



Your partner in reliability

*José Pedro Rayo Peinado
Director Área de Fiabilidad
Preditec/IRM*

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

Introducción

En 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.

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:

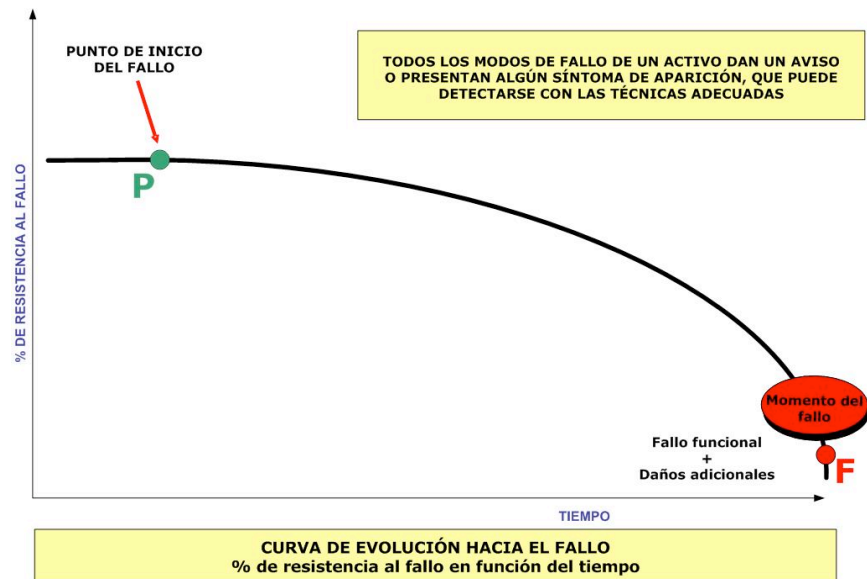
Mantenimiento **Al Fallo** (RTF)

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.



Fuente: John Moubray – RCM II

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”).

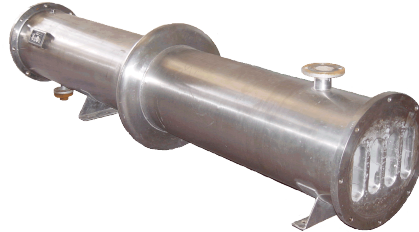
Deberíamos pues conocer la forma de evolución de la curva P-F para los distintos modos de fallo que una máquina pueda generar y en función de las características de esta y de la criticidad del fallo, determinar que táctica utilizaremos para evitar el fallo total: RTF – PM – PdM ó PAM

CAMINO HACIA LA EXCELENCIA EN MANTENIMIENTO



Mantenimiento al fallo (RTF) “Run to Failure”

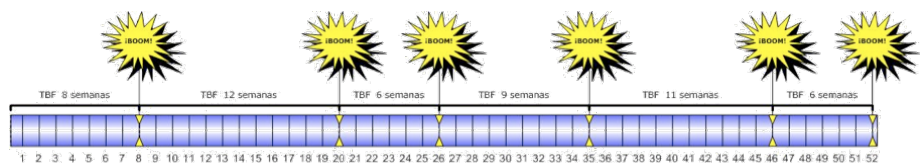
Consideremos un elemento común a muchas plantas como es un intercambiador de calor



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
- ☒ 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.

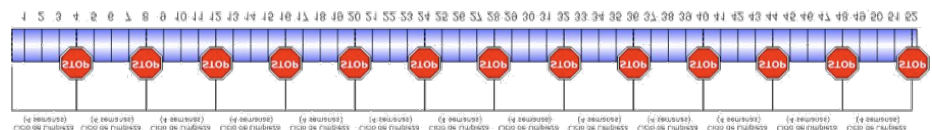
Mantenimiento Preventivo a intervalos fijos (PM)

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

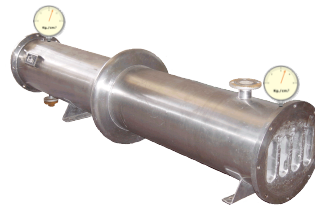
En resumen podemos considerar que el mantenimiento preventivo a intervalos fijos PM es aquel que:

