

Mantenimiento Preventivo

A menudo nos preguntamos cuál es la tarea de mantenimiento más costo – eficaz para los equipos de Planta; es decir, aquella que garantice la funcionalidad de las instalaciones y sea, por otra parte, la más económica.

El Mantenimiento Preventivo ofrece tareas efectivas para evitar que ocurran algunos modos de falla. Por tanto, antes de estudiar en detalle el mantenimiento preventivo (también llamado **Mantenimiento Preventivo Periódico - MPP**), es necesario recordar los conceptos principales acerca de los MODO DE FALLA.

1. Modos de Fallo

Los modos de fallo son las **causas** capaces de provocar fallos; es decir, las **causas raíz de falla** que harían que el activo deje de funcionar total o parcialmente. Por su parte, las causas raíz de falla son las **“causas que cuando son eliminadas resultarán en la solución total del problema”**.

La experiencia indica que nunca hay que analizar sólo aquellos fallos que se produjeron alguna vez. No es suficiente que se produzcan los fallos para reaccionar ante los mismos, pues esto va en contra del principio de la prevención.

Las fuentes de información más inmediatas para analizar modos de fallo son las siguientes:

- ✓ Los operadores, especialistas, mantenedores o encargados que hayan tenido una larga vinculación con el equipo.
- ✓ El fabricante o vendedor del mismo (en algunas circunstancias).
- ✓ Otros usuarios de la maquinaria.
- ✓ Antecedentes técnicos y bancos de datos.

Un aspecto importante acerca de los modos de fallo es cómo describirlos. Siempre es más conveniente decir *“Se engrana el rodamiento”* que *“Falla el rodamiento”*.

Si decimos, por ejemplo, *“Falla la tolva de alimentación”* podría significar cualquier cosa, desde una pequeña fuga hasta el colapso total de la misma. Para el caso de válvulas o interruptores, es más conveniente precisar si la pérdida de función es consecuencia del fallo en la posición *abierta* o *cerrada*. Por ejemplo: *“Se atasca la válvula en posición cerrada”*

1.1 Causas Fundamentales de los Fallos

Es fundamental no concentrarse en los síntomas; debe buscarse siempre la causa fundamental del fallo.

Por ejemplo, en una planta hay 200 cajas de engranajes, todas del mismo diseño y todas realizando la misma función sobre el mismo tipo de equipo. Al hacer la lista inicial de los modos de falla resultó lo siguiente:

- ✓ se engranan los rodamientos
- ✓ se desprenden los dientes de engranaje

Se registraron éstos porque el personal recordaba que habían ocurrido en el pasado. La conclusión fue que sería aconsejable realizar tareas preventivas tales como “comprobar el desgaste de los dientes de engranaje” o “comprobar el desajuste de la caja de engranajes” y “comprobar la vibración de los cojinetes de la caja”.

Sin embargo, en un estudio más detallado resultó que ambos fallos habían ocurrido porque no se había comprobado el nivel de aceite, y en realidad éstas se habían averiado por falta de aceite. Es más, nadie pudo recordar si alguna de las cajas había fallado habiéndose lubricado correctamente. Por lo tanto sería más conveniente:

- ✓ falta aceite en la caja de engranajes

Nótese que aún pueden investigarse las causas que provocan la falta de aceite, por ejemplo, algún retén o junta rota.

1.2 Herramientas para buscar la causa raíz de un problema

Veamos a continuación algunas técnicas para analizar y proponer modos de falla.

Brainstorming (Tormenta de Ideas)

La técnica del brainstorming consiste en identificar todas las causas de un problema. Es un proceso creativo que hace uso del conocimiento del problema que tiene cada miembro del grupo y de su creatividad. Se debe proporcionar un ambiente distendido y son aconsejables los siguientes pasos:

1. Nombrar un moderador del grupo, que será el encargado de anotar todas las ideas que surjan.
2. Todo el grupo debe permanecer en silencio durante 10 minutos aproximadamente, pensando y anotando las ideas.
3. Cada miembro propone una idea, no se permiten críticas ni comentarios.
4. Se debe evitar repeticiones.
5. Es importante no criticar ninguna idea y el proceso será de votación por la aceptación o rechazo de cada propuesta.
6. La finalidad es obtener **cantidad** de ideas, la **calidad** de cada una de ellas se analiza posteriormente.

Diagrama Causa y Efecto

Se utiliza generalmente para evaluar los modos de falla complejos. En 1953, Kaoru Ishikawa profesor de la Universidad de Tokio, fue el primero en mostrar esta forma de analizar los problemas más complejos. Elaborar un diagrama causa y efecto (también llamado “espina de pez”) no es sencillo; lleva tiempo, esfuerzo y debe asegurarse un ámbito adecuado que propicie el trabajo en equipo y la participación de todos los integrantes.

La técnica permite visualizar rápidamente aquellas causas (modos de falla) que podrían derivar en una falla funcional (efecto) de un sistema complejo. Un equipo puede fallar por varias razones, e incluso algunas de ellas estar relacionadas entre sí. Para confeccionar un diagrama Causa – Efecto participa un grupo de personas lideradas por un moderador.

Para construir el diagrama se comienza definiendo brevemente el efecto (falla funcional), y se lo ubica dentro de un rectángulo a la derecha o izquierda del esquema. Luego, un eje central canaliza el aporte de las posibles causas que, a su vez, se agrupan según características; estos grupos se denominan *factores*. Existen distintas versiones o categorías en función de las características del problema; las más difundidas utilizan los siguientes factores:

- ✓ **Categoría A:** Método – Máquina – Materiales – Mano de Obra.
- ✓ **Categoría B:** Posición – Procedimiento – Persona – Política.
- ✓ **Categoría C:** Contexto – Proveedor – Sistema – Destreza.

De cada factor “cuelgan” las causas primarias, dentro de las cuales se encontrarán las causas raíz. Para problemas relacionados con fallas de equipos, se prefiere dividir las causas en los factores que sugiere la categoría A. Si se trata de un problema de procesos, es más apropiado utilizar la categoría B. Por último, para inconvenientes logísticos, administrativos o de servicios, la categoría C. No obstante, puede optarse por una combinación de factores.

Por ejemplo, nada impide que en la categoría A se incluya el factor *Contexto* (propio de la categoría C) para tener en cuenta las causas externas que condicionan la operación del equipo según ilustra la figura siguiente.



Figura 1 Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa) para la Falla Funcional.

Para confeccionar un diagrama de Ishikawa el grupo propone y discute las causas ubicándolas según el factor correspondiente, para lo cual suele utilizarse una *tormenta de ideas*. La falla funcional estudiada (efecto en el diagrama de Ishikawa) debe describirse claramente en relación a la función que se pierde; un bajo nivel de detalle obliga a que los analistas evalúen gran cantidad de causas que no son inherentes a la falla. Inicialmente cada línea, correspondiente a un factor, mostrará múltiples causas. Sin embargo, cuando el diagrama se somete a una depuración analítica se eliminan algunas causas que, en rigor, pueden ser efecto intermedio de otras, quedando solamente las causas raíz.

Todo diagrama de Ishikawa debe contar, además, con la siguiente información de cabecera: fecha del análisis, grupo, facilitador o moderador, sector, sistema, equipo, descripción de la función y de la falla funcional o efecto estudiado.

Análisis de Fallos (ADF), utilizando los sucesivos ¿por qué?

Se sabe que una técnica valiosa para llegar a la causa raíz de un problema es efectuando al menos 5 sucesivos ¿por qué? Ver planilla tipo de Análisis de Fallo (ADF)

1.3 Típicas Causas Raíz de Falla

- ✓ Fatiga, corrosión, fricción, erosión, abrasión.
- ✓ Suciedad, polvo.
- ✓ Lubricación inadecuada.
- ✓ Desacoples.
- ✓ Montaje incorrecto.
- ✓ Operación incorrecta.
- ✓ Uso de materias primas o insumos inadecuados.
- ✓ Diseño.

2. Mantenimiento Preventivo Periódico - MPP

El mantenimiento preventivo periódico (MPP) (también conocido como *mantenimiento cíclico*), es un tipo de mantenimiento planificado que implica intervenciones y recursos programados, basados en periodos determinados u horas de funcionamiento. Consiste en el cambio de piezas o restauración de componentes, a intervalos predefinidos. Su principal objetivo es disminuir la frecuencia de las paradas no programadas aprovechando, según sea beneficioso, el momento más oportuno para Producción y Mantenimiento. Además, permite valerse con anticipación, de las herramientas y repuestos necesarios para ejecutar las tareas.

El principio fundamental es aceptar que el modo de falla de la pieza o componente obedece a un patrón de falla que se ajusta perfectamente a un período de “vida útil” (VU) consistente; lo que se conoce comúnmente como curva de la “bañera”. (*Ver gráfico*)

El Mantenimiento Preventivo se lleva a cabo a intervalos de tiempo, horas de marcha o ciclos regulares bien definidos, y sin importar el estado del ítem a mantener. Generalmente requiere que el equipo se encuentre fuera de servicio. El hecho de realizarlo sin importar el estado del componente, es muy importante. Se deberá tener muy claro la dimensión de la vida útil de éste último, pues todos los reemplazos realizados con anterioridad a este momento, será vida útil desperdiciada e irrecuperable.

