

METODOLOGÍA DE IMPLANTACIÓN O DE MEJORA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Santiago Jesús Calero Castro
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
scc@uma.es

Elvira Maeso González
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
emg@uma.es

Salvador Pérez Canto
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
spc@uma.es

Universidad de Málaga

Resumen

En la actualidad, el Mantenimiento es ante todo una “estrategia” en la empresa. Esta estrategia se ha de integrar con las existentes de Calidad Total, Seguridad, Medioambiente, etc. pasando por el diseño, construcción, implantación y explotación de los sistemas productivos, teniendo como fin llegar al objetivo deseado en cualquier industria avanzada: disponer de los equipos productivos siempre que se les necesite, implantando en la empresa grupos de mejora y fiabilización.

La gestión del mantenimiento industrial moderno se presenta como un conjunto de técnicas para cuidar la tecnología de los sistemas de producción a lo largo de todo su ciclo de vida, llegando a utilizarlos con la máxima disponibilidad y siempre al menor coste, garantizando, entre otras cuestiones, una asistencia técnica eficaz a través de una buena formación y gestión de competencias en el uso y mantenimiento de dichos sistemas.

En el presente artículo presentaremos la evolución de los diferentes tipos de mantenimiento y la fabricación, así como las estrategias para la correcta planificación del mantenimiento industrial desde el punto de vista de la gestión

Palabras Clave: Disponibilidad, mantenimiento industrial, fiabilidad.

1 INTRODUCCIÓN

Durante la década de los setenta y primeros años del ochenta, era común la creencia en Europa de que los costes de mantenimiento irían en ascenso y así su repercusión sobre el total de producción año tras año.

En la actualidad, dos décadas después, podemos afirmar que nada de esto ha ocurrido gracias a un mejor uso de las instalaciones industriales, una correcta planificación y realización de las tareas de mantenimiento, una mayor fiabilidad de sistemas complejos y un gran desarrollo de las aplicaciones informáticas a todo el sistema de Gestión de Mantenimiento. (GMAO). [5] Gabriel, (1989)

2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

2.1 FALLOS.

Un fallo es el cambio en un producto o sistema desde una condición de trabajo satisfactoria a una condición que está por debajo de un estándar aceptable. Incluso cuando los resultados no son catastróficos, los resultados de un fallo pueden provocar desorganización, inconvenientes, pérdidas... La norma AFNOR X 60-011 establece una clasificación de los fallos que se puede ver en la figura 1.

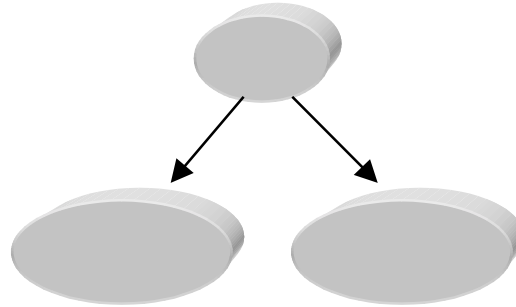


Figura 1. Tipos de fallos
(fuente: elaboración propia)

En ella se establece dos tipos de fallo: *el fallo parcial*, que queda definida como la alteración de un bien para cumplir la función requerida; *el fallo completo*, que a su vez se establece como el cese de un bien para cumplir la función requerida.

Está claro que los fallos en si mismos son sucesos a evitar o a minimizar en los entornos productivos. La fiabilidad y el mantenimiento protegen tanto el rendimiento de la empresa como sus inversiones. Los sistemas actuales han de ser diseñados de forma que se obtengan de ellos el máximo rendimiento así como los estándares de calidad definidos por la empresa.

La *fiabilidad* es la característica de un dispositivo expresada por la *probabilidad* de que este dispositivo cumpla una función requerida en las *condiciones de utilización* y para un *periodo de tiempo* determinado (norma AFNOR X 05-501).

