

INTRODUCCIÓN

Mantenimiento

Desde el punto de vista técnico, hay dos consideraciones en la gestión de cualquier activo físico (equipo). Una, es que deben mantenerse y, la otra, que de vez en cuando puede que haga falta también modificarlos.

Algunos diccionarios definen la palabra ***mantener*** como:

- *la causa para que algo continúe*
- *proseguir en lo que se está ejecutando*
- *sostener un sistema en funcionamiento*
- *todo lo realizado para mantener algo en un estado existente.*

Todas las definiciones sobre Mantenimiento ponen de manifiesto que esta actividad es la **preservación** de algo. Pero cuando tenemos que tomar la decisión de mantener algo, ¿qué es lo que deseamos **lograr que continúe**? ¿Cuál es el **estado existente** que deseamos preservar?

La respuesta a estas preguntas puede encontrarse en el hecho de que todo elemento físico se pone en servicio para cumplir una función o funciones específicas.

Por tanto, cuando mantenemos un equipo, el estado en que deseamos preservarlo es aquel en el que deseamos que continúe cumpliendo las funciones determinadas por sus usuarios. Por tanto, la finalidad del Mantenimiento son las funciones, primarias y secundarias, de los activos físicos. Según el RCM (Reliability Centred Maintenance), puede definirse al Mantenimiento como sigue:

Mantenimiento es asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas.

Aún así, existen otras definiciones como las siguientes:

- Es una compleja actividad técnico – económica cuya finalidad es la conservación de los activos de la empresa, maximizando la disponibilidad de los equipos productivos, tratando que su gestión se lleve a cabo de la mejor forma posible. (Mantenimiento Industrial, Raimundo Gonzalez).
- Conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigibles, al mínimo costo, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene, y con una mínima degradación del medio ambiente. (Gestión Integral de Mantenimiento, Luis Navarro Eola).
- Conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

El mantenimiento sólo puede entregar la capacidad incorporada (o fiabilidad inherente) de cualquier elemento o equipo; no puede aumentarla. En otras palabras, si cualquier tipo de equipo es incapaz de cumplir el estándar deseado de funcionamiento desde su diseño, el Mantenimiento (referido a las tareas exclusivas de mantenimiento) **por sí solo** no puede lograrlo.

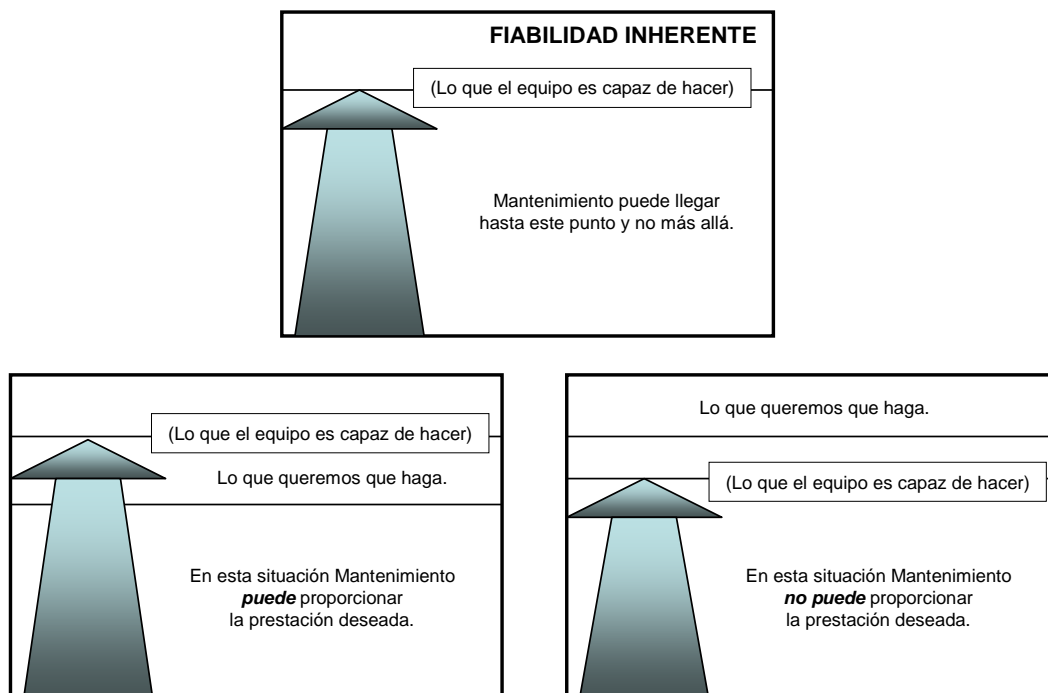
Las funciones de cualquier equipo pueden definirse de muchas formas dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté utilizando (es decir, dependiendo de su contexto operativo).