Algunas de las tareas habituales desarrolladas por el mantenimiento preventivo son:

- ✓ Servicios de inspección y cambio de piezas componentes
- ✓ Controles
- ✓ Conservación y restauración de un ítem para detectar o corregir defectos
- ✓ Lubricación
- ✓ Chequeos y recorridas de rutina
- ✓ Calibración de instrumentos

Para este tipo de mantenimiento es conveniente seleccionar los equipos que tienen una relación directa con la seguridad, el medio ambiente, la producción o la calidad. Es probable que convenga aplicarlo en estos casos de manera directa; mientras que en otros, será necesario demostrar cierta rentabilidad económica.

Habitualmente se cree que la mejor forma de mejorar al máximo la disponibilidad de una planta es hacer algún tipo de mantenimiento preventivo de forma rutinaria.

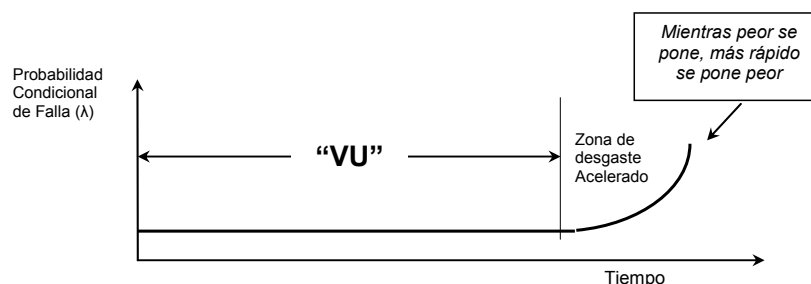


Figura 2 Zona de Vida Útil “consistente”.

La figura anterior supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión en un período “VU”, y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un extenso historial acerca de los fallos pasados nos permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes. En particular, estas características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto. Algunos ejemplos son los recubrimientos de tolvas y trituradoras, excavadoras o transportadores de tornillo, etc.

Merece la pena realizar una tarea preventiva si resuelve adecuadamente las consecuencias del fallo que se pretende evitar.

John Moubray

El punto de desgaste definitivo se define como el punto en que se produce un *incremento rápido en la probabilidad condicional de los fallos*.

Las características de desgaste definitivo ocurren más a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto. Los fallos relacionados con el envejecimiento también tienden a estar asociados con la fatiga, la oxidación y la corrosión.

Las opciones preventivas para estas circunstancias son *las tareas de reacondicionamiento cíclico y las tareas de sustitución cíclica*.

2.1 Tareas Cíclicas de Reacondicionamiento

El reacondicionamiento cíclico consiste en revisar a intervalos fijos, independientemente de su estado original, un elemento o pieza (restaurar su resistencia original al fallo).

En las tareas de reacondicionamiento cíclico los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento.

John Moubray

También se denominan *tareas programadas de reelaboración*.

Factibilidad Técnica de las Tareas de Reacondicionamiento cíclicas

Para que una tarea de reacondicionamiento cíclico sea técnicamente factible, debe:

- ✓ Haber una edad a partir de la cual se produzca un rápido incremento en la probabilidad condicional de los fallos ("vida útil" consistente)
- ✓ Tenemos que tener una idea bastante exacta de la duración de esta vida
- ✓ La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad (a menos que los fallos tengan consecuencias para la seguridad o el entorno, en cuyo caso todos los elementos deben superar esta edad)
- ✓ Es posible alcanzar el estado inicial del elemento, realizando la tarea

Si el fallo supone consecuencias para la seguridad, **todos** los elementos deberían sobrevivir hasta la edad a la que se debe realizar el reacondicionamiento cíclico, porque no se puede correr el riesgo de averías que podrían lesionar o matar a alguien.

Eficacia de las Tareas Cíclicas de Reacondicionamiento

Que sean técnicamente factibles no quiere decir que necesariamente merezca la pena realizar el reacondicionamiento; existe a menudo la tentación de seleccionar tareas de reacondicionamiento, sólo porque son técnicamente factibles.

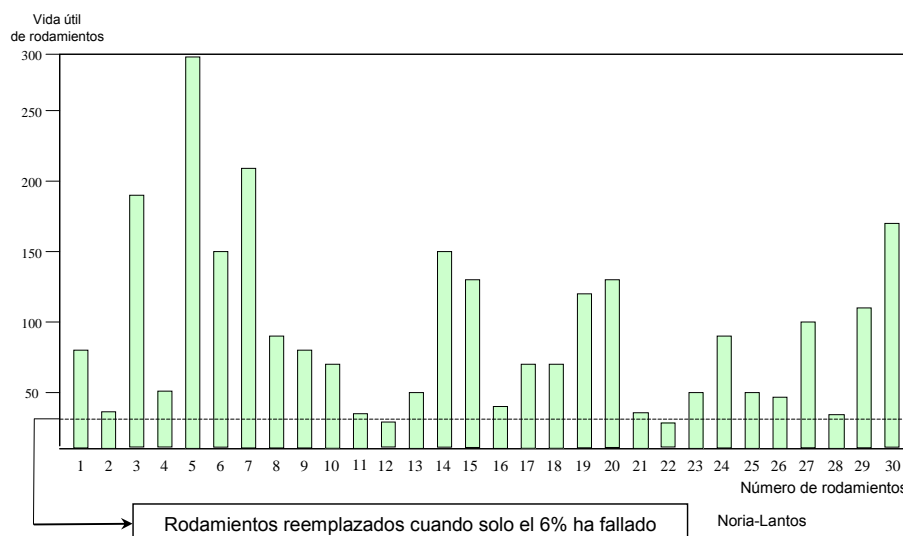


Figura 3 Reemplazo anticipado de rodamientos.

Sin embargo, aún es posible que no se justifique el reacondicionamiento cíclico, por las siguientes razones:

- ✓ una reducción en el número de fallos no es suficiente si el fallo supone consecuencias para la seguridad, porque lo que queremos hacer es eliminar totalmente estos fallos
- ✓ si las consecuencias son económicas, tenemos que comprobar que, a través de un período de tiempo, el costo de llevar a cabo la tarea de reacondicionamiento cíclico sea menor que el costo de permitir que ocurra el fallo. Al comparar los dos, ha de tenerse en cuenta que un límite cronológico reduce la duración del servicio, de modo que aumenta el número de elementos enviados al taller.

Al considerar los fallos que tienen únicamente consecuencias operacionales (económicas), hay que tener en cuenta que el propio reacondicionamiento cíclico puede afectar las operaciones. En la mayoría de los casos es probable que este efecto sea menor que las consecuencias del fallo porque:

- ✓ *normalmente se realizará la tarea de reacondicionamiento cíclico aprovechando momentos calculados para estorbar lo mínimo posible la producción*
- ✓ *es probable que la tarea de reacondicionamiento cíclico lleve menos tiempo que el necesario para subsanar un fallo, porque puede planificarse con más detalle*

Si no hay consecuencias operacionales, el reacondicionamiento cíclico sólo se justifica si cuesta sustancialmente menos que el costo de la reparación del imprevisto (lo cual puede ser el caso si el fallo provoca extensos daños secundarios).

2.2 Tareas Cíclicas de Sustitución

Las tareas de sustitución cíclicas consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento.

John Moubray

Se supone que esto restaurará la resistencia original al fallo.

La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica esta gobernada por la “vida” de los elementos (en otras palabras, la edad para la cual hay un rápido incremento en la probabilidad del fallo).

John Moubray

Existe, en general, una creencia bastante extendida de que todos los elementos tienen una “vida útil”, y que se puede “garantizar su fiabilidad” instalando una pieza nueva antes de que se agote dicha vida. Eso no siempre es verdad. Por tal razón, hay que reconocer dos tipos diferentes de límite de edad al ocuparse de las tareas de sustitución cíclicas.

Los del primer grupo se aplican a tareas cuyo propósito es evitar fallos con consecuencias en la seguridad; denominándose **límites de vida segura**. Los que han de evitar los fallos que no suponen consecuencias a la seguridad, se llaman **límites de vida económica**.

Límites de Vida Segura

Los límites de vida segura se aplican solamente a los fallos que suponen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, lo cual exige que las tareas asociadas impidan todo tipo de fallo. Es decir, no debería existir fallo alguno antes de este límite. Esto quiere decir que los límites de vida segura no deben aplicarse a elementos que se ajusten al modelo A (con mortandad infantil), porque la mortandad infantil significa que algunos elementos han de fallar prematuramente. Tampoco pueden aplicarse al modelo B (con tasa de fallas constante pero distinta de cero), porque la probabilidad de fallo es superior a cero desde el principio. Como consecuencia, los límites de vida segura sólo pueden aplicarse a elementos que se ajustan al modelo C (*ver figura 4*), y solamente si no se espera ningún fallo antes de llegar a la zona de desgaste definitivo.

Lo ideal sería determinar los límites de vida segura antes de poner en servicio el elemento interesado. Debería probarse en un ambiente funcional simulado para determinar de forma práctica la duración media de servicio, utilizando una fracción moderada de esta duración como límite de vida segura.