Fiabilidad	Conceptos de la definición
Probabilidad.	Expresada como la relación : $\frac{\text{número de casos favorables}}{\text{número de casos posibles}} \leq 1$
Función requerida	La definición de la función implica un nivel de admisibilidad a partir de la cual la función no se cumplimenta
Condiciones de utilización	Definición de las condiciones de uso, circunstancias, variables y exigencias mecánicas, físicas, químicas...
Periodo de tiempo	Definición de la duración de la función

Tabla 1: Conceptos de la definición de fiabilidad.

La fiabilidad hay que entenderla como una extensión de la calidad en el tiempo en el sentido de que llamamos calidad a la conformidad de un producto con su especificación al salir de fábrica (t=0) y la fiabilidad a su aptitud de permanecer conforme durante la duración de su vida. [7] Monchy, (1990).

Las necesidades de mantenimiento dependen de forma directa de las características de fiabilidad de los equipos y elementos que lo componen. Es por este motivo que los estudios de fiabilidad a lo largo de la fase de diseño se han hecho imprescindibles en los últimos años.

El *mantenimiento* se define como “conjunto de acciones que permiten *mantener o restablecer* un bien en un *estado específico* o en la medida de asegurar un servicio determinado” (norma AFNOR X 06-501).

El objetivo principal tanto de la fiabilidad como del mantenimiento es conservar la capacidad del sistema controlando los costes.

Mantenimiento	Conceptos de la definición
Mantener.	Comprende la noción de prevención en cualquier sistema de funcionamiento.
Restablecer.	Comprende la noción de corrección consecutiva a una pérdida de función contrastada.
Estado específico.	Supone la predeterminación del objetivo a conseguir, con la cuantificación de los niveles característicos.

Tabla 2: Conceptos de la definición de mantenimiento.

2.2 ANÁLISIS DE FIABILIDAD

La teoría de la fiabilidad es una técnica reciente. Los primeros pasos se dieron en aeronáutica militar en los años cuarenta.

En los últimos años, la presión para la obtención de las economías de escala ha llevado a un espectacular crecimiento de los equipos en la mayoría de las industrias (refinerías, petroquímicas, automóviles, aeronáutica, etc.), de esta forma cualquier fallo que se presente será mucho más costoso que antaño, incluso potencialmente peligroso (fallo en el reactor de una central nuclear). [3] Boucly (1998)

Este es el motivo principal que lleva a realizar desde la concepción de los equipos la predicción de la expectativa de vida, disponibilidad, carga de mantenimiento esperada y recursos estimados para intervenciones eficaces.

Es la relación entre diseño y fiabilidad que posteriormente se traducirá en carga y estrategia de mantenimiento lo que justifica desde el campo de la ingeniería la importante atención que se le están dando a estos parámetros imprescindibles para la eficaz puesta en marcha del mantenimiento industrial. [6] (Kelly, 1998).

2.2.1 Perfil de fallo de un equipo a lo largo de su vida

En términos generales se ofrece un perfil de probabilidad de fallo para la generalidad de los componentes en la figura 2. Evidentemente los niveles absolutos de la fiabilidad del sistema, $R(S)$, así como la escala de tiempo y longitudes relativas para los tres períodos observados variarán de un sistema a otro.

La estimación de los parámetro del perfil de probabilidad de fallo a lo largo de la vida entera de un sistema son un condición esencial para la predicción de la fiabilidad de un sistema.

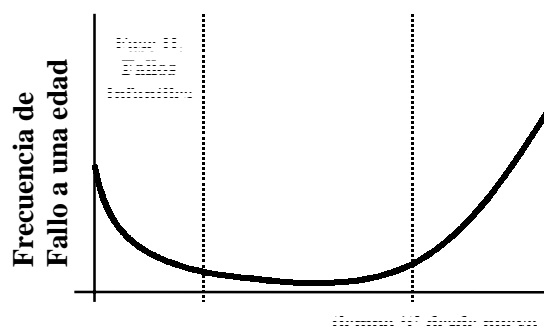


Figura 2. Curva del perfil de probabilidad de fallo (fuente: elaboración propia)

2.2.2. Predicción de la fiabilidad de un sistema complejo

Todos los sistemas están constituidos por 'n' componentes individuales interrelacionados, ejecutando cada uno un trabajo concreto. Parece claro que si algún componente no realiza su función, sea el motivo que fuere, el sistema entero es susceptible de fallo.