Fiabilidad Inherente y Prestación Deseada

La **fiabilidad inherente** de un activo queda determinada por su diseño y por la manera en que se fabrique; también se conoce como **capacidad de diseño**.

Ninguna forma de mantenimiento puede producir una fiabilidad superior a la que está inherente en el diseño. Por tanto, si la prestación deseada excede a la capacidad de diseño, por completo que sea el mantenimiento, no se podrá conseguir esa prestación.

Lo antedicho puede observarse en las siguientes Figuras.



La distinción entre lo que queremos que haga un elemento (activo) y lo que es capaz de hacer, es la causa de algunas de las peores discusiones en torno al mantenimiento y su gestión. Esto se debe a que los operadores o usuarios suelen pensar en términos del provecho que quieren sacar de cada equipo, al tiempo que el personal de mantenimiento tiende a concentrarse en lo que puede hacer el equipo. Sin embargo, ninguno de los dos está completamente equivocado, es simplemente que miran el problema de perspectivas diferentes.

Dispositivos de Seguridad

Desde la óptica del mantenimiento, los dispositivos de seguridad son todos aquellos equipos, sistemas o componentes que se instalan:

- Para llamar la atención al usuario que existe un estado anormal de funcionamiento.
- Para detener el equipo en caso de avería.
- Para eliminar o reducir las condiciones anormales que siguen a un fallo, y que de otra manera podría provocar daños mucho más graves.
- Para sustituir a una función que ha fallado.
- Para prevenir que surjan situaciones peligrosas desde el principio.

Dispositivos de Seguridad dotados de Seguridad Inherente

El término *seguridad inherente* quiere decir que un fallo del dispositivo de seguridad sería evidente para los operadores o usuarios en general en condiciones normales de operación. Significa que, en un sistema dotado de dispositivo de seguridad con seguridad inherente, hay tres posibilidades de fallo en cualquier período dado, como sigue:

- 1- La primera posibilidad es que no falle ninguno de los equipos (el protegido ni el de protección), en cuyo caso todo se desarrolla con normalidad operativa.
- 2- La segunda posibilidad es que falle primero el dispositivo protegido, en cuyo caso el dispositivo de seguridad realiza su función asignada, y se reducen o eliminan las consecuencias del fallo del dispositivo protegido.
- 3- La tercera posibilidad es que falle primero el dispositivo de seguridad. Esto sería evidente porque de no serlo así el dispositivo no contaría con seguridad inherente. Si se hacen las cosas de forma correcta, se comunica y rectifica rápidamente el fallo, de manera que las posibilidades de que falle el dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad todavía se encuentra averiado, son mínimas.

Dispositivos de Seguridad no dotados de Seguridad Inherente

En un sistema que contiene un dispositivo de seguridad no dotado de seguridad inherente, el hecho de que el dispositivo no pueda cumplir su función asignada *no* es evidente bajo circunstancias normales. Esto crea cuatro posibilidades de fallo:

- 1- La primera es que no falle ninguno de los dispositivos.
- 2- La segunda, que el dispositivo protegido falle en un momento en que el dispositivo de seguridad aún funciona.
- 3- La tercera posibilidad es que falle el dispositivo de seguridad mientras que el protegido todavía funciona. En este caso el fallo no produce consecuencias directas. Nadie se enteraría que el dispositivo de seguridad ha fallado.
- 4- La cuarta posibilidad es que se produzca el fallo del dispositivo de seguridad, seguido del fallo del dispositivo protegido, mientras el primero aún se encuentra averiado. Esta situación se clasifica como **“fallo múltiple o simultáneo”**.

En el caso de los dispositivos de seguridad, sólo se produce un fallo múltiple o simultáneo si falla la función protegida mientras el propio dispositivo de seguridad está averiado.