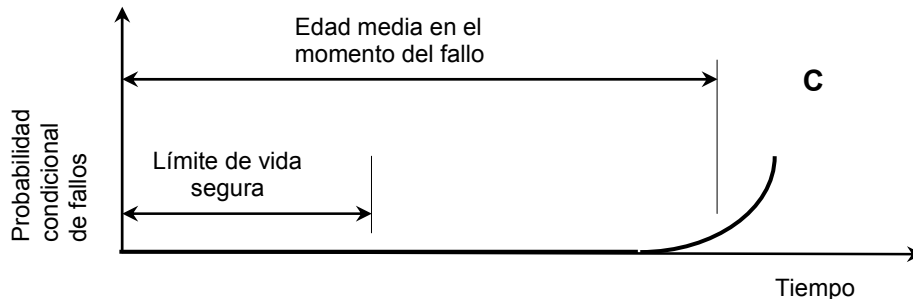


Figura 4 Patrón de falla tipo C.

No ha habido nunca una correlación perfecta entre un ambiente de prueba y un ambiente operacional. Es caro y consume mucho tiempo probar hasta la destrucción piezas de larga duración. El objetivo de establecer un límite de vida segura es evitar que se produzca un fallo grave; y sólo merece la pena realizar la tarea de sustitución cíclica si consigue este objetivo.

3. Frecuencia de las Tareas Preventivas Periódicas (MPP)

En la mayoría de los casos, para establecer el intervalo entre dos tareas de mantenimiento, se deben realizar estimaciones y aproximaciones estadísticas. La experiencia acumulada por los especialistas durante muchos años, indica que si los datos estadísticos o “historial del equipo” no están en manos de personal competente, tienden a empeorar los resultados de las decisiones adoptadas.

*La **información** sólo la puede generar un talento humano, los **datos** un sistema.*

El paradigma de la “Gran Base de Datos”, no sólo no mejora por sí solo los indicadores de Confiabilidad, sino que además en muchas ocasiones, los empeora.

Los conocimientos del personal cotidianamente involucrado y comprometido con su trabajo, superan ampliamente todo registro disponible en los mejores y más grandes sistemas informáticos. Claro está que, sería inútil negar la ayuda que brindan hoy las herramientas informáticas; el secreto es darles el uso adecuado entendiendo sus limitaciones y potenciando al máximo su aporte.

✓ **La Seguridad y el Mantenimiento Preventivo Periódico**

Para los modos de fallo que traen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, una tarea preventiva sólo es eficaz si reduce a un nivel aceptable el riesgo de fallo.

John Moubray

En general, “**un nivel aceptable**” quiere decir que la tarea debería reducir a un grado extremadamente pequeño la probabilidad de que se produzca el fallo.

El intervalo de tiempo (o cualquier otra variable) entre dos trabajos de reemplazo, revisión o reparación (t_{MP}), deberá **ante todo** devolver la resistencia que poseía el sistema antes de la intervención.

La figura 5 muestra que antes de t_{MP} , el área bajo la curva debe ser cero o tener un valor extremadamente pequeño para que el riesgo de padecer un fallo imprevisto (emergencia), sea inferior al tolerado por la organización para esa consecuencia. Durante $[0, t_{MP}]$, no se puede correr el riesgo de aplicar **Mantenimiento Correctivo**.

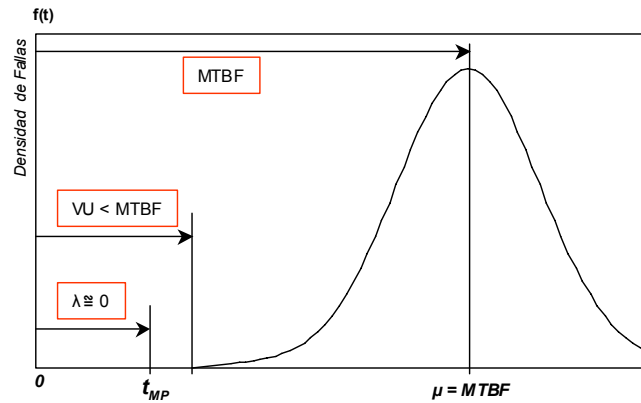


Figura 5 Límite t_{MP} para el Mantenimiento Preventivo.

El tiempo entre dos reemplazos periódicos será t_{MP} y no es apropiado justificar conveniencia económica. El intervalo será lo suficientemente menor a VU , de modo que el riesgo asumido entre 0 y t_{MP} sea despreciable.

$$t_{MP} < < VU$$

con $\lambda(t) = 0$, para $t < t_{MP}$.

Sólo valdrá la pena realizar una tarea de sustitución programada, si la misma reduce a un nivel aceptable la probabilidad de fallo entre 0 y t_{MP} .

Una manera factible de ampliar el t_{MP} haciéndolo más cercano a VU , y sin perjuicio para la Seguridad, es la utilización de técnicas de monitoreo de condición (Mantenimiento Predictivo), cuya finalidad es impedir el correctivo de emergencia entre t_{MP} y VU . En estos casos se debe evaluar, técnica y económicamente, la viabilidad de la tarea.

✓ ***Si el Fallo imprevisto únicamente tiene impacto económico***

Cuando un fallo tiene consecuencias operacionales únicamente, empezamos a examinar el mantenimiento desde el punto de vista económico.

Para los modos de fallo con consecuencias operacionales, una tarea preventiva es eficaz si, a través de un período de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar los fallos que tiene como misión evitar.

John Moubray

Si no se puede encontrar una tarea preventiva que justifique su costo, entonces *no merece la pena realizar ningún mantenimiento preventivo* para impedir el modo de fallo (salvo las rutinas básicas de revisión y lubricación)

Muchas veces, la avería del equipo sólo encierra efectos económicos desfavorables. En estos casos, el beneficio del MPP, se debe evaluar desde un punto de vista puramente económico. Para el caso más general, el intervalo entre tareas preventivas de reemplazo o restauración, será t_{MP} según la figura 5. Aquí, t_{MP} siempre será menor a $MTBF$, y cuanto menor sea la desviación estándar (σ), menor será también la diferencia entre estos dos.

Lamentablemente es común comparar simplemente el costo unitario de la tarea preventiva, con el costo que le significa a la organización afrontar una parada imprevista de un equipo. Esto es válido únicamente cuando t_{MP} tiende a $MTBF$; vale decir, cuando σ tiende a cero. Lo cierto es que, aún con baja dispersión, $\Delta t_{MP-MTBF}$ obliga en general a realizar una evaluación económica a lo largo de un horizonte de validez.

A continuación, las variables utilizadas para la validación del intervalo t_{MP} .

H: Horizonte de análisis. Seleccionar un intervalo lo suficientemente representativo, a lo largo del cual se asume que el activo es utilizado en un contexto operativo sin variación.

Puede utilizarse el período de amortización contable, momento en que podrá reemplazarse por obsolescencia tecnológica. Cuando no se dispone de otra información, se considera apropiado tomar entre 4 y 5 veces el intervalo t_{MP} .

MTBF: Tiempo medio entre fallas sin MPP, o frecuencia promedio de aparición de los fallos o defectos bajo correctivo.

C_f : Costo unitario del fallo sin MPP.

C_{rp} : Costo de la tarea de MPP. Debe incluir los repuestos, materiales, insumos, mano de obra, contrataciones, servicios de terceros, etc. necesarios para efectuar el trabajo de sustitución o restauración.

C_{bm} : Costo ó pérdida de beneficio marginal. En muchas ocasiones se cae en la tentación de ponderar este valor simplemente como el producto del precio de venta y el volumen de producto no realizado a consecuencia del fallo imprevisto. En realidad puede suceder que la detención del activo, no produzca consecuencias sobre la producción o las ventas, debido a que existen pulmones o reservas suficientes; y que luego de reparado, el sistema está en condiciones de recuperar dicho volumen de trabajo o servicio. C_{bm} también será despreciable cuando existan equipos capaces de suplir al que falló (redundancias pasivas o stand-by).

C_{ad} : Se trata de los gastos adicionales que sobre el activo se generan como consecuencia de la rotura imprevista. Los efectos de un fallo sorpresivo, además de afectar la producción o las ventas, puede tener consecuencias económicas sobre el propio activo al que pertenece el componente dañado. Su rotura imprevista se puede transmitir a otras partes que también requieran reparación generando un consumo adicional en repuestos o mano de obra.

C_{mp} : Costo unitario de la intervención preventiva.

C_{bmp} : Generalmente las tareas de MPP se programan y planifican en función de los “batches” de producción y no impactan sobre los beneficios de la compañía. Sin embargo, en algunas oportunidades la demanda de producción es tal, que la realización de una parada técnica por MPP conlleva pérdidas de beneficios (impacto en la disponibilidad). Por ejemplo, C_{bmp} será mayor que cero cuando el sistema completo se encuentre a máxima capacidad y la demanda sea tal que una parada disminuya el volumen de ventas (alta demanda). Una situación similar se presenta cuando es necesario cumplir con la rutina de MPP fuera del horario normal de trabajo, lo que obliga a pagar horas extras al personal especialista. El gasto adicional que esto genera, será parte del costo total por MPP.