Ante esta tesitura vamos a analizar las posibles interrelaciones de los componentes y las soluciones posibles a adoptar para aumentar la fiabilidad.

Sistemas en serie

Sea un sistema formado por 'i' componentes en serie (véase figura 3)

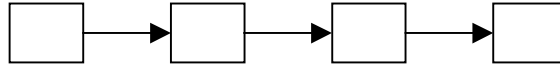


Figura 3. Componentes conectados en serie
(fuente: elaboración propia)

Para determinar la fiabilidad en un sistema donde cada parte o componente individual tiene su propia tasa de fiabilidad, basta con multiplicar las fiabilidades de los componentes individuales.

$$R_S(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times R_j(t) \times \dots \times R_i(t) \quad (1)$$

$$R_S(t) = \prod_1^i R_i(t) \quad (2)$$

donde:

$R_S(t)$, es la fiabilidad del sistema total

R_i es la fiabilidad individual del componente 'i'

En la ecuación anterior se observa que la fiabilidad de cualquier componente no depende en absoluto de la fiabilidad de otro componente, esto es, se trata de componentes relacionados en serie e independientes entre sí.

El valor correspondiente de fiabilidad de un elemento concreto es normalmente una especificación de diseño; en ocasiones la responsabilidad se atribuye al personal de compras cuando este elemento es incorporado al producto como pieza semi-elaborada por un proveedor. En este último caso tendremos que aunar esfuerzos por conocer los productos e investigaciones de nuestros proveedores, todo lo cual favorecerá la incorporación a nuestros productos de piezas de mayor fiabilidad individual.

La unidad básica de medida de fiabilidad es la tasa de fallo del producto FR (failure rate). Mide la proporción de fallos de un producto en relación a la cantidad total de productos probados FR(%), o número de fallos constatados durante un determinado periodo de tiempo FR(N).

$$FR(\%) = \frac{\text{número de fallos}}{\text{número de unidades probadas}} \times 100\% \quad (3)$$

$$FR(\%) = \frac{\text{número de fallos}}{\text{número de unidades} \cdot \text{horas del tiempo de operación}} \quad (4)$$

La duración media entre dos fallos corresponde al recíproco de FR(N) y se conoce como MTBF, media de tiempos de buen funcionamiento (en inglés "Mean Time Between Failures")¹

$$MTBF = \frac{1}{FR(N)} \quad (5)$$

¹ La traducción española de "Mean Time Between Failure", corresponde a "tiempo medio entre fallos". En ocasiones y en libros de otros autores encontraremos esta otra acepción.

Parece que queda en evidencia que la única manera de aumentar la fiabilidad de un sistema formado por 'i' componentes en serie consiste en la mejora de fiabilidades de los componentes individuales.

Sistemas en paralelo

Sea un sistema formado por 'i' componentes en paralelo (véase figura 4)

Para proceder al cálculo de la fiabilidad del sistema operaremos como sigue:

$$1 - R_S(t) = (1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \times \dots \times (1 - R_i(t)) \quad (6)$$

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (7)$$

donde:

$R_S(t)$, es la fiabilidad del sistema total

R_i es la fiabilidad individual del componente 'i'

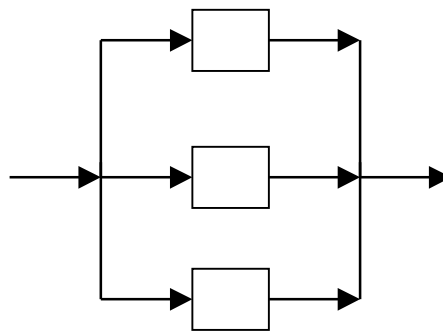


Figura 4. Componentes conectados en paralelo
(fuente: elaboración propia)

Es evidente que mientras más componentes hay en paralelo, mejor es la fiabilidad del sistema.

Con el nombre de “redundancia”, se usa esta propiedad para aumentar la fiabilidad de un sistema. La redundancia se hace operativa si un componente falla y el sistema puede recurrir a otro. Pensemos en un sistema en paralelo de bombas de agua de impulsión, de tal modo que si una de ellas falla por el motivo que sea, entre en funcionamiento la segunda de forma automática, asegurando de esta forma el suministro a los puntos de consumo.

