por la falta de apoyo de la dirección de las compañías. La visión cortoplacista en la gestión de los presupuestos destinados al mantenimiento impide que se realicen las inversiones necesarias para el desarrollo adecuado de los planes de mantenimiento.

Es responsabilidad de la gerencia y de nadie más que la gestión del mantenimiento se realice de una manera optimizada. El director de planta ha de ponderar cuánto y cómo invierte en mantenimiento para conseguir la fiabilidad deseada para cumplir con los compromisos de producción. Esta responsabilidad del director de planta no se debe delegar al jefe de mantenimiento, puesto que desde la jefatura de mantenimiento es tremendamente difícil realizar las inversiones y los cambios necesarios para implantar la estrategia preventiva-predictiva.

Es un hecho que un alto porcentaje de implantaciones de planes predictivos fracasan. Los motivos son varios y fundamentalmente se deben a fallos en la gestión empresarial. Aunque se ha escrito mucho sobre los motivos de los fracasos en la implantación de la estrategia predictiva, todos estos motivos se derivan de una falta de estrategia, compromiso y cultura de la compañía.

Las compañías que no sigan prácticas de Excelencia Operacional, desaparecerán. La única manera de competir contra países con mano de obra más económica es mediante la automatización y optimización de la gestión de los procesos y del mantenimiento de los medios de producción. ■

Autor:

[Francisco Ballesteros Robles](#)

Director del Área de Predictivo - Preditec (Grupo Álava)

Palabras clave:

Estrategia predictiva, mantenimiento predictivo, RCM, gestión del mantenimiento.

Preconcerto

Predictive Maintenance Manager



www.preconcerto.com