

Artículo

DEFINICIÓN DE FRECUENCIAS DE TAREAS DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO



Por: Carlos Mario Pérez



DEFINICIÓN DE FRECUENCIAS DE TAREAS DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

Autor: Carlos Mario Pérez Jaramillo

Uno de los problemas más frecuentes en la definición de las estrategias de mantenimiento es la claridad fundamental requerida para seleccionar las tareas de mantenimiento correctas y las frecuencias con que se deben ejecutar.

1. INTRODUCCIÓN— EL PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento es el elemento en un modelo de gestión de mantenimiento que define los planes o calendarios con las fechas en las que deben ser ejecutadas las actividades sistemáticas asociadas a un activo. Una actividad estándar o sistemática es una labor de mantenimiento donde se realizan un grupo de tareas sobre un activo, un sistema o un componente, siempre de la misma manera; y con el objetivo de mejorar su desempeño.

En resumen, es el resultado de asociar a un activo, con sus actividades sistemáticas a una frecuencia establecida.

Los planes de mantenimiento agrupan intervenciones preventivas, predictivas y detectivas, e influyen de manera notable en la confiabilidad de un activo. Si son certeros, adecuados y justificados estarán constituidos por las tareas absolutamente necesarias; es decir, no más de las requeridas y no menos de las mismas. Una estrategia bien definida se enfoca en ejecutar estas tareas en el momento correcto para el activo, y no sólo porque ya está detenido; esto permite hacer un uso óptimo de los recursos.

Un lineamiento primordial del mantenimiento es que cualquier actividad correctiva, preventiva, detectiva o predictiva es adecuada y es aplicable sólo si el activo es más confiable después de ejecutarla; es decir, si mejora su desempeño en términos de reducción de tiempos de paro, reducción de cantidad de averías, reducción del riesgo, optimización de sus costos de operación, o reducción de las afectaciones al medio ambiente. Si no es así, la tarea es innecesaria y genera desperdicio de recursos; incluso puede llegar a introducir fallas de mortalidad infantil por la realización de acciones no requeridas o mal ejecutadas.

Tradicionalmente, se ha asumido que los mejores planes de mantenimiento están orientados a nivel de activo como concepto global o en el mejor de los casos a componentes mayores que deben reemplazarse o repararse continuamente. Afortunadamente, varios hechos cambiaron el concepto y la forma de elaborar un plan de mantenimiento adecuado, uno de los más importantes fue la accidentalidad en la aviación comercial.

En la década de los años 50 del siglo pasado, “mantenimiento” era equivalente a intervenciones periódicas. Todos esperaban que los componentes y partes importantes de un activo fallaran después de cierto tiempo. Esta situación condujo a creer que las tareas periódicas mantenían las condiciones operativas correctas de los elementos y así se lograba prevenir y evitar sus fallas. En los casos en los que esta estrategia parecía no estar funcionando, se asumía que se estaban realizando las intervenciones inoportunamente, es decir muy tarde; esto condujo los esfuerzos a acortar el tiempo entre acciones. Sin embargo, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas encontraban que en la mayoría de los casos, los niveles de averías no se reducían y por el contrario, se incrementaban.



A finales de dicha década del siglo XX, la aviación comercial mundial tenía más de 60 accidentes por cada millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma cantidad proporcional de eventos, estarían ocurriendo entre dos o tres accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los años 50 eran causados por fallas en los equipos.

Esta alta tasa de accidentalidad, aunada al auge de los viajes aéreos, implicaba que la industria aérea tenía que hacer algo para mejorar la seguridad de su operación. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que el principal enfoque tenía orientarse sobre la seguridad como componente fundamental de la confiabilidad.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, es un proceso desarrollado durante los años 60 y 70 del siglo XX por los empleados de United Airlines: Stanley Nowlan y Howard Heap, quienes luego de 20 años de carrera, investigando y experimentando en la aviación publican el informe *Reliability Centered Maintenance*, con la finalidad de ayudar a las personas que definen los planes de mantenimiento a determinar las mejores estrategias para lograr que se cumplan las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas. Hasta hoy no hay un proceso más integral, riguroso, completo y responsable para hacerlo.

Uno de los hallazgos principales de la investigación fue el reconocimiento de que las tareas deben dirigirse a las causas de falla; es decir, un activo tiene muchas funciones que pueden fallar por diferentes causas y cada causa puede obedecer a un fenómeno físico de desgaste, un error humano, un factor de influencia ambiental, pérdida de integridad o fenómenos repentinos que pueden hacer que se afecte o suspenda el cumplimiento de sus funciones.