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Como vimos en la introducción del capítulo, se define mantenimiento como “conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado” (norma AFNOR X 06-501).

Hay dos tipos de mantenimiento según la norma AFNOR X 60 010 y 60 011, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

2.3.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es aquella operación de mantenimiento efectuada después del fallo. Está basada en dos tipos de intervenciones:

1. Los arreglos, esto es, una vuelta al estado de funcionamiento realizada en el propio lugar donde opera la máquina, en ocasiones sin interrupción del funcionamiento del conjunto afectado. Este arreglo se realiza con carácter momentáneo y son característicos del mantenimiento paliativo.
2. Las reparaciones, realizadas *in situ* o en el taller central de la fábrica, en ocasiones tras el arreglo. Esta reparación se realiza de forma definitiva y son característicos del mantenimiento curativo.

La forma de implementar el mantenimiento correctivo en una empresa es a través de dos estrategias de concepción del mismo:

Mantenimiento de catástrofe.

Es la típica del entretenimiento tradicional, consistente en no hacer nada hasta que aparezca una avería. Para ello:

- el personal está en espera de que ocurra un fallo, presentado una carga irregular de trabajo para el servicio de mantenimiento.
- las tareas de preparación de la intervención se realizan tras la peritación del fallo.
- las piezas de recambio se realizan “según pedido”

La justificación de la adopción de este tipo de mantenimiento viene condicionada por los siguientes factores:

- cuando los gastos indirectos del fallo son mínimos y los requerimientos de seguridad son bajos.
- cuando se adopta, por parte de la empresa, una política de renovación frecuente del material.
- cuando el parque de maquinaria de la empresa está constituida por máquinas en las que los eventuales paros no son críticos para la producción.

Mantenimiento como complemento residual del mantenimiento preventivo.

Esta claro que sea cual sea la política y el nivel de preventivo puesto en práctica por la empresa, subsistirá inexorablemente un porcentaje de fallos imprevistos, residuales o catalécticos que requerirán la puesta en marcha de acciones correctivas. Esto no dice que siempre deben coexistir un nivel de mantenimiento correctivo aunque la política implantada en la empresa sea preventiva.

Evolución del mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo debe incluir entre sus objetivos, no sólo efectuar un arreglo o reparación para restaurar la pérdida de función, sino que debe realizar una serie de investigaciones acerca del fallo producido:

- análisis de las causas de la parada
- vuelta al estado de funcionamiento
- mejora de componentes, sistemas... al objeto de eludir la reaparición de la avería, o en todo caso minimizar los efectos producidos por la aparición
- registro sistemático de la intervención realizada, al objeto de permitir su posterior uso en aplicaciones informáticas de GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador)

En la figura 5 aparece representada la forma del mantenimiento correctivo según una ley de degradación desconocida.

En el eje de ordenadas se representa el nivel de rendimiento del sistema y el eje de abscisas está representado por el tiempo.

Se puede observar que partiendo del rendimiento óptimo del sistema, este va sufriendo un deterioro progresivo apareciendo lo que se conoce como fallo por degradación ocurriendo la pérdida de función en el instante TBF, tiempo entre fallos (time between failures).

En este instante se realiza una intervención correctiva, bien arreglo, bien reparación en un tiempo TAM, tiempo propio de indisponibilidad, con lo que se devuelve el sistema a su nivel de rendimiento óptimo.

