



Your partner in reliability

Francisco Ballesteros Robles
 Director de Marketing
 Preditec/IRM
fballesteros@preditec.com

La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial

Introducción

En este artículo se analizan las distintas estrategias de mantenimiento aplicables a los activos industriales. El interés principal de estas notas es servir a los responsables y coordinadores de mantenimiento industrial para acertar en la implantación de la estrategia correcta para cada activo y así conseguir un diseño óptimo de su plan de mantenimiento.

La aplicación de la estrategia predictiva en el mantenimiento industrial ha reportado enormes ahorros a aquellas compañías que han sabido aplicar las estrategias más adecuadas para cada activo. Pero la mayoría de instalaciones industriales programan las intervenciones de mantenimiento solamente tras un número de horas de funcionamiento o al aparecer una avería inesperada.

Las estrategias de gestión del mantenimiento que vamos a analizar son:

- Mantenimiento Regresivo
- Mantenimiento Reactivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Proactivo



Fig. 1. Clasificación de las estrategias de mantenimiento en función de su relación costo-beneficio y de la dificultad para su implantación.

Mantenimiento Regresivo

Consiste en no hacer mantenimiento, “usar y tirar”.

En realidad no se puede considerar una estrategia, porque el mantenimiento regresivo consiste precisamente en no plantear ninguna planificación ante el mantenimiento de un activo.

Nos encontramos este tipo de mantenimiento en activos de “usar y tirar” donde considerar una reparación es antieconómico.

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.



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 y así restablecerla a su estado operativo habitual de servicio.

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.

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 activos la estrategia más eficiente, porque sólo se actúa sobre ellos cuando ya se ha producido una avería, luego la duración útil del activo es mayor que si se aplica, por ejemplo, una estrategia preventiva.
- Ahorros en planificación, puesto que las órdenes de trabajo se generan automáticamente conforme van apareciendo la averías y no se necesita mayor coordinación.

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.

En cambio, el mantenimiento reactivo no es adecuado para máquinas críticas o esenciales donde una avería inesperada genere algún problema de los enumerados en la lista anterior.

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 antes de llegar al fin de su vida útil. 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. Su gran limitación es la incertidumbre a la hora de definir el instante de la sustitución del elemento, puesto que ignora la enorme

dispersión de los datos relativos a la duración de los componentes y aprovecha solamente 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 mantenimiento preventivo reduce las paradas no planificadas por avería, lo cual es una gran ventaja en los procesos productivos. 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 y provocar una situación de riesgo innecesaria al intervenir máquinas sólo “por que les toca”.

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

- la sustitución de componentes en buenas condiciones,
- y por la mano de obra asociada a estas intervenciones innecesarias.

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 son las técnicas predictivas.

La estrategia del mantenimiento preventivo se recomienda para aquellos activos en los cuales una avería tendría consecuencias graves y no es posible definir ningún indicador de supervisión de sus modos de fallo.



Fig. 3. Las intervenciones de mantenimiento pueden programarse o no, el origen de cada intervención de mantenimiento programado puede deberse a una acción reactiva, preventiva o predictiva.

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 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, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos. El mantenimiento basado en la condición optimiza al mantenimiento preventivo de manera que determina el momento preciso para cada intervención en los activos industriales.

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

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado sistemas de diagnóstico predictivo en continuo de bajo costo y altas prestaciones que reducen considerablemente los costes de explotación de los sistemas de mantenimiento predictivo basados en vibraciones. En las máquinas muy críticas que requieren una supervisión con intervalos cortos entre medidas es más rentable instalar sensores de vibración fijos

en las máquinas y sistemas de monitorizado en continuo, los cuales miden y procesan parámetros indicadores de los modos de fallo habituales. Las modernas redes informáticas tejidas por las plantas industriales pueden trasladar la información desde las máquinas hasta los analistas que interpretan estos datos. 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 infrarrojas,
- 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.

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 son también de gran utilidad.

El registro de datos objetivos en las inspecciones periódicas genera la información necesaria para crear los informes predictivos, los cuales indican qué máquinas deberán intervenir y con qué prioridad y plazo.