C_{Tf} : Costo total sin MPP a lo largo del periodo de análisis H.

C_{Tmp} : Costo total con MPP durante el periodo de análisis H.

El costo unitario queda establecido por:

$$C_{mp} = C_{rp} + C_{bmp}$$

y el costo unitario sin mantenimiento preventivo,

$$C_f = C_{rp} + C_{bm} + C_{ad}$$

De esta forma, el costo total con MPP y sin él queda expresado respectivamente por:

$$C_{Tmp} = \frac{H \times (C_{rp} + C_{bmp})}{t_{MP}} \quad 3.1$$

$$C_{Tf} = \frac{H \times (C_{rp} + C_{bm} + C_{ad})}{MTBF} \quad 3.2$$

El objetivo es comparar los valores de C_{Tf} y C_{Tmp} . Si las estimaciones son correctas, se deberá tomar el menor costo total.

Estos cálculos se basan en aproximaciones, pero son de gran utilidad para evaluar situaciones en las que naturalmente se habría tomado la decisión de programar tareas de MPP, sin un análisis previo de costo-beneficio a lo largo de H . Conforme la dispersión (σ) aumenta, puede observarse en las ecuaciones anteriores, que no resultará beneficioso realizar tareas de mantenimiento preventivo. Vemos en la ecuación 3.1 que cuando t_{MP} disminuye, C_{Tmp} aumenta hasta resultar más costoso que C_{Tf} .

Si se escoge la opción de realizar mantenimiento preventivo porque $C_{Tmp} < C_{Tf}$, no deberían surgir fallos antes de t_{MP} debido a la distribución normal. Los que surjan serán consecuencia de la aparición de otro modo de falla, ajeno al periodo posterior a t_{MP} . Por el contrario, si la elección adoptada es no realizar la tarea preventiva porque $C_{Tf} < C_{Tmp}$, entonces la organización deberá asumir la convivencia con la falla a intervalos promedio MTBF.

Dos aspectos serán los responsables de que la situación anterior se invierta. Uno es el contexto operativo. El otro, que se pueda ajustar o minimizar la dispersión de los fallos.

Para el caso particular en que $C_{bm} = C_{bmp} = 0$, igualmente se tendrá que evaluar la relación entre C_{Tmp} y C_{Tf} . En principio pareciera que los dos costos totales son iguales; en realidad puede suceder que C_{ad} sea lo suficientemente grande como para justificar de todas maneras la rutina preventiva programada.

Si el costo C_{Tmp} es mayor que C_{Tf} , no se debería realizar ninguna tarea de recambio o reparación programada para el modo de falla analizado, a excepción de las rutinas básicas de limpieza, lubricación, ajustes o chequeos de recorrida (por su bajo costo frente al alto beneficio). Dado que este análisis comparativo se basa en aproximaciones, se recomienda la opción de realizar Mantenimiento Preventivo a partir de $C_{Tmp} < 1,05 \times C_{Tf}$. Este factor de ajuste o seguridad podrá variarse en función de la situación particular de cada caso.

Cabe aclarar por último, que el Mantenimiento Preventivo con recambio persigue transformar la tasa de fallas creciente del equipo, en una ley de distribución de fallas exponencial, si el proceso se analiza durante un intervalo $H = n \cdot t_{MP}$.

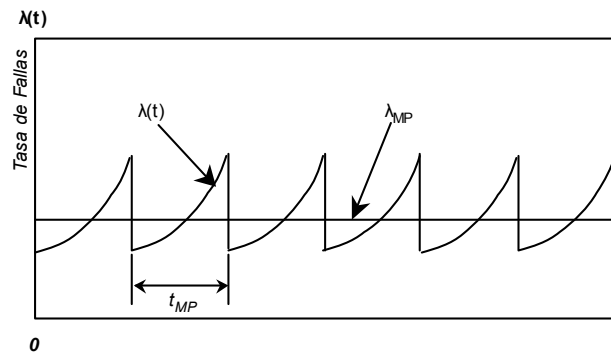


Figura 6 Tasa de fallas promedio como consecuencia del mantenimiento preventivo.

Dicho esto, se está en condiciones de asegurar que la probabilidad de que suceda un fallo con aplicación de MPP (durante $H = n \cdot t_{MP}$) se aproxima a $\lambda_m \cong cte$.

El riesgo debe estar claramente conocido por todos los integrantes del grupo de trabajo y por la organización, dado que se asume la posibilidad de tener que efectuar en alguna oportunidad alguna **Acción Reactiva** de mantenimiento (Mantenimiento Correctivo).

Es importante reiterar que habitualmente se cree que el hecho de reemplazar o restaurar ítems, elimina toda posibilidad de que ocurra un fallo anticipadamente. Esto no es cierto, salvo en los casos para los que la tasa de fallas antes de t_{MP} es cero y el único modo de falla capaz de ocurrir es el dominante analizado. Cuanto menor sea el riesgo asumido, más pequeño será el tiempo entre intervenciones preventivas, hasta un determinado punto, en que ya no será conveniente reducir t_{MP} .

Es frecuente mencionar como variable para definir los intervalos teóricos de intervención preventiva controlada, al *tiempo*. En realidad puede ser cualquier otra; horas de marcha, ciclos de funcionamiento, cantidad de volumen producido, kilómetros, cantidad de aterrizajes, etc.

✓ **Riesgo Preventivo**

En algunas situaciones se pretende estimar el intervalo entre tareas, asumiendo cierto nivel de riesgo para optimizar la gestión preventiva. Esto obliga a montarse en la campana de Gauss.

El riesgo preventivo (α_p) para el modo de falla analizado, es la probabilidad de que ocurra un fallo en el intervalo $[0, t_{ap}]$, figura siguiente. Donde $t_1 < t_{ap}$. El tiempo t_1 es el intervalo entre reemplazos sin asumir riesgos, mientras t_{ap} es aquel para el que se asume una probabilidad de enfrentarse al **Mantenimiento Correctivo**.

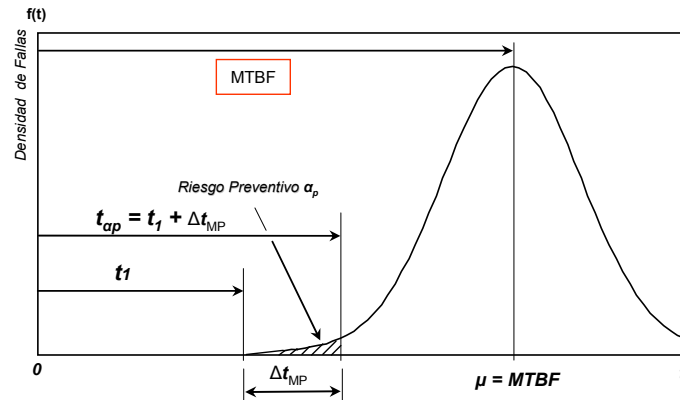


Figura 7 Aumento de t_{MP} con la incorporación de Riesgo Preventivo α_p

Cuando la dispersión es muy grande, el riesgo preventivo (α_p) es alto y obliga a reducir t_{ap} , pudiéndose convertir en no rentable el preventivo, dado que comienza a impactar fuertemente en disponibilidad. El proceso sería el siguiente.

Una elevada dispersión obliga a reducir t_{ap} para mantener al riesgo preventivo (α_p) dentro de los límites de tolerancia. Luego, el intervalo $[0; t_{ap}]$ se hace tan pequeño que la meta de disponibilidad no se cumpliría. Introducimos el valor de disponibilidad dado que las tareas de MPP reducen efectivamente la disponibilidad porque se realizan generalmente con el equipo fuera de servicio.

El valor de t_{ap} puede resultar de la siguiente expresión. Es preciso el uso de tablas para probabilidad normal, o bien aproximaciones.

$$\int_0^{t_{ap}} f(t) dt = \alpha_p$$

Una vez adoptado el valor de **riesgo preventivo** (α_p), el trabajo deberá realizarse a intervalos fijos t_{ap} .

$$t_{MP} = t_{ap}$$

Si t_{MP} está montado dentro de la campana de Gauss, existe una probabilidad acumulada dada por el área bajo la curva de $f(t)$, que aporta una cuota de riesgo de que sucedan fallos imprevistos.