Puede aparecer en cualquier momento un fallo cataléctico o imprevisible tal y como se recoge en la figura en el que la pérdida de función pasa de ser progresiva a ser casi inmediata

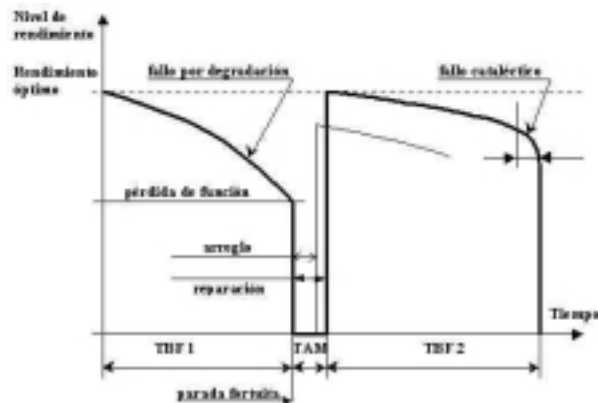


Figura 5. El mantenimiento correctivo
(Fuente: adaptación propia a partir de Monchy, 1990, p. 39)

2.3.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel que se efectúa con la intención de reducir la probabilidad de fallo de un bien o la degradación de un servicio prestado. véase la figura 6.

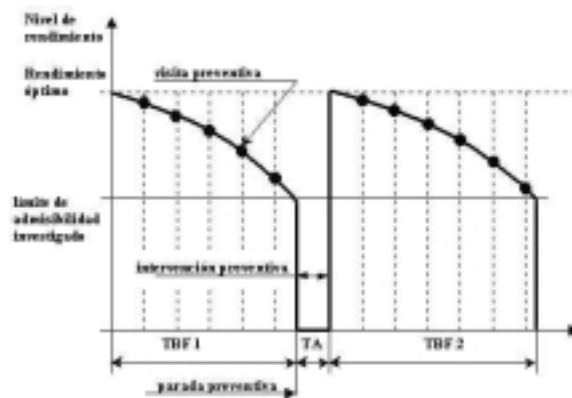


Figura 5. El mantenimiento preventivo
(Fuente: adaptación propia a partir de Monchy, 1990, p. 39)

Es una intervención de mantenimiento programada, preparada y prevista en fecha anterior a la probable de aparición de un fallo (norma AFNOR X 06-010)

Objetivos principales del mantenimiento preventivo

- Aumentar la fiabilidad de un sistema, máquina, equipo, etc. Conseguiremos entre otras cosas reducir los costos de fallo, conseguir una mejora de la disponibilidad².
- Reducir y alisar la carga de trabajo al poder ser programado con antelación.
- Facilitar la gestión eficaz de existencias de recambios y material necesario para la realización de las intervenciones de mantenimiento.
- Garantizar la seguridad en el trabajo, reduciendo las improvisaciones.

² La noción de disponibilidad apunta hacia “la probabilidad de que un dispositivo esté en estado de funcionar”, o sea, que no esté averiado ni en revisión.

- Aumentar la vida útil del equipo

La puesta en marcha de un sistema de mantenimiento preventivo.

Para poner en funcionamiento un servicio de mantenimiento eficaz, deberemos contar con un método que gravará a corto plazo los costes directos de mantenimiento según [8] Roldán (1997). Este método consiste en la gestión de la documentación técnica (dossiers-máquinas e históricos), los análisis técnicos del comportamiento del material (estudio de fallos, leyes de degradación, fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), preparación de las intervenciones periódica (rentabilidad de la preparación, tareas del preparador y preparación de la intervención) y la concertación con el departamento de producción/operaciones (ordenamiento de los trabajos y realización de los mismos).

Todo lo indicado arriba son la base del mantenimiento preventivo siendo absolutamente necesarias para la correcta puesta en práctica de este sistema de mantenimiento.

1. Fases de implementación del mantenimiento preventivo.

En un primer paso, el mantenimiento preventivo existirá solo, es decir realizaremos visitas preventivas periódicas, a fin de observar todo el conjunto de sistemas en funcionamiento. Se registrará todo lo conveniente para desarrollar las leyes de degradación del material así como los límites de admisibilidad que vamos a establecer para los diferentes sistemas, equipos, instalaciones, etc.

Una vez realizado esto y conociendo de forma fehaciente el comportamiento del material, abordaremos los métodos del mantenimiento sistemático, más sencillo de gestionar. Dentro del mantenimiento sistemático podemos encontrar el mantenimiento de ronda y el condicional que pasaremos a detallar a continuación.