- ☒ Está activado a intervalos fijos en una base de tiempos:
 - ☒ Según calendario
 - ☒ Según un parámetro de operación medible (Kms, 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 predictivo (PdM)

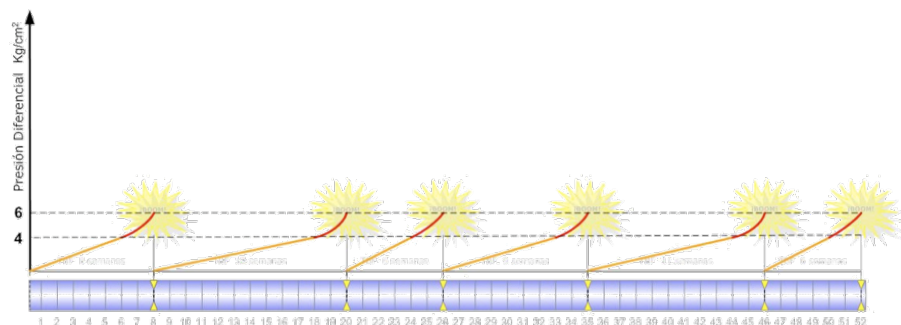
Cuando empezamos nuestra historia con el intercambiador y sólo seguíamos una táctica de RTF, pusimos nuestra atención exclusivamente en el eje de tiempos demostrando que el tiempo mínimo entre dos fallos consecutivos fue de 6 semanas y en base a este hecho decidimos (quizá erróneamente) implementar una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

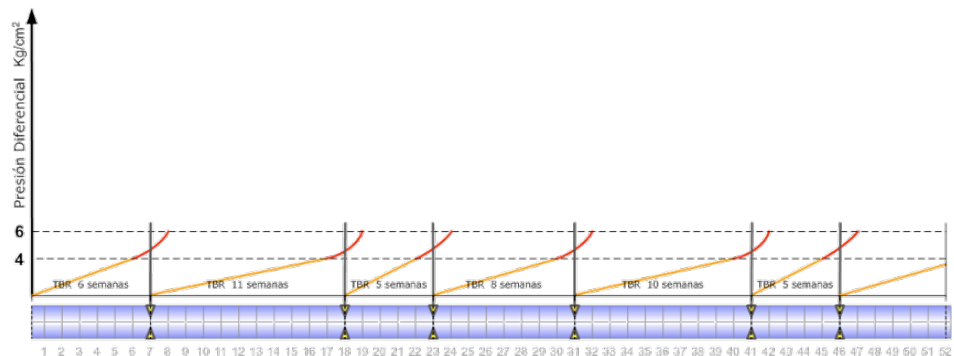
Es evidente que en un estado de limpieza total, la presión diferencial es cero mientras que a medida que el sistema se va ensuciando la presión diferencial va creciendo hasta un máximo valor para el cual el grado de suciedad impide el funcionamiento del equipo.



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/cm², 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/cm² dispondremos aun de dos semanas (antes de que llegue al valor máximo permisible de 6 Kg/cm² 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/cm²) y el fallo (6 Kgs/cm²).

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:

1. Un 68% de los fallos son de naturaleza aleatoria.
2. 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.
3. 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.
4. La afirmación establecida en el punto 1 pone en cuestión el **mantenimiento preventivo programado a intervalos fijos (PM)**, para aquellos fallos de aparición aleatoria.
5. 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.

Experiencia



Madrid – 15 de julio de 2011
 José P. Rayo Peinado
jprayo@irm.es
 Preditec/IRM

Ingeniero Consultor en Predictivo y Fiabilidad, fundador de IRM, S.A. es hoy Director de Proyectos de Fiabilidad de Preditec/IRM. Su experiencia en Mantenimiento con un enfoque hacia el mantenimiento predictivo es ya de 33 años. Ha participado como responsable en el diseño e implantación de mantenimiento predictivo y seguimiento de resultados en numerosas empresas del sector Eléctrico, Alimentario, Petroquímico, Papelero, Cementero, etc. tanto en España como en el extranjero. En la faceta docente ha formado a varios cientos de técnicos en la metodología del mantenimiento predictivo así como en sus técnicas asociadas. Participe activo como ponente en diferentes congresos y seminarios nacionales e internacionales.