Cuando sólo es necesario estimar consecuencias económicas, la situación es similar a la desarrollada por las ecuaciones, sólo que considerando el riesgo preventivo α_p .

$$C_{mp} = (C_{rp} + C_{bmp}) + C_f \times \alpha_p$$

$$C_{T_{mp}} = \frac{H \times [(C_{rp} + C_{bmp}) + C_f \times \alpha_p]}{t_{ap}}$$

3.3

Se pueden resumir las acciones para determinar la conveniencia técnica y económica del reemplazo o restauración sistemática de componentes, en los siguientes pasos:

- ✓ Determinar si la consecuencia del fallo, producido por el modo de falla estudiado, tiene impacto en la seguridad.
- ✓ Si el fallo no tiene efectos sobre la seguridad y la dispersión (σ) es baja, establecer un horizonte de análisis válido y seleccionar la opción más conveniente.
- ✓ Si el fallo no tiene efectos en la seguridad y la dispersión de los fallos se conoce y es importante, cuantificar el valor del riesgo preventivo α_p para diferentes valores del intervalo. De acuerdo a estas estimaciones, definir si es conveniente asumir los riesgos o redefinir un nuevo intervalo t_{α_p} . Obtener el punto del intervalo que entrega el mayor beneficio total.
- ✓ En todos los casos asegurar que la tarea de sustitución o restauración garantice la expectativa de riesgo preventivo tolerado, y no más.
- ✓ Implementar procesos de mejora con el fin de disminuir la dispersión de los fallos (t_{MP} debe tender a MTBF sin aumentar el riesgo preventivo α_p). Cuanto menor sea esta diferencia, mayor será el beneficio por realizar tareas de MPP a lo largo de H.
- ✓ Si no se lleva adelante el punto anterior, y se intenta aplicar mantenimiento preventivo en forma deliberada, resultará que: *"Cuanto más se niegue un fallo, más se terminará conviviendo con él"*.

4. Mantenimiento de Rutina

Se trata de un servicio caracterizado por la alta frecuencia y la corta duración, normalmente utilizando los sentidos humanos y sin ocasionar la indisponibilidad del equipo. En algunas oportunidades puede ser desarrollada por los operadores de la máquina (mantenimiento autónomo), a partir de la transferencia y programación desarrollada por el departamento de mantenimiento. Esto debe ser encuadrado en un plan de capacitación. Debido a su corta duración, exige un control simplificado que debe ser procesado porque ofrece una gran contribución al diagnóstico del estado de los equipos.

Las inspecciones o revisiones de rutina (**también llamados Chequeos de Recorrido**) se deben realizar en un lapso determinado; se establece analizando técnica y prácticas para cada punto, con la ayuda de documentación y registros que se tengan en la empresa o que suministran los proveedores de equipos y repuestos.

La razón de las inspecciones y revisiones es controlar el estado de desgaste y/o ajuste de las partes, la limpieza, contaminación, objetos abandonados, daños accidentales, materiales peligrosos, operación, etc. Se ha demostrado que la realización de las rutinas de inspección así como también la lubricación en cualquier equipo es rentable. Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero.

Rutinas de Inspección Estáticas (RIE): Inspección con máquina detenida que puede implicar o no desarme de componentes.

Rutinas de Inspección Dinámicas (RID): Inspección de partes componentes con máquina en marcha, con la aplicación de los 5 sentidos e instrumental básico.
Algunos ejemplos:

- ✓ Motores eléctricos
- ✓ Tableros de fuerza y comando
- ✓ Fines de carrera y sensores en general
- ✓ Corriente por fase, comparando con la corriente nominal
- ✓ Cables, conexiones, bornas e instrumentos
- ✓ Limpieza
- ✓ Ruidos
- ✓ Temperatura
- ✓ Tuberías, válvulas y accesorios
- ✓ Pérdida de líquidos y gases
- ✓ Paneles y sistemas neumáticos e hidráulicos
- ✓ Niveles de aceite

Frecuencia de las Rutinas de Inspección

La frecuencia entre inspecciones se fija en base a estudios estadísticos, historial de fallos o estudios de confiabilidad. Luego, se las puede ir mejorando en función de la experiencia y de los resultados que se van determinando con el tiempo.

También aportan considerablemente a la determinación de las frecuencias de inspección:

- ✓ El intervalo P-F (si existe y es consistente en forma general)
- ✓ La experiencia del personal involucrado.
- ✓ El análisis técnico de cada situación.

Tiempo calendario: Esta variante de frecuencia deberá elegirse cuando la parte del equipo a inspeccionar / reparar esté sometido a un deterioro natural que se produzca tanto con equipo en marcha como con equipo parado (Ejemplo: Limpieza de tableros eléctricos / Limpieza industrial de equipos / Limpieza de elementos electrónicos).

Horas de marcha: Esta variante de frecuencia deberá elegirse cuando la parte del equipo a inspeccionar / reparar esté sometida a un deterioro natural que se produzca solamente con el equipo en marcha.

De cada revisión surgen datos que se vuelcan en las “planillas de inspección” para luego trasladarlos al historial del equipo. Todas estas tareas son altamente técnicas y requieren una constante atención.

Para las “planillas de inspección” se deben establecer las secuencias operativas, las herramientas necesarias, los materiales, las medidas de seguridad a tener en cuenta, los tiempo de ejecución de cada tarea en horas hombre, etc.

Otros conceptos a tener en cuenta cuando se estudian y fijan las frecuencias, son:

- ✓ Antigüedad del diseño
- ✓ Edad del equipo
- ✓ Estado y valor del equipo
- ✓ Intensidad de marcha
- ✓ Criticidad del equipo
- ✓ Confiabilidad del equipo

Cada inspección o revisión tiene un costo nada despreciable, por lo que la frecuencia debe establecerse cuidadosamente. La frecuencia no debe llegar a comprometer la continuidad operativa; mientras que un exceso de inspecciones puede llegar a resultar más caro que las interrupciones y averías que se pretender evitar.

5. Rutinas de Lubricación. Una tarea preventiva periódica

Una ruta de lubricación es una sucesión de puntos a lubricar con un determinado orden (geográfico, lógico, etc) que, además, debe sugerir quien tienen a cargo la tarea. Las tareas de lubricación atacan los modos de falla específicos con consecuencias graves (tales como “la caja de engranajes se agarrota por falta de aceite”).

Las tareas habituales consisten en:

- ✓ Adición
- ✓ Cambio
- ✓ Control
- ✓ Limpieza

Las Rutas de lubricación normalmente son desarrolladas por el operador del equipo o por un “lubricador”; y exige un estricto control de los puntos a lubricar y del lubricante adecuado para cada uno. Las rutas debe confeccionarlas Ingeniería de Mantenimiento y contiene, entre otras cosas, la siguiente información:

1. **Planta o Sector de la fábrica.** Planta o sector al que pertenece el equipo a lubricar.
2. **Fecha de Ejecución.** Fecha en que debe realizarse la tarea.
3. **Número de Ruta.** Es el número que identifica a la ruta.
4. **Equipo a lubricar.** Código del equipo al que se le agregarán los puntos de lubricación.
5. **Punto.** Número de punto a lubricar.
6. **Detalle del Punto.** Sirve como guía para efectuar el trabajo.
7. **Lubricante.** Lubricante a aplicar para el punto.
8. **Frecuencia.** Define cuál es la frecuencia con la que se efectuará la lubricación.
9. **Tiempo.** Duración en minutos para la tarea.
10. **Observaciones.** Cualquier comentario de utilidad que le agregue valor a la realización de las tareas.
11. **Firma del “Lubricador”.** Garantiza la ejecución de la tarea.
12. **Precauciones de Seguridad.** Todas las recomendaciones necesarias para eliminar los riesgos durante la ejecución de los trabajos.

U.T.N
F.R.H
Mantenimiento
Ruta tipo de lubricación

Preview de RUTLUB 1571

Página 1

Ruta de Lubricación
Nro. de Emisión 1571 06/08/2003

Ruta: 11 - LUBRICACION SPI Duracion Estimada: 0 Minutos

Lubricante: 0 Sin definir
Descripcion Tarea: CONTROLAR
Comentario:

Equipo	Descripción	Lubricante	Punto Descripción	Respuestas				Cons.	Reg.
				10	17	18	35		
P01.07	BOMBA DE AGUA DE INCENDIO	BEACON-EP-	22 Alemite						
P01.09	BOMBA DE AGUA POTABLE	BEACON-EP-	22 Alemite						
P01.10	BOMBA DE AGUA POTABLE	BEACON-EP-	21 ALEMITE						
P01.12A	BOMBA DESAGUE PLUVIAL	BEACON-EP-	21 ALEMITE (2)						
P01.13B	BOMBA DESAGUE PLUVIAL	BEACON-EP-	21 ALEMITE (2)						
P01.16	BOMBA PILETA TRTAM. CLOACALES	BEACON-EP-	21 ALEMITE -						
P01.18	BOMBA CLORIFICADORA AGUA POT.	BEACON-EP-	21 Alemite						
P6.15	BOMBA DESCARGA CAMIONES SODA CAU	BEACON-EP-	21 Alemite						
P7.13	BOMBA DESC. CAMIONES	BEACON-EP-	21						

Todas Actual < > Zoom 30 % << < > >> Página 1/6 Salir

Figura 8 Ejemplo de Ruta de Lubricación

Ciertos elementos tienden a ser lubricados lo necesiten o no, porque el costo de hacerlo es minúsculo en comparación con el de las consecuencias de una lubricación insuficiente.

El seguimiento se puede realizar con la utilización de cualquier sistema computarizado que garantice como mínimo la inclusión de los parámetros arriba mencionados.

Inspecciones por Zonas

Las inspecciones por zonas tampoco van dirigidas a modos de falla específicos sino que se concentran más claramente en zonas específicas de la Planta. También tienden a ser más intensivas. Debe entenderse que las inspecciones por zonas complementan las actividades cíclicas del mantenimiento preventivo, pero no las sustituyen.