Bajo esta premisa, la definición de una estrategia de mantenimiento y su posterior conversión a recursos y costos se debe hacer a nivel de las causas de falla. Una gran ventaja del RCM, es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea periódica es técnicamente aplicable, si se justifica hacerla en cualquier contexto, y si fuera así, para decidir la frecuencia con la que se debe ejecutar.



2. EL COMPORTAMIENTO DE LAS FALLAS A TRAVÉS DEL TIEMPO

Un solo elemento puede tener diferentes causas de falla, este puede fallar golpeado, gastado, no lubricado, fatigado y en cada caso la estrategia de manejo es diferente y, por lo tanto, es común que para un elemento sea necesario ejecutar tareas predictivas, preventivas y detectivas; incluso dejar que falle puede ser una decisión coherente en algunos casos.

Comúnmente se ha definido la confiabilidad como “la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin fallar por un determinado período de tiempo, en unas condiciones de operación específicas”; sin embargo un uso inadecuado de este concepto se ha dado en la gran mayoría de los casos por la aplicación particular que se da a la expresión “falla”. Para muchos la palabra “falla” significa sólo paradas y así se construyen complejos modelos matemáticos para calcular la probabilidad de paradas, sin tener en cuenta que también hay fallas cuando un activo es ineficiente, inseguro, costoso, con alto nivel de rechazos o cuando afecta la imagen o reputación.

Un activo no es más confiable necesariamente porque su cantidad de paros haya disminuido, este es sólo uno de los atributos que puede reflejar una mejora; un equipo con un “buen TMEP” (tiempo medio entre paradas) puede tener alto nivel de riesgos de accidentes que afecten la integridad de las personas, consumir mucha energía para operar y hasta dejar de ser rentable, en otras palabras, no ser confiable para la organización.

Además, es necesario comprender que el TMEP (tiempo medio entre paradas) como criterio para definir tareas de mantenimiento no es aplicable en todos los casos por varias razones:

- No todas las fallas son cíclicas, así que el uso del promedio para decidir una estrategia para una causa de falla de ocurrencia aleatoria es irresponsable y deja todo al azar.
- Los datos con que se calcula este indicador normalmente se obtienen de eventos que ya han ocurrido, entonces, ¿cuál es el paso a seguir con lo que no ha sucedido aun?

Uno de los aportes más importantes del informe de RCM de Nowlan y Heap fue identificar que cada falla tiene una manera diferente de ocurrir a través del tiempo y ese comportamiento define cómo se presenta y por ende ayuda a definir la estrategia más apropiada.

A manera de ilustración: no tiene sentido proponer como tarea para un engranaje no lubricado un análisis termográfico, dado que un error humano no se maneja con una estrategia de inspección. De igual manera, no es sensato cambiar una tarjeta electrónica de control cada seis meses si la causa de falla es un sobrevoltaje que es aleatorio. Esto se puede resumir en: de acuerdo con la manera cómo el elemento falla debe existir una estrategia específica.

Típicamente y apoyado en la idea tradicional de que todo fallaba a medida que envejecía, existió una gran tendencia a hacer cambios y reparaciones periódicas, simplemente porque el tiempo transcurría; no obstante y como quedó demostrado en el sector de la aviación, la accidentalidad no se reducía con este enfoque. Posteriormente, los estudios realizados en la aviación civil encontraron seis patrones diferentes de fallas para las causas de falla de los aviones. Estos patrones fueron identificados con las letras de la A, a la F; y significaron un cambio de mentalidad en la manera de hacer mantenimiento.

Las gráficas de los patrones de falla relacionan la edad con la probabilidad condicional de falla, no son gráficas de supervivencia, ni de frecuencia de fallas, lo que muestra es la probabilidad de que la causa de falla ocurra en el período que se está analizando.



A continuación se muestra cada patrón con la estrategia recomendada, tal como lo exponen Nowlan & Heap en su informe.

El **patrón A** es conocido como “curva de la bañera”. Comienza con una probabilidad de falla alta (conocida como mortalidad infantil), seguida por una probabilidad de falla que disminuye gradualmente hasta que es constante (fallas aleatorias), y luego por una zona de aumento de la probabilidad de falla.