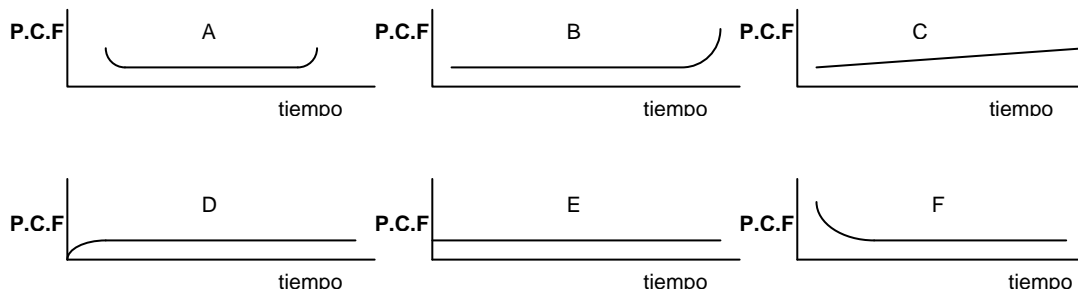
Ejemplo

*Consideremos la situación en que una válvula de seguridad (dispositivo de seguridad) está montada en una caldera (dispositivo protegido). Si la presión dentro de la misma sobrepasara un tope admisible, se activaría la válvula, aliviando la presión excesiva. Si la válvula de seguridad hubiese quedado en posición cerrada, nadie se enteraría del hecho mientras la presión de la caldera se mantuviese dentro de valores normales. Si no se toma ninguna acción, sólo nos enteraríamos que la válvula ha fallado de requerir que la misma abra. Se dice entonces que este equipo (la válvula de seguridad) no posee seguridad inherente porque no **avisa** de la existencia de un **“fallo oculto”**.*

Algunos sistemas de freno poseen indicación, por medio de una alarma, de que el mismo no tiene sus “pastillas” de freno en condiciones, éste es el caso de un sistema con seguridad inherente. No es necesario presionar el freno ante una emergencia, para saber que éste tiene una disminución excesiva de pastillas.

Diferentes Modelos de Fallos

A continuación se ilustra la Probabilidad Condicional de Falla¹ en función del tiempo, para diferentes patrones de falla.



El ejemplo de la curva tipo "A" puede ser un engranaje que requiere de un cuidadoso montaje en un reductor. Para la curva "C" los revestimientos interiores de una tolva pueden ser un ejemplo; para la tipo "F" puede mencionarse un circuito electrónico integrado o una lámpara de una alarma de un tablero de control.

En general, los modelos de los fallos dependen de la complejidad de los elementos. Cuanto más complejos sean éstos, más fácil que estén de acuerdo con los modelos "E" y "F". Los estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de las piezas se comportan de acuerdo al modelo "A", el 2% al "B", el 5% al "C", el 7% al "D", el 14% al "E" y no menos del 68% como el "F".

El número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es necesariamente el mismo que en la industria, pero no hay duda que cuanto más complejos sea un equipo o sistema, más veces encontraremos los modelos "E" y "F".

Fallos y Criterios de Funcionamiento

A la hora de definir los fallos las cosas pueden no ser sencillas. En el pasado era fácil determinar si un equipo funcionaba o no. Desde el punto de vista de la función **Mantenimiento** esto era una situación de todo o nada. O funcionaba o no funcionaba. Por ejemplo, la mayoría de las personas estaría de acuerdo en que un motor de combustión interna ha fallado si ya no puede realizar su función primaria (movilizar el vehículo). Pero hay momentos en que un elemento funciona, aunque no al régimen de diseño. Puede ocurrir que el motor funcione aparentemente de manera normal, pero con un elevado consumo de aceite. ¿Ha fallado este equipo? Sí ó no. ¿Qué grado de deterioro de su estado puede admitirse antes que digamos que ha fallado?

Para contestar esta pregunta se comienza por definir al fallo como **"un estado insatisfactorio"**. La gravedad de tal estado insatisfactorio depende de las **consecuencias del fallo** las que, a su vez, dependen del **contexto operacional del equipo**.

Un fallo funcional se define como la incapacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado

Es importante tener en cuenta el criterio de funcionamiento utilizado para definir el fallo funcional, es decir el punto en que decimos **"de aquí no pasa"**. Esto define el nivel de mantenimiento necesario para evitar el fallo.