2.3.3 Mantenimiento Sistemático

La definición de mantenimiento sistemático expone que es “el mantenimiento preventivo efectuado mediante una programación preestablecida, ya sea en el tiempo, el número de unidades fabricadas, número de operaciones realizadas, distancias recorridas, etc...”

Para la puesta en marcha de este tipo de mantenimiento es imprescindible el conocimiento previo del comportamiento del material en el tiempo.

El conocimiento de los diferentes periodos de intervenciones sistemáticas permite establecer un plan personalizado para una máquina en concreto.

Afecta principalmente a:

- equipos con coste de fallo destacado
- equipos en los que cuando presentan fallos el coste es de carácter grave, pudiendo incluso arrastrar a otras piezas a una pérdida de función. (correa de la distribución de un automóvil, bujías..)
- equipos en los que la parada va a ser de larga duración
- equipos en los que se corre un riesgo de seguridad de personal o usuarios en caso de fallo
- equipos sometidos a la legislación o normativa vigente (climatización, ascensores, alta tensión, sistemas de extinción de incendios...)

2.3.4 Mantenimiento Sistemático

Para establecer el periodo de intervención se tendrá en cuenta las recomendaciones del fabricante, experiencia adquirida durante el funcionamiento del mantenimiento correctivo, el uso de la información extraída de un histórico, política de mantenimiento.

También conocido como mantenimiento predictivo, bajo condición o estado.

Es un tipo de mantenimiento preventivo subordinado a un tipo de acontecimiento predeterminado (seguimiento continuo, captores, autodiagnóstico...)

La ventaja principal de esta forma de mantenimiento es que asegura la vigilancia continua del material al objeto de prevenir los fallos esperados. Otra ventaja sin duda es que permite realizar mantenimiento preventivo sin conocer la ley de degradación del material.

Es importante notar que para su correcta aplicación hay que tener en cuenta una serie de condiciones tales como que el material se preste a ello mediante la degradación progresiva y la observación de la misma.

Los parámetros que usualmente son medidos son:

- parámetros físicos (presiones, velocidad, temperatura, caudal...)
- vibraciones y ruidos
- aparición de residuos de desgastes en aceites de lubricación principalmente

La principal diferencia entre el preventivo sistemático y el condicional es que la fecha de intervención preventiva será predeterminada en el caso del sistemático y determinada en caso de alarma en el sistemático.

El mantenimiento condicional es un fin hacia el cual se está evolucionando ya que entre otras cosas permite utilizar el sistema al máximo de sus posibilidades.

3 RESUMEN

En este primer artículo de la gestión de mantenimiento industrial, hemos expuesto la evolución y los conceptos de los diferentes tipos del mantenimiento.

En un artículo posterior estudiaremos la metodología para el diseño y la implantación de un sistema de gestión de mantenimiento óptimo aplicable a cualquier industria, que evite las elevadas pérdidas económicas consecuentes de la mala gestión del mantenimiento, facilite el trabajo de los técnicos de intervención y prevea los consumos de recambios, materiales, suministros, etc.

Referencias

- [1] Adam, Jr.E.E. y Ebert, R., (1991), *Administración de la Producción y Operaciones*. Conceptos, modelos y funcionamiento. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana. México.
- [2] Aroca, J. ; Brígido, D.; Usero, A., (1998), *Mantenimiento instalaciones electricas*. Ed. FOREM. Fundación Formación y Empleo.
- [3] Boucly, Francis (1998), *Gestión del Mantenimiento*. Ed. AENOR. Madrid.
- [4] Domínguez Machuca, J. A. (Director y coordinador),VV.AA., (1994), *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y en los servicios*. Ed. McGraw-Hill. Madrid.
- [5] Gabriel, M. ; Pimor, Y., (1989), *Mantenimiento industrial por ordenador*. Ed. Masson, Barcelona
- [6] Kelly, A. ; Harris, M. J., (1998), *Gestión del mantenimiento industrial* Ed. Fundación REPSOL. Madrid
- [7] Monchy, F., (1990), *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. Ed. Masson., Barcelona
- [8] Roldán Vilorio, J. (1997), *Manual de mantenimiento de instalaciones*. Ed. Paraninfo, Madrid