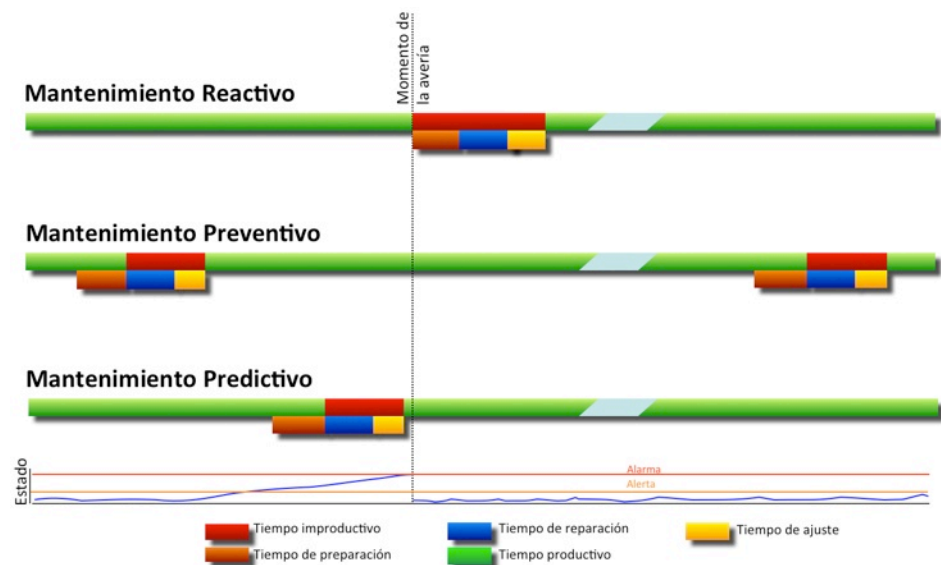


Fig. 4. Impacto de las paradas por intervenciones en las máquinas según una estrategia reactiva, preventiva o predictiva. Con las estrategias preventiva y predictiva el tiempo de preparación no es un tiempo improductivo, puesto que al programarse la reparación ya se conoce sobre qué componentes se ha de actuar y

por lo tanto, se preparan los trabajos con antelación. Pero 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.

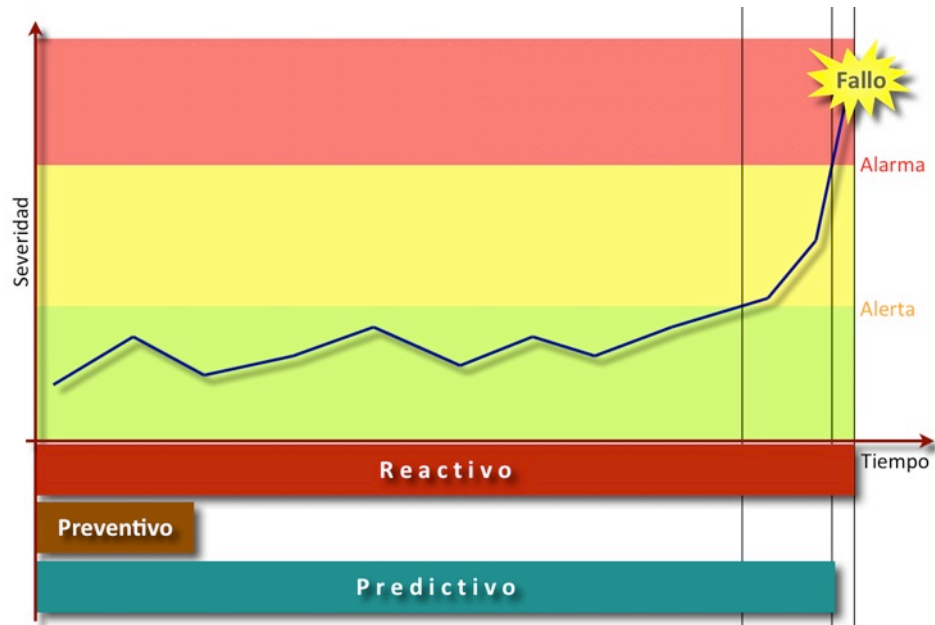


Fig. 5. Al aplicar la estrategia predictiva se puede extender la vida útil de un activo hasta cinco veces más que si se sigue una estrategia preventiva. La estrategia reactiva es la que aprovecha mejor la duración de los activos, pero ignora el riesgo de hacer funcionar una máquina hasta el momento de su avería.

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 se considere estrategia de empresa.
- 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.

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.

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 y así aumentar su fiabilidad.

Esta filosofía de mantenimiento persigue el conocimiento de la causa raíz de los problemas (RCA, Root Cause Analysis) para corregirlos y así evitar que vuelvan a aparecer, lo cual aumenta la fiabilidad del activo productivo. 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, probablemente evitaremos una avería catastrófica, pero no evitaremos que esta avería se repita. 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. Si al ser detectada esta desalineación, se realiza una alineación de precisión en el acoplamiento se conseguirá una mayor vida útil de los rodamientos del motor, entre otras ventajas.

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 el ámbito del mantenimiento proactivo se ve potenciado por el uso de las tecnologías desarrolladas para el diagnóstico predictivo y así se hace más fácil establecer las modificaciones necesarias en los equipos de proceso, tanto constructivas como operativas.

Las estrategias de gestión del mantenimiento como el RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad) requieren la aplicación de las técnicas predictivas para optimizar la gestión del mantenimiento.

El éxito en la aplicación de las técnicas predictivas depende en gran medida del personal involucrado en la puesta en marcha y operación del plan predictivo, es fundamental que antes de abordar un plan de implantación de estrategias como el PdM o el RCM los responsables involucrados se formen e informen sobre cómo seguir un procedimiento que conduzca hacia el éxito en la implantación de estas filosofías.

La gestión optimizada de la programación del mantenimiento

La programación 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.

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 no 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.
 - Cuando la intervención de la máquina puede inducir nuevas averías por errores en el montaje o ajuste.

- 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 la intervención de la máquina puede inducir nuevas averías por errores en el montaje o ajuste.