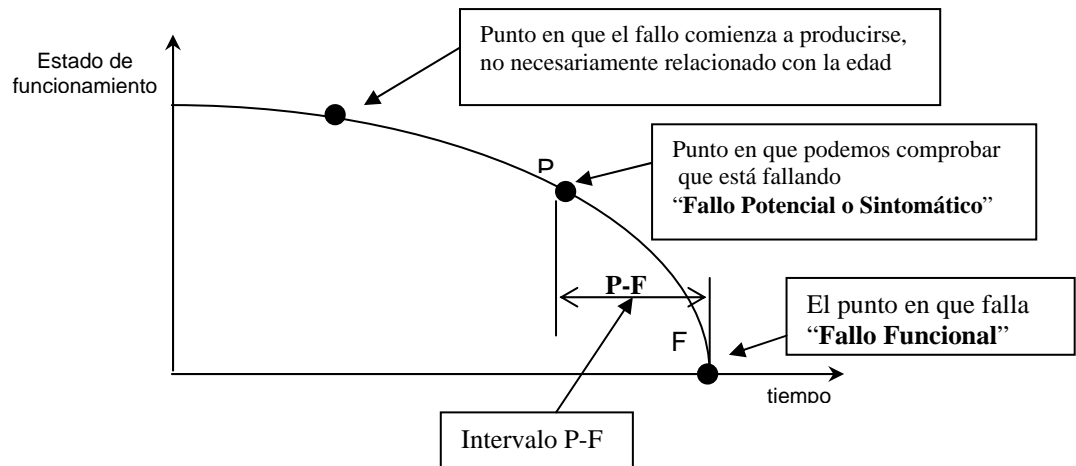
En la práctica se ahorra mucho tiempo si se define el criterio de funcionamiento antes que se produzca el fallo, para que todo el mundo actúe en consecuencia. Es por esta

¹ La probabilidad Condicional de Falla (PCF) también se conoce como tasa de fallas (λ).

razón que debemos definir claramente todos los criterios de funcionamiento para cada equipo dentro de su contexto operativo.

Los criterios de funcionamiento deben establecerlos las personas que más conocen sobre el equipo y, además, trabajando conjuntamente

Fallos Potenciales



Un fallo potencial (o sintomático) es un estado físico identificable que indica que está a punto de producirse un fallo funcional o está ocurriendo ya.

El intervalo P-F es el tiempo transcurrido entre un fallo potencial y su empeoramiento hasta que se convierta en un fallo funcional

Como ejemplo de fallos potenciales podemos mencionar:

Fallo incipiente de un rodamiento (Análisis de Vibraciones)
Puntos calientes que significan el deterioro de los refractarios de un horno (Termografía)
Grietas que indican fatiga del material (Ferrografía)
Pérdidas de las características de un aceite lubricante (Tribología y Análisis de Aceites)
Presencia de cobre en el aceite procedente de un sistema de enfriamiento (Espectrometría)

Hasta ahora hemos definido a los fallos con respecto a cuándo y cómo aparecen, dependiendo del estado del elemento. Así mencionamos a los Fallos: **Potenciales, Funcionales, Ocultos y Múltiples.**

Pero también suelen clasificarse de la siguiente manera:

- **Fallos debidos a un mal diseño o a errores de cálculo del equipo.** No conocer exactamente el contexto operativo en el que trabajará la máquina, es despreciar efectos que luego resultan más importantes de lo que se esperaba. El exceso de simplificación en una máquina o aparato para obtener mejores precios, ocasiona errores de diseño que adquirimos con el equipo. El número de fallos atribuibles a este hecho son del orden del 12% del total de fallos.
- **Fallos debido a defectos durante la fabricación del equipo.** Si se descuidan los controles de calidad de materiales y piezas, nos encontramos con fallos inherentes e incluidos en la máquina que no tardarán en aparecer. Representan alrededor del 10% de los fallos.
- **Fallos producidos por mal uso de la instalación.** Porcentualmente son los más numerosos (aproximadamente el 40% en la industria convencional); provienen de

un desconocimiento del manejo del equipo, por emplearlo en aplicaciones para las que no fue diseñado y, sobre todo, por utilizarlo en regímenes superiores a los especificados por el fabricante o los mantenedores.