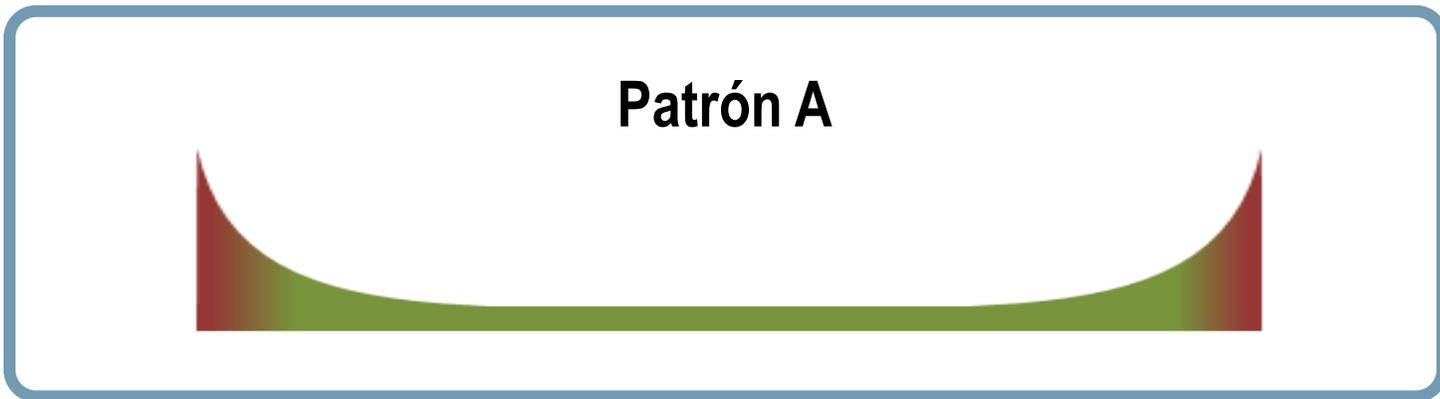


Figura 1. Patrón de falla A

Estrategias recomendadas:

- Análisis para determinar las causas de fallas de mortalidad infantil.
- Mantenimiento basado en condición para la zona aleatoria
- Cambios o reparaciones periódicas para la zona de aumento de probabilidad de falla.

El **patrón B** es conocido como “el punto de vista tradicional” y muestra pocas fallas aleatorias al inicio terminando en una zona de incremento de probabilidad de falla.

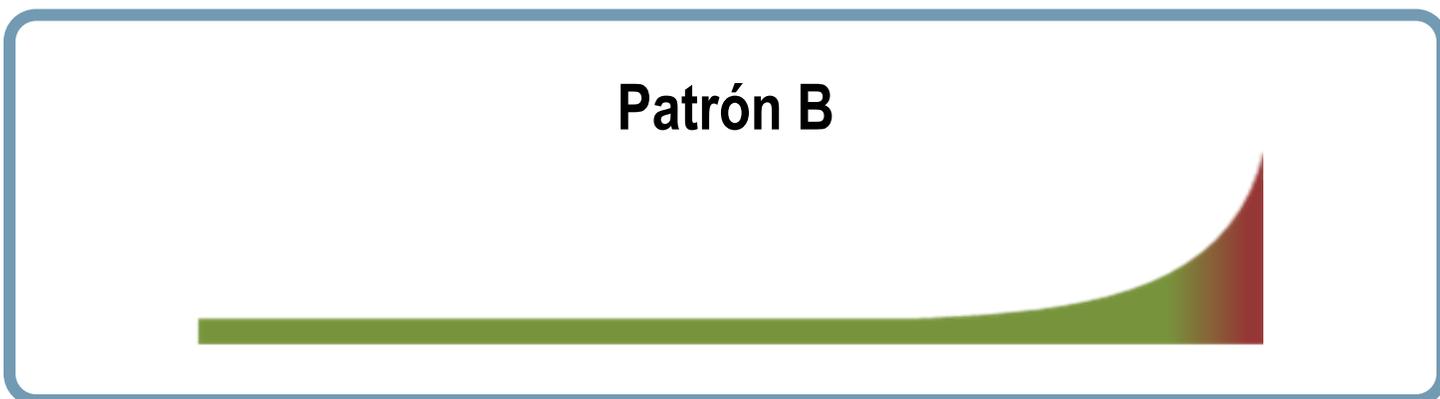


Figura 2. Patrón de falla B

Estrategias recomendadas:

- Intervenciones periódicas (cambios o restauraciones)
- Análisis si las fallas están ocurriendo antes de lo estimado o requerido.



El **patrón C** muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de incremento de probabilidad de falla que sea identificable, es decir, hay un incremento constante en la probabilidad de falla.