Para realizar una correcta asignación de la estrategia correcta para cada activo se han de clasificar los activos según su criticidad.

Activos no críticos. Para los activos no críticos, la estrategia reactiva es la más adecuada.

Activos críticos. Para los activos críticos, si es posible aplicar la estrategia predictiva, ésta ha de prevalecer sobre la preventiva. Aquellos activos en los cuales no se pueda aplicar la estrategia predictiva, se aplicará la estrategia preventiva y si tampoco aporta más fiabilidad la estrategia preventiva, se dejarán al fallo, intentando monitorizarlos de alguna manera para al menos minimizar las consecuencias del fallo incontrolado.

Conclusiones

Si bien las estrategias de mantenimiento se implantaron en la industria entre los años 80 y 90 del siglo XX, 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.

Es responsabilidad del director de planta y de nadie más que la gestión del mantenimiento se realice de una manera optimizada. Es el director de planta quien ha de ponderar cuánto y cómo invierte en mantenimiento para conseguir la fiabilidad de sus medios de producción, según la fiabilidad marcada en sus objetivos 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.

El jefe de mantenimiento es quien ha 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% de intervenciones por reactivo, aproximadamente un 35% por preventivo y el resto (55%) por predictivo. La realidad de muchas plantas industriales es bastante diferente, lo cual influye negativamente en la rentabilidad global de la planta (ver figura 6).

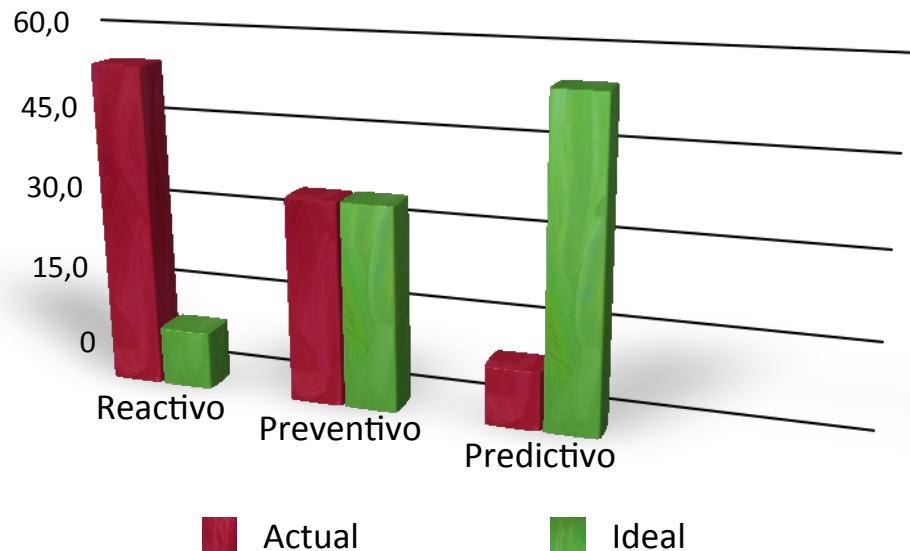


Figura 6. Un objetivo recomendado por expertos en gestión de mantenimiento es no generar más de un 10% de las intervenciones de mantenimiento en maquinaria crítica por reactivo, un 35% por preventivo y un 55% por predictivo.

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 de la compañía.

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

- Se evitan prácticamente todas las paradas no planificadas por avería.
- Se alargan los intervalos productivos entre paradas para mantenimiento y se minimizan los tiempos de reparación. Por lo tanto, se aumenta la disponibilidad de la planta.
- Se evitan las pérdidas de producto por paros en el proceso productivo.
- Se amplía la duración de servicio de los componentes, solamente se sustituyen cuando comienzan a dañarse.
- Se reducen los stocks de piezas de recambio, puesto que el aprovisionamiento de estas piezas también puede programarse.
- Se impiden penalizaciones por retrasos en las entregas.
- Se mejora la calidad del producto fabricado (mecanización, laminación).
- Se evitan averías catastróficas, aumenta la seguridad de la planta, se reducen las primas de seguros.
- En definitiva, se aumenta la fiabilidad de la planta.

Las compañías europeas 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.



Madrid – 1 de agosto de 2011
Francisco Ballesteros Robles
fballesteros@preditec.com
Preditec/IRM

P/DC/08-11/41A

Sobre el autor

Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia, Director de Marketing de Preditec/IRM, profesor habitual del Mobius Institute, colaborador en dos Másteres de Mantenimiento en las universidades de Sevilla y la Politécnica de Cataluña y en cursos de Preditec/IRM y Analista Predictivo por Vibraciones de Categoría III. Ha trabajado en el área del mantenimiento predictivo desde 1997, donde ha desarrollado trabajos de diagnóstico, diseño de sistemas de monitorización, implantación de la estrategia predictiva en plantas industriales y formación. Ha trabajado en colaboración con las principales empresas de los sectores eléctrico, petroquímico, papel, cemento, laminación de metales... También ha participado como asistente y como ponente en varios congresos nacionales e internacionales de mantenimiento industrial.