- **Fallos debidos al desgaste natural y al envejecimiento.** Son fallos más familiares. Se trata de rotura, desgaste, abrasiones, corrosión, fatiga, cavitación, etc. Suponen el 11% en la industria convencional.
- **Fallos debidos a fenómenos naturales y otras causas.** Los que son debidos a fenómenos meteorológicos y causas exteriores al propio equipo. Suponen el 27%.

Tipos de Mantenimiento

Se introducen aquí los diferentes tipos de mantenimiento que en general se aplican. El límite de cada uno de ellos es difícil establecerlo con exactitud pues, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma aunque variando la metodología.

Mantenimiento Correctivo (Acción Reactiva)

Consiste en reparar las averías o fallos a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar de las averías es en general el propio usuario de los equipos.

Llevar el equipo al límite de su capacidad de funcionamiento puede agravar el fallo potencial o degenerar en otros de mayor importancia.

Si éste es el único tipo de mantenimiento realizado, estaremos obligados a tener un plantel numeroso con especialistas de cada oficio y un almacén de repuestos lo más completa posible. Desde el punto de vista económico estos dos aspectos aumentan los gastos directos de mantenimiento, así como los financieros. Si, además, los equipos se utilizan hasta el límite de sus posibilidades, las reparaciones serán más costosas y de mayor duración.

Tiene como característica que necesita poco o ningún planeamiento. No se necesita una programación especial para las reparaciones o recambios. Cuando se detiene una máquina por averías, se detiene la producción, con pérdidas a veces considerables en cantidad y calidad.

Por lo general se debe proceder en forma acelerada por lo que suele haber un notable incremento en el riesgo de accidentes o incidentes.

Mantenimiento Preventivo

Tiene como principal objetivo disminuir la frecuencia de las paradas no programadas, aprovechando el momento más oportuno, para Producción y Mantenimiento. Permite, además, preparar las herramientas y repuestos necesarios.

Se encuentran dentro de esta estrategia, los servicios de inspección cíclicos, las conservaciones y restauraciones de un ítem con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar fallas.

Se realiza a intervalos de tiempo, horas, ciclos, etc. regulares bien definidos y sin importar el estado del ítem a mantener. Normalmente se realizan con el equipo o instalación fuera de servicio.

Para algunos equipos, es necesario demostrar cierta rentabilidad económica en la utilización de este mantenimiento. (Ver RCM)

Mantenimiento Predictivo o basado en Condición

El mantenimiento predictivo intenta determinar, con la mayor anticipación posible, los fallos potenciales o sintomáticos de los componentes del equipo. Se trata del servicio de seguimiento del desgaste de una o más piezas de equipos prioritarios a través del

análisis de síntomas, o estimaciones hechas por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas y determinar el punto exacto de recambio. Normalmente se realiza con el equipo o instalación en servicio.

Algunas herramientas utilizadas por el mantenimiento predictivo son:

- Análisis de vibraciones (permanentes o periódicas)
- Termografía Infrarroja.
- Análisis de partículas de desgaste.
- Análisis de amperaje.
- Inspección por Ultrasonido.
- Verificación de metales y aleaciones, etc.
- Análisis de las propiedades físico químicas de los aceites.

Mantenimiento Detectivo

Son acciones tendientes a identificar “fallos ocultos” que pueden darse en equipos o instalaciones consideradas de protección. De suceder un fallo funcional de la función protegida, estaremos ante un fallo múltiple o simultáneo. Generalmente se realiza sobre funciones de protección o elementos no dotados de seguridad inherente.

Mantenimiento Previsivo

Se trata de eliminar la causa raíz del problema. En ciertos casos, debido a la grave consecuencia de los fallos, se hace necesario un análisis a tiempo inicial con la idea de disminuir la probabilidad de falla reiterada. Corresponde a todas aquellas técnicas que pueden tenerse en cuenta en el instante inicial de diseño (diseño básico) con el fin de disminuir o minimizar cualquiera de las tareas futuras de mantenimiento. (FMECA)

Mantenimiento Proactivo

Dentro de las estrategias de mantenimiento encontramos al mantenimiento proactivo que también se basa en la condición del equipo o el componente a la hora de decidir una intervención. Consiste básicamente en determinar las causas raíz de falla de los elementos que utilizan los equipos para su funcionamiento.