Mantenimiento Detectivo

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

1. Fallos Ocultos

Una función oculta es aquella cuyo fallo no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo. Los dispositivos de seguridad funcionan de alguna de las siguientes maneras:

- ✓ ***Avisando a los operadores de la existencia de una anomalía.***
- ✓ ***Parando el equipo en caso de fallo.***
- ✓ ***Eliminando o reduciendo una anomalía producida como consecuencia de un fallo, que de no corregirse, podría dar lugar a daños mucho más importantes.***
- ✓ ***Asumiendo control de una función que ha fallado.***
- ✓ ***Impidiendo la creación de una situación peligrosa.***

La probabilidad de que se produzca el fallo múltiple durante un período dado está regido por la probabilidad de que falle la función protegida mientras el dispositivo de seguridad está averiado durante el mismo período. Esto se mide por el tiempo de parada. La probabilidad de que falle la función protegida es la inversa del tiempo medio entre los fallos (MTTF).

Por ejemplo, un tiempo medio entre fallos de cuatro años, quiere decir que la función en cuestión falla una vez cada cuatro años. Si el fallo es aleatorio, entonces la probabilidad de que falle la función en cualquier año dado es de 0.25 o el 25%. Si esta función está protegida por una función oculta que se mantiene de tal forma que su tiempo medio de parada es del 33%, entonces la probabilidad del fallo múltiple en cualquier año dado es:

$$0.25 \times 0.33 = 0.0825$$

o sea, 1 en 12.

El criterio de prestación para una función ha de establecerse en tres etapas:

- ✓ ***Primero preguntamos qué grado de riesgo estamos dispuestos a aceptar para el fallo múltiple.***
- ✓ ***Luego, se determina la probabilidad de que falle la función protegida durante el período bajo consideración.***
- ✓ ***Por último, se determina cuál es la confiabilidad que la función oculta debe lograr durante el mismo período para reducir el riesgo de fallo múltiple al nivel deseado.***

2. Dispositivos Redundantes y Dispositivos de Protección

Desde el punto de vista operativo, existen dos clases de dispositivos de seguridad, los **redundantes** y los de **protección**.

Muchos equipos se ponen en servicio para proteger a las personas, el medio ambiente, los activos de producción o el proceso productivo, de situaciones fortuitas provocadas por factores inherentes al sistema o por causas externas debidas al contexto operativo.

Redundancia Activa Plena

Se denomina Redundancia Activa Plena al componente que, aún estando en funcionamiento a pleno régimen de carga, se instala para aumentar la simultaneidad de un conjunto, siendo capaz de desarrollar idénticas funciones que las del equipo protegido.

Este tipo de redundancias trabajan al mismo régimen de carga durante la operación normal. Cuando uno de ellos deja de cumplir su función, el otro elemento no aumenta su intensidad de trabajo (carga), sino que con el mismo nivel de marcha satisface perfectamente la funcionalidad de todo el conjunto.

El número mínimo de componentes cuya actuación sea simultánea, es dos; pero pueden extenderse a muchos más. Que en el diseño de un sistema sea necesario agregar más de una redundancia, puede obedecer a diferentes causas, fundamentalmente a falta de disponibilidad.

Cuando una función tiene que ser muy confiable, a veces no es suficiente un sólo equipo actuando solo; es imprescindible que equipos idénticos realicen funciones idénticas y en forma simultánea. Ante la falla de cualquiera de los elementos redundantes, el otro se encuentra en condiciones de entregar el 100% de la prestación deseada; o al menos un porcentaje lo suficientemente alto como para garantizar las operaciones básicas.

Ejemplo

Los motores de combustión interna de uso aeronáutico, cuentan con doble sistema de encendido. Cada cilindro posee dos bujías energizadas por dos sistemas completamente en paralelo e independientes. Ante el fallo imprevisto de uno de los circuitos, el otro actuando solo es capaz de entregar la chispa de encendido, y garantizar la posibilidad de realizar, al menos, las maniobras mínimas de seguridad.

Un caso similar puede resultar el representado en la figura 9. Se trata de una configuración compuesta por dos relés con carga y actuando en paralelo para accionar un mismo circuito. Ante la avería de uno de ellos, el otro tiene la capacidad de gobernar el circuito sin dificultad. Observar que los porcentajes entre paréntesis identifican el estado de carga en situación de falla; mientras que los porcentajes sin paréntesis se refieren al nivel de carga durante el funcionamiento normal. Aún en la situación en que el relé N° 2 presente una avería (0%), el sistema queda con la funcionalidad establecida al (100%).

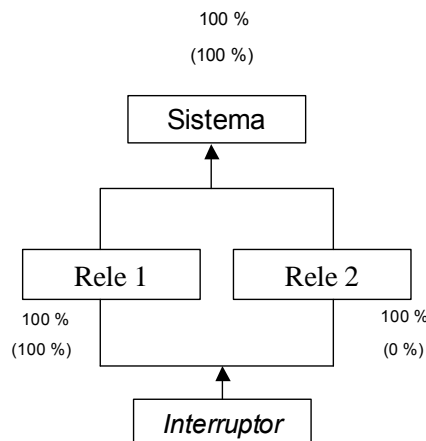


Figura 9 Redundancia activa plena de dos componentes

En los casos donde haya más de dos componentes redundantes, la probabilidad de que se presente un fallo simultáneo es más baja; disminuyendo a su vez con el aumento del número de redundancias. Si la tasa de fallas de estos relés fuera muy alta para no garantizar el nivel de confiabilidad requerido, una alternativa sería la instalación de un tercer relé, que también trabajaría cargado a la par de los otros dos.

Se aumenta el nivel de redundancias para aumentar la confiabilidad del conjunto.

En muchas ocasiones, durante la elaboración de un Plan de Mantenimiento, se pone de manifiesto la situación expresada más arriba. La frecuencia de inspección, para un único elemento funcionado, se vuelve casi impracticable (todos los días por ejemplo); esto obliga a proponer un número mayor de redundancias, disminuyendo la tasa de falla del conjunto y siendo posible aumentar la frecuencia de inspección para cada uno.

Redundancia Activa No plena

Las redundancias activas no plenas se dividen en dos grupos:

Homogénea: Se da cuando todos los elementos trabajan al mismo régimen pero al fallar uno de ellos, el resto debe incrementar su nivel de carga para satisfacer la función del conjunto y cumplir con la capacidad estipulada.

Ejemplo

Un sistema con múltiples correas de transmisión. Si alguna de las correas falla, el resto debe asumir la transmisión total de potencia, por lo que se verán sobrecargadas. Vale decir que, en estado normal de

funcionamiento, todas trabajarán a un nivel menor de carga, mientras que aumentarán su exigencia ante la falla de una de sus compañeras.

Heterogénea: Cuando uno de los elementos trabaja a mayor velocidad que el resto, y ante un fallo de éste, los demás deben, en conjunto, garantizar la demanda de volumen del grupo completo.

Ejemplo

Supongamos que por cuestiones de proceso, tres bombas trabajan simultáneamente, y una de ellas impulsa $100 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua a un depósito, mientras las otras dos se encuentran restringidas a sólo $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Si se produce un fallo en la de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ las dos bombas restantes deberán trabajar a $100 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una; mientras que si se produce una falla en una de las de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ la otra de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ también debe elevar su nivel de bombeo a $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Por de pronto, se podría proponer que funcione una de las bombas de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ a $100 \text{ m}^3/\text{h}$, dejando una de ellas en reposo o stand-by. Esto es cierto dado que generalmente es más conveniente dejar más elementos redundantes y menos funcionando; ocurre que en ciertos procesos productivos no siempre es posible, por lo que se recurre a este tipo de distribución.

Independientemente de ello, es importante destacar la necesidad de realizar ciertos controles de verificación sobre algunas funciones de esta clase de equipos (cuando la velocidad nominal es bastante menor que su capacidad); pues se pueden presentar modos de falla ocultos que no afectan el equipo para cierto régimen de marcha pero sí lo harían para el de su máxima capacidad. En estos casos también es posible aplicar una detección de fallos.

Redundancia Pasiva

Todos aquellos equipos que se encuentran en reposo pero prestos para funcionar si ocurre una avería operacional del elemento a resguardar, se denominan redundancias pasivas. Los sistemas de detección y arranque del dispositivo redundante, son generalmente automáticos.

Se los conoce también como equipos en stand-by. Por ejemplo, una bomba que debe entrar en funcionamiento si su compañera se detiene. El elemento protegido es el que funciona normalmente, y el stand-by permanece en espera para comenzar su actividad y suplir a la función que ha fallado con las mismas prestaciones.