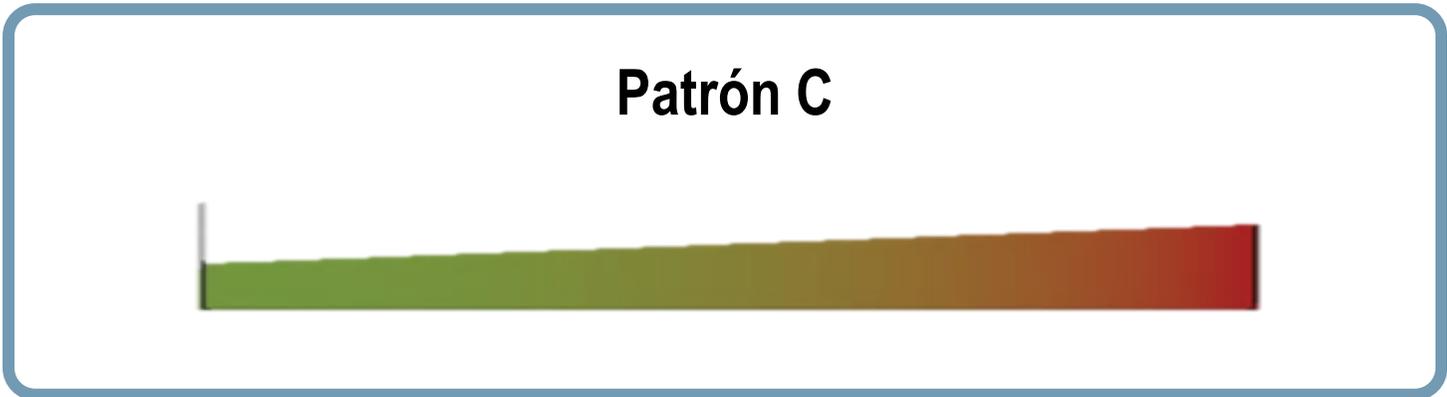


Figura 3. Patrón de falla C

Estrategias recomendadas:

- Intervenciones periódicas o en función del costo o riesgo.

El **patrón D** muestra una probabilidad de falla baja cuando el elemento es nuevo o se acaba de instalar, seguido de aumento rápido a un nivel constante de la probabilidad de falla.

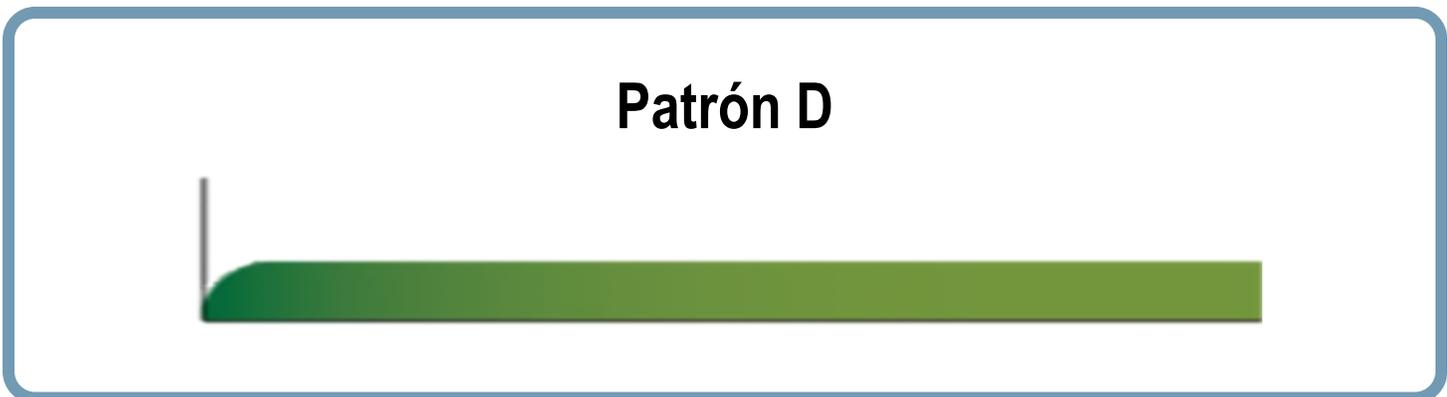


Figura 4. Patrón de falla D

Estrategias recomendadas:

- Mantenimiento basado en condición
- Análisis si la tasa de fallas es muy elevada.
- Operar hasta fallar.
- Provisión de repuestos



El **patrón E** muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (fallas aleatorias), es decir, no existe ninguna relación entre la edad de los elementos y la probabilidad de que fallen.