Cuando hablamos de identificar el fallo potencial (mantenimiento predictivo) lo que se busca es anticipar el fallo funcional lo antes posible. Pero lamentablemente ya existe una falla irreversible. (Ej: bolas de un rodamiento deterioradas, rayaduras en las pistas de un rodamiento, desprendimientos metálicos en dientes de engranajes, contactos eléctricos deficientes, bornes mal conectados, etc.)

En lugar de ello, el mantenimiento proactivo, intenta anticiparse al fallo potencial. Una de las técnicas más utilizadas es la tribología o estudio del comportamiento de los aceites lubricantes que permite controlar ciertas condiciones para evitar el desgaste de la máquina. Por otro lado permite tomar acciones correctivas para desviar tendencias y mejorar las condiciones de operación.

Algunos ejemplos son:

- Monitoreo de contaminantes de un lubricante.
- Conteo de partículas.
- Alineación y balanceo.
- Monitoreo de viscosidad y acidez.

Mantenimiento Autónomo o de Uso

El mantenimiento de uso pretende transferir el primer nivel de mantenimiento a los propios usuarios de los equipos. Uno de los inconvenientes que presenta el correctivo,

es la pérdida de información que surge de no controlar el funcionamiento del equipo. Si el usuario tiene como responsabilidad la conservación y pequeñas reparaciones, no pasará por alto las primeras anomalías que detecta antes del fallo funcional.

Las ventajas que se obtienen con este método de gestión es que las tareas se realizan a su debido tiempo. Por otro lado, se descomprime la carga de trabajo al personal de mantenimiento y se simplifica la organización. Así, el personal de mantenimiento podrá dedicar más tiempo y recursos para tareas estratégicas de gestión.

Para poner en marcha esta estrategia de apoyo al mantenimiento, es necesario dar a los operadores de los equipos cierta formación en mantenimiento y delimitar hasta donde pueden y deben actuar. Las acciones más frecuentes que suelen realizar los operadores son la lubricación, limpieza, pequeños ajustes.- (Se verá en TPM)

Mantenimiento Imperativo o Legal

Algunas instalaciones se encuentran sometidas a normativas o regulaciones por parte de instituciones municipales, provinciales o nacionales. (Ej: OPDS Organismo para el Desarrollo Sostenible).

Son equipos que entrañan riesgos para las personas o el medio ambiente. Estas instituciones exigen la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones, e incluso algunas de ellas deben ser realizadas por empresas debidamente autorizadas. Estas tareas deben necesariamente incorporarse al Plan de Mantenimiento del equipo. Algunas instalaciones sometidas a este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Recipientes o equipos sometidos a presión.
- Instalaciones de alta y media tensión.
- Torres de refrigeración.
- Determinados medios de elevación, de carga o de personas.
- Vehículos.
- Instalaciones contra incendio.
- Tanques de almacenamiento de productos químicos.

Indices de clase mundial

Existen algunos diferentes tipos de índices de clase mundial. Algunos de ellos se refieren al Análisis de la Gestión de los Equipos, mientras que otros tratan temas relacionados con la Gestión de Costos. Nos referiremos aquí a los pertenecientes al primer grupo.

Período Promedio entre Fallas (MTBF)

Justamente se trata del *período promedio entre dos fallas* de un elemento en un contexto dado, las letras MTBF corresponden a (*mean time between failures*).

Cuando nos referimos a un elemento, éste puede ser un equipo, un sistema complejo o un repuesto.

Si se trata sólo de un equipo, matemáticamente puede expresarse como el tiempo establecido para operar (T_o), menos el tiempo por paradas no programadas (T_{np}), dividido el número total de fallos detectados en un período de tiempo (C_f).

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{C_f}$$

Donde, C_f es la cantidad de fallos ocurridos en el equipo a lo largo del tiempo considerado. Este índice debe usarse para ítems que son reparados después de la ocurrencia de los fallos.

En algunos casos se suele aplicar para analizar un conjunto de ítems independientes (que no corresponden al mismo sistema o que su falla no ejerce efecto “dominó”):

$$MTBF = \frac{(T_o \times n) - \sum_{i=1}^n T_{np(i)}}{\sum_{i=1}^n C_{f(i)}}$$

Siendo n la cantidad de equipos considerados. T_o debe ser el mismo para todos los ítems.