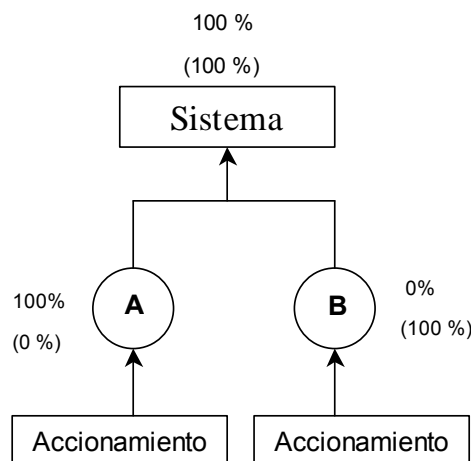


Figura 10 Redundancia Pasiva de dos componentes

Ejemplo

El ejemplo más característico es el de dos bombas idénticas A y B, cuyas funciones son diferentes. Por un lado el equipo A tiene como misión primordial marchar al régimen nominal; mientras que la bomba B se mantiene en espera y en condiciones básicas de funcionamiento. Ante una avería en la primera, la otra debe entrar en servicio satisfaciendo las necesidades funcionales de la operación.

Otro ejemplo mucho más sencillo, lo representa el neumático de auxilio en los automóviles o medios de transporte. Las ruedas en funcionamiento son generalmente idénticas a la de reserva, sólo que sus funciones son diferentes. Estas últimas se deben mantener en reserva pero disponibles ante el fallo de cualquiera de las instaladas.

Dispositivos de Protección

Desde la óptica del mantenimiento, los dispositivos de protección agrupan a los sistemas cuya función es **comunicar, evitar o neutralizar** situaciones de riesgo.

Los dispositivos de protección pueden pertenecer, entonces, a tres categorías:

- 1) **Protección Interruptiva:** Se dice que una protección es **interruptiva**, cuando su función es desafectar, desconectar o detener totalmente al sistema protegido, ante una avería o situación peligrosa de éste último.

Ejemplo

El disyuntor diferencial en una instalación eléctrica tiene como función primaria cortar el flujo de energía eléctrica cuando existe un pasaje a tierra por encima de cierto valor superior, por ejemplo, 30 mA. Cuando por alguna razón, hay un pasaje excesivo de energía a masa (función protegida), el disyuntor actúa inmediatamente abriendo el circuito e interrumpiendo el pasaje de electricidad a todo el sistema.

Los disyuntores vienen provistos de una “tecla de chequeo” que los fabricantes sugieren sea accionada con una determinada frecuencia (una vez cada 6 meses, por ejemplo); esta rutina constituye una detección de fallos ocultos.

Ejemplo

Los sistemas denominados “vigías” en motores de combustión interna de autoelevadores, también constituyen protecciones interruptivas. Estas protecciones controlan los parámetros de temperatura y presión de aceite, entre otros, y cuando alguno de ellos sobrepasa cierto valor límite, detienen completamente el motor, no permitiendo el arranque hasta que haya sido reestablecida la situación a su estado de condición básica.

- 2) **Protección Contensiva:** Los dispositivos de protección que cumplen una función **contensiva** son todos aquellos que reducen o eliminan las consecuencias de los fallos del equipo o función protegida.

Ejemplo

Los sistemas de Air-bag en los automóviles modernos, son protecciones contensivas. Estos elementos no evitan la ocurrencia del siniestro (accidente automovilístico) ó avería del sistema protegido, pero actúan como amortiguadores o contenedores de los efectos y sus consecuencias, que de otra manera podrían tener mucha más gravedad.

Los protectores mecánicos en las correas de transmisión de los motores eléctricos, también son protecciones contensivas; no evitan el daño de las correas, pero contienen sus consecuencias.

- 3) **Protección Indicativa:** Las protecciones indicativas tienen la finalidad suprema de poner en conocimiento a las personas que se ha producido o se está por producir una situación anormal de funcionamiento. Todas las alarmas constituyen protecciones indicativas. Cuando los parámetros establecidos para activarlas llegan al valor prefijado, las mismas se encargan de “avisar” en forma visual o sonora, sobre la ocurrencia de la anomalía.

Ejemplo

Cierto sistema de lavado posee una alarmer por máxima temperatura. Cuando, por razones ajenas a la protección indicativa, se produce un incremento de temperatura por encima del valor establecido, una alarma visual se enciende en el tablero de control de proceso.

La luz indicadora de baja presión de aceite en el tablero de un automóvil, es una protección indicativa. Protege al motor de los daños que le podrían ocurrir de funcionar con baja presión de aceite.

La figura siguiente resume los Sistemas de Seguridad de acuerdo a esta categorización.

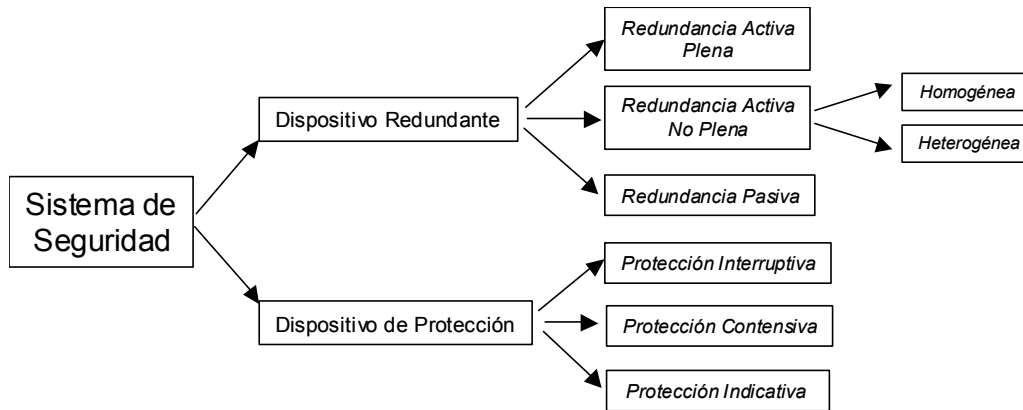


Figura 11 Diferentes tipos de Sistemas de Seguridad

Frecuencia para las Rutinas Detectivas

La figura siguiente resume las condiciones bajo las cuales no es aconsejable aplicar rutinas detectivas.

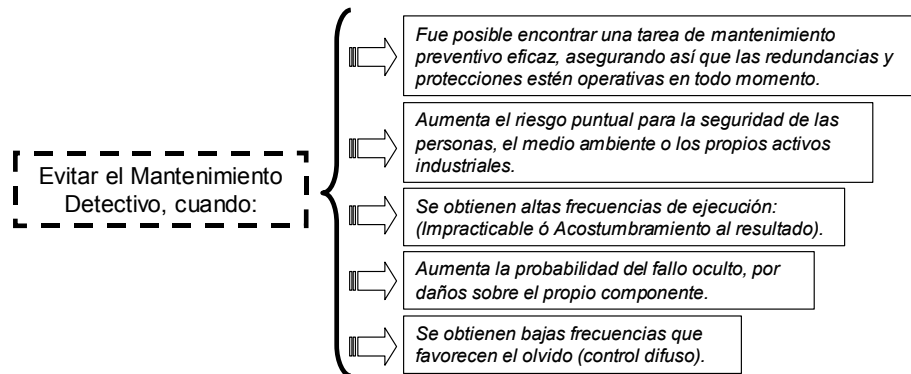


Figura 12 Condiciones bajo las que no es conveniente realizar rutinas detectivas.

Se destacan algunas hipótesis tenidas en cuenta, a partir de ahora, para llevar adelante el análisis de las frecuencias de los chequeos funcionales.

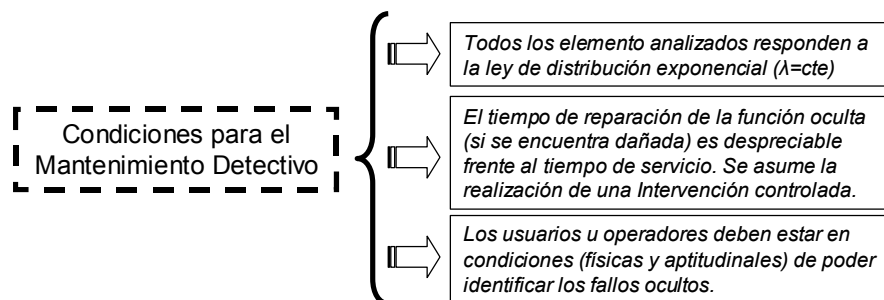


Figura 13 Condiciones asumidas para la realización del Mantenimiento Detectivo

Si el tiempo de reparación es significativo frente al de operación normal, el sistema protegido estará desprovisto de respaldo durante mucho tiempo. Se deberá entonces, contar con algún otro sistema alternativo que reemplace a la función de seguridad, o bien retirar de servicio completamente todo el conjunto hasta tanto se haya subsanado el fallo ocurrido sobre la redundancia o de protección.

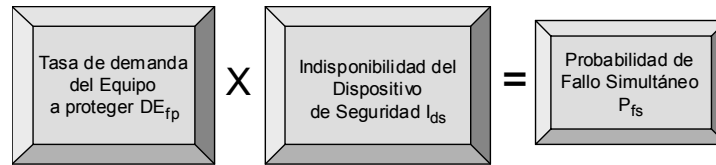


Figura 14 Probabilidad del fallo simultáneo

$$P_{fs} = DE_{fp} \times I_{ds}$$

También,

$$P_{fs} [\%] = \lambda_{fs} = 1 / MTBF_{fs}$$

La verificación se realizará a intervalos regulares de tiempo (t_{ID}), directamente relacionados con los siguientes tres parámetros ya vistos.