Tiempo medio para la falla (MTTF)

Cuando se considera un ítem, repuesto, o elemento que se sustituye al fallar, el concepto es medianamente parecido. Denominado MTTF (*mean time to failure*), o tiempo medio para la falla, nos indica **en promedio**, con qué frecuencia se producirá la avería en el componente. El MTTF de una población estadística de unidades en funcionamiento (con reposición luego de cada falla), se obtiene:

$$MTTF = \frac{T_o \times n}{\sum_{i=1}^n C_{f(i)}}$$

Donde, T_o es el tiempo de operación considerado para el análisis y n la cantidad de unidades activas. $C_{f(i)}$ son las fallas ocurridas para cada unidad activa durante el tiempo T_o .

La aproximación es tanto más válida cuanto más extenso es el período considerado y cuanto mayor es la cantidad de unidades involucradas (del mismo ítem).

Es importante aclarar que MTTF y MTBF son mutuamente excluyentes dado que para el cálculo del MTTF el tiempo de reparación es cero.

No debe confundirse el período promedio para la falla (MTTF) con la Vida Útil. La vida útil es un caso especial del MTTF. La vida útil es representativa cuando la dispersión de los períodos promedios para la falla de cada elemento de una determinada

muestra, es baja; es decir, cuando casi todas las unidades fallan en tiempos muy parecidos. El MTTF sólo indica cuál es el período promedio de vida. No aporta datos concretos sobre la dispersión o consistencia de los períodos individuales. De todas formas es información útil con respecto a la confiabilidad del elemento bajo análisis.

Cuando estamos ante un repuesto cuya vida útil es aleatoria (no depende de la edad del mismo) el MTTF no nos da ninguna información sobre cuando puede fallar, pero sí sobre su probabilidad de falla en un período dado.

Si no tenemos historia registrada de un repuesto de vida útil aleatoria, pero lo podemos asimilar a otros de la misma tecnología, para obtener el MTTF, podemos hacernos la siguiente pregunta:

¿SI TENEMOS 10 UNIDADES ACTIVAS DEL REPUESTO, AL CABO DE CUANTO TIEMPO ESPERAMOS QUE 6 DE ELLAS FALLEN?

El número 6 no es antojadizo y proviene de una relación estadística según la cual el MTTF es el período en el cual ha fallado el 63% de una muestra de elementos cuya probabilidad de falla es constante y aleatoria y responde a una función binomial.

Los fallos más representativos con probabilidad constante y aleatoria se dan en la electrónica, pero también en ciertos contextos de la mecánica y la electricidad cuando los elementos están sujetos a fallas de diversas causas y no a una predominante.

Un ejemplo en la mecánica son los rodamientos de bolas, donde el inicio del proceso de falla dependerá de la velocidad de rotación, la magnitud de la carga, la rotación de la pista externa, daños en la superficie de rodadura producidas antes o durante la instalación del mismo, temperaturas de servicio, calidad y grado de limpieza del aceite, alineación del eje, materiales y calidad de construcción, etc. Es decir, cada rodamiento tendrá un período de vida diferente que estará signado por su propia historia, y ésta a su vez dependerá de múltiples factores independientes que se potencian entre sí para generar el proceso de falla.

Si, por el contrario, de lo que se trata es de un repuesto o elemento complejo, es decir un repuesto que puede tener más de un modo de fallo, veamos el siguiente ejemplo.

Si un repuesto puede tener una falla mecánica con un MTTF(1) de 6 años y una falla electrónica con un MTTF(2) de 30 años, el MTTF(S) del sistema complejo se obtendrá de:

$$(1 / \text{MTTF}(\text{S})) = (1 / \text{MTTF}(1)) + (1 / \text{MTTF}(2))$$

por lo tanto, será:

$$\text{MTTF}(\text{S}) = \frac{\text{MTTF}(1) \times \text{MTTF}(2)}{\text{MTTF}(1) + \text{MTTF}(2)}$$

De esta forma para nuestro caso:

$$\text{MTTF}(\text{S}) = \frac{6 \times 30}{6 + 30}$$

$$\text{MTTF}(\text{S}) = 5 \text{ años.}$$

Así, para n modos de fallos, el MTTF(S), se obtendrá de la siguiente fórmula:

$$(1 / \text{MTTF}(\text{S})) = (1 / \text{MTTF}(1)) + (1 / \text{MTTF}(2)) + \dots + (1 / \text{MTTF}(n))$$

Tiempo medio para reparación (MTTR)

El tiempo medio para reparación es la relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, durante un período determinado de tiempo.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Reparaciones}}{\text{Cantidad de Reparaciones}}$$

Este índice debe usarse en equipos cuyo tiempo de reparación es significativo respecto al tiempo de operación del equipo. La inversa del MTTR puede utilizarse como indicador de la Mantenibilidad de un equipo.

Confiabilidad

Se define la confiabilidad como la probabilidad de que un ítem cumpla las funciones requeridas, sin fallas, durante un período determinado. Cuando más arriba se analizó el período promedio para la falla (MTTF) se dijo que podía usarse como un indicador de la confiabilidad del equipo. Pero dado un intervalo determinado de tiempo t , es más conveniente utilizar:

$$K(t) = e^{-t/MTTF} = e^{-\lambda \cdot t}$$

También se define la Tasa de Falla como:

$$\text{Tasas de falla} \quad \lambda = \frac{\text{Fallas}}{\text{Horas de Servicio}} = \frac{1}{MTTF}$$

Es decir que la Probabilidad de Falla de un elemento cualquiera será:

$$Pf(t) = 1 - K(t)$$

Mantenibilidad

Se define como la facilidad que tiene un ítem de ser mantenido bajo condiciones o estándares establecidos. También como la probabilidad que un equipo o sistema pueda ser reparado satisfactoriamente en un tiempo determinado.

Aquí tenemos en cuenta el MTTR del equipo. Así, durante un período determinado t , se tiene:

$$M(t) = 1 - e^{-t/MTTR}$$

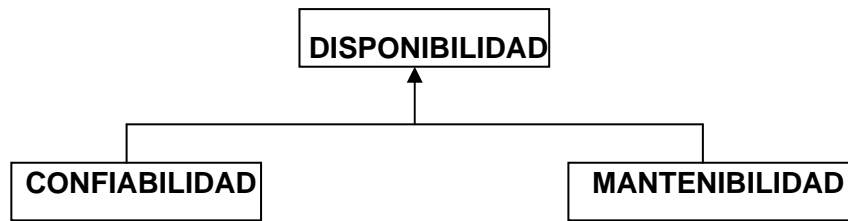
Disponibilidad de cada equipo (DISP) (ó Performance)

La Disponibilidad de un equipo o línea de producción representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad.

$$DISP = \frac{(\text{Horas Totales} - \text{Horas de Detención})}{\text{Horas Totales}} \times 100$$

Para el caso de equipos que se reparan luego de la detención, suele utilizarse:

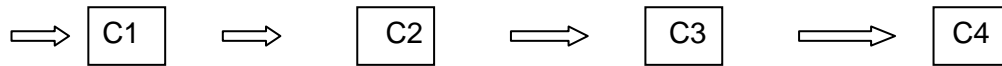
$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$



Confiabilidad de Sistemas

Podemos tener tres posibilidades

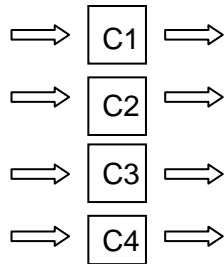
1) Un sistema de activos en línea (sin pulmón):



$$C_s = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$$

C_s = Productoria de C_i

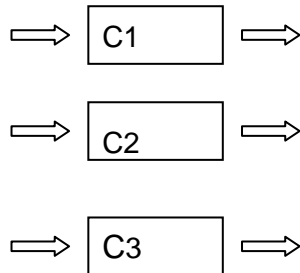
2) Equipos activos paralelos independientes:



$$C_s = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) / 4$$

C_s = Promedio de los C_i

3) Por último, si contamos con equipos redundantes para una misma función (casi todos los elementos de protección), la confiabilidad del conjunto será:



$$C_s = 1 - [(1 - C_1) \times (1 - C_2) \times (1 - C_3)]$$

$C_s = 1 - \text{Productoria de los } (1 - C_i)$

Siendo:

$(1 - C_i)$ la probabilidad de que el equipo i esté en estado de falla

y

C_s la probabilidad de que al menos uno de los equipos esté disponible.