- la probabilidad aceptada para el fallo simultáneo, P_{fs}
- la tasa de falla o demanda del equipo a resguardar, DE_{fp}
- y, la indisponibilidad permitida al dispositivo redundante o de protección, I_{ds}

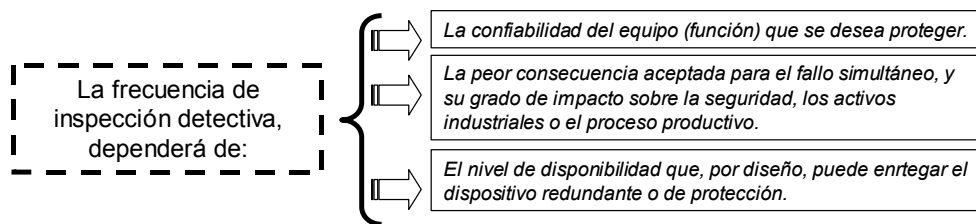


Figura 15 Factores que afectan la frecuencia de inspección detectiva.

Resumen de variables utilizadas

MTBF_{fp} : Tiempo medio entre fallas del equipo o sistema a proteger.

MTBF_{ds} : Tiempo medio entre fallas del dispositivo de seguridad (redundante o de protección).

MTBF_{fs} : Tiempo medio entre fallas de todo el conjunto (fallo simultáneo).

λ_{fp} : Tasa de falla del equipo o sistema a proteger, ó demanda.

λ_{ds} : Tasa de falla del dispositivo de seguridad (redundante o de protección).

λ_{fs} : Tasa de falla de todo el conjunto (fallo simultáneo), ó tasa de riesgo. Ej: 1/100.00

$P_{fp} = DE_{fp}$: Probabilidad de falla del equipo a proteger, ó Demanda de la función protegida.

$P_{ds} = I_{ds}$: Probabilidad de falla del dispositivo de seguridad (redundante o de protección).

P_{fs} : Probabilidad del fallo simultáneo. Ej: 1/100.000

D_{ds} : Disponibilidad del dispositivo de seguridad (redundante o de protección).

t_{ID} : Tiempo entre dos inspecciones detectivas.

Vimos que:

$$\lambda_{fp} = 1 / \text{MTBF}_{fp} = P_{fp} [\%] = DE_{fp} [\%]$$

$$\lambda_{ds} = 1 / \text{MTBF}_{ds} = P_{ds} [\%] = I_{ds} [\%]$$

$$\lambda_{fs} = 1 / \text{MTBF}_{fs} = P_{fs} [\%]$$

La “Indisponibilidad permitida” de la función oculta es:

$$I_{ds} = 1 - D_{ds}$$

$$t_{ID} = 2 \times \text{MTBF}_{ds} \times \left(\frac{\text{MTBF}_{fp}}{\text{MTBF}_{fs}} \right)$$

El t_{ID} para n dispositivos, queda expresado por:

$$t_{ID} = \text{MTBF}_{ds} \times \left[(n + 1) \times \frac{\text{MTBF}_{fp}}{\text{MTBF}_{fs}} \right]^{1/n}$$

Algunas protecciones indicativas o interruptivas, con el fin de reducir falsas señales, se diseñan de forma tal que más de una de ellas deba actuar para disparar la señal. Todos los sensores instalados miden la misma variable y en el mismo punto, y cualquier par puede actuar activando el sistema de seguridad. Vale decir que el sistema aún podría funcionar con cierto número de dispositivos averiados.

Si n es el número total de unidades en paralelo y k el de unidades necesarias para activar el sistema, se llama r al número de unidades que deberían fallar para que todo el conjunto de detección falle. Esto es,

$$r = n + 1 - k$$

$$t_{ID} = \text{MTBF}_{ds} \times \left[Z \times \frac{\text{MTBF}_{fp}}{\text{MTBF}_{fs}} \right]^{1/r}$$

Donde

$$Z = \frac{(n - r)! \cdot r! \cdot (r + 1)}{n!}$$

Cuando el Fallo Simultáneo únicamente tiene impacto económico

Cuando el fallo simultáneo no tiene consecuencias para la seguridad de las personas o el medio ambiente, el riesgo se estima solo en función de las consecuencias económicas.

Así, se hace posible encontrar un equilibrio entre lo que le constará a la empresa afrontar el fallo simultáneo a lo largo de un horizonte de validez determinado (generalmente anual); y el costo de realizar la tarea de búsqueda de fallos más el costo de reparar los dispositivos si fuesen encontrados en un estado de no disponibilidad, ambos también a lo largo de un año.

Las siguientes son las variables a tener en cuenta para esta parte.

C_{fs} : Costo por cada fallo simultáneo.

$C_{\text{Anual-fs}}$: Costo anual estimado para los fallos simultáneos.

C_{ID} : Costo por cada intervención detectiva.

$C_{\text{Anual-ID}}$: Costo anual estimado de las intervenciones detectivas.

C_{ds} : Costo por cada reparación del dispositivo de seguridad (redundante o de protección), si fue encontrado en estado de falla.

$C_{\text{Anual-ds}}$: Costo anual estimado por las reparaciones del dispositivo de seguridad (redundante o de protección).

C_{fp} : Costo por reparar el equipo o sistema a proteger cuando sufre una falla funcional.

$C_{\text{Anual-fp}}$: Costo anual estimado por las reparaciones del equipo o sistema a proteger.

C_{total} : Costo total anual.

El intervalo entre inspecciones detectivas t_{ID} para un solo dispositivo de seguridad, será:

$$t_{ID} = \left(\frac{2 \times MTBF_{ds} \times MTBF_{fp} \times C_{ID}}{C_{fs}} \right)^{1/2}$$

Cuando se encuentran instalados n dispositivos redundante o de protección, con el fin de proteger a una misma función, la situación es similar; solo que $n > 1$.

$$t_{ID} = \left(\frac{(n + 1) \times MTBF_{ds}^n \times MTBF_{fp} \times C_{ID}}{n \times C_{fs}} \right)^{1/n + 1}$$

Si n es el total de elementos en paralelo, k el número de unidades necesarias para activar el sistema, entonces.

$$r = n + 1 - k$$

$$t_{ID} = \left(\frac{Z \times MTBF_{ds}^r \times MTBF_{fp} \times C_{ID}}{r \times C_{fs}} \right)^{1/r + 1}$$

$$Z = \frac{(n - r)! \cdot r! \cdot (r + 1)}{n!}$$

Planes de Mantenimiento

Gran Reparación

Las grandes reparaciones o revisiones generales son servicios en equipos de gran porte, que interrumpen la producción. Es común para este tipo de intervención, la aplicación del Método del Camino Crítico (PERT) y el análisis de costos específicos.

Se denomina Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo al conjunto de acciones que vinculan a los equipos con la frecuencia de ejecución de los trabajos, cronogramas de tareas, instrucciones de mantenimiento, datos de medición, centros de costos, códigos de material, y cualquier otro dato necesario para actuar preventivamente.

Normalmente al final de cada semana, los encargados de los sectores mantenedores, o un responsable del control de programación, verifica en el plan los servicios previstos para la semana siguiente.

Si el sistema de control es informatizado, toda la información se archiva en la computadora para vincular las tareas a realizar con toda la información necesaria.

Control dinámico de grandes reparaciones

Normalmente en épocas de grandes reparaciones, los supervisores de mantenimiento y operación, trabajan juntos para esquematizar la programación, de manera que se reduzca al mínimo el período de indisponibilidad del sistema operacional.

En algunos casos la parada de un equipo acarrea riesgos de accidente que pueden comprometer la productividad. Existiendo una base de datos de grandes reparaciones anteriores, todo se puede desarrollar más fácilmente. Se podrán calcular rápidamente los valores promedio de recursos y las demoras de las tareas.

Existen en el mercado varios software específicos que utilizan técnicas de PERT/CPM y Nivelación de Recursos (Super Project, Project for Windows, Primavera, etc.)

La evolución del proyecto deberá verificarse diariamente para corregir los desvíos entre los servicios programados y los realmente ejecutados.

En algunas oportunidades no se dispone de mucha información a la hora de diseñar un Plan de Mantenimiento, se podría entonces consultar con el fabricante o con usuarios de otras Plantas que posean ya alguna experiencia en el tema.

Pero ante todo debemos estudiar nosotros mismos el caso, con la experiencia de nuestro personal de mantenimiento y operadores de máquinas similares. Así, se determinará cuál es el mejor plan de mantenimiento a aplicar.

Fuente: Administración Moderna de Mantenimiento – Lourival Augusto Tavares
Gestión Integral de Mantenimiento – Luis Navarro Elola
Ingeniería de Mantenimiento – Eduardo Cruz Rabelo
RCM2 – John Moubray
Mantenimiento Industrial – Raimundo Heber Gonzalez
Mantenimiento: Fuente de Beneficios – Jean-Paul Souris
Manual de Mantenimiento. Ingeniería, Gestión y Organización – Alejandro J. Pistarelli