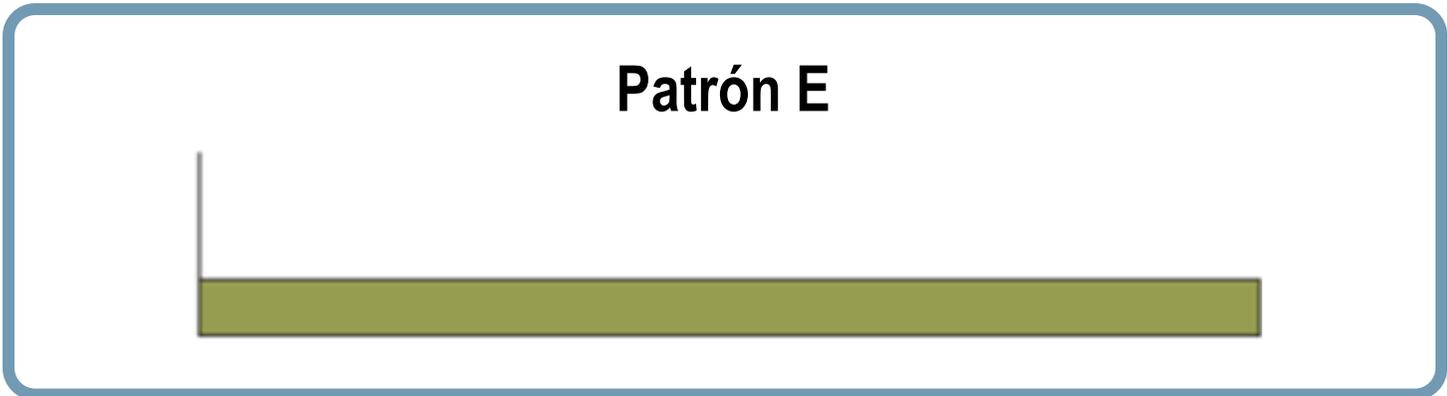


Figura 5. Patrón de falla E

Estrategias recomendadas:

- Mantenimiento basado en condición
- Análisis si la tasa de fallas es más alta que la deseada o requerida
- Operar hasta fallar.
- Provisión de repuestos

El **patrón F** comienza con una “mortalidad infantil” muy alta, que posteriormente desciende hasta un comportamiento aleatorio de la probabilidad de falla.

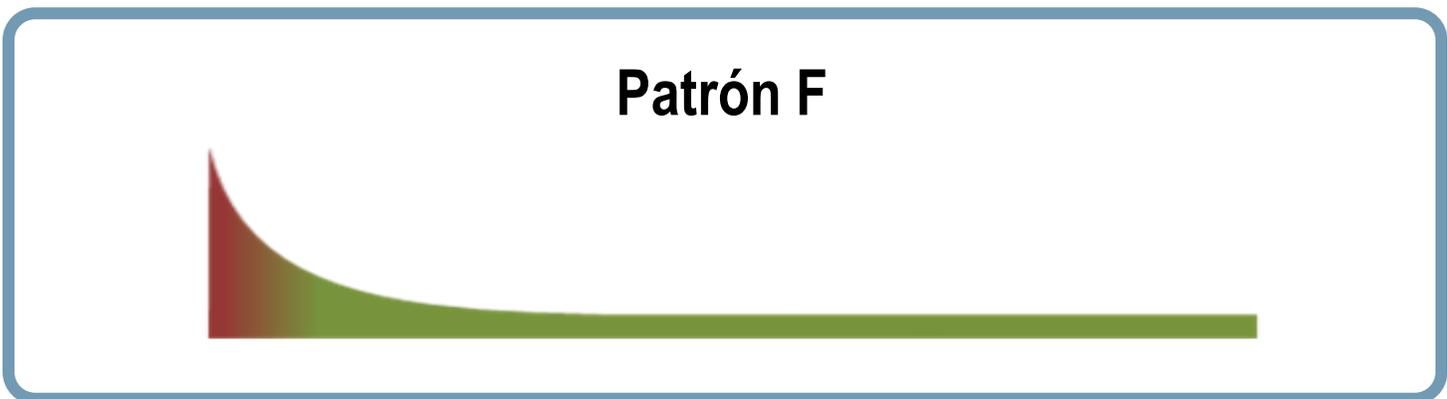


Figura 6. Patrón de falla F

Estrategias recomendadas:

- Análisis para determinar las causas de las fallas de mortalidad infantil.
- Provisión de repuestos.
- Entrenamientos y procedimientos.
- No se recomienda implementar intervenciones periódicas.



En la comunidad del mantenimiento esto causó una gran conmoción, debido a que estas premisas debilitaron muchas creencias y prácticas; pero, también se amplió la perspectiva de utilizar solo la estadística para tomar las decisiones al definir un plan de mantenimiento.

Los patrones de falla a su vez pueden agruparse en dos categorías principales que darán un indicio de la forma más adecuada para su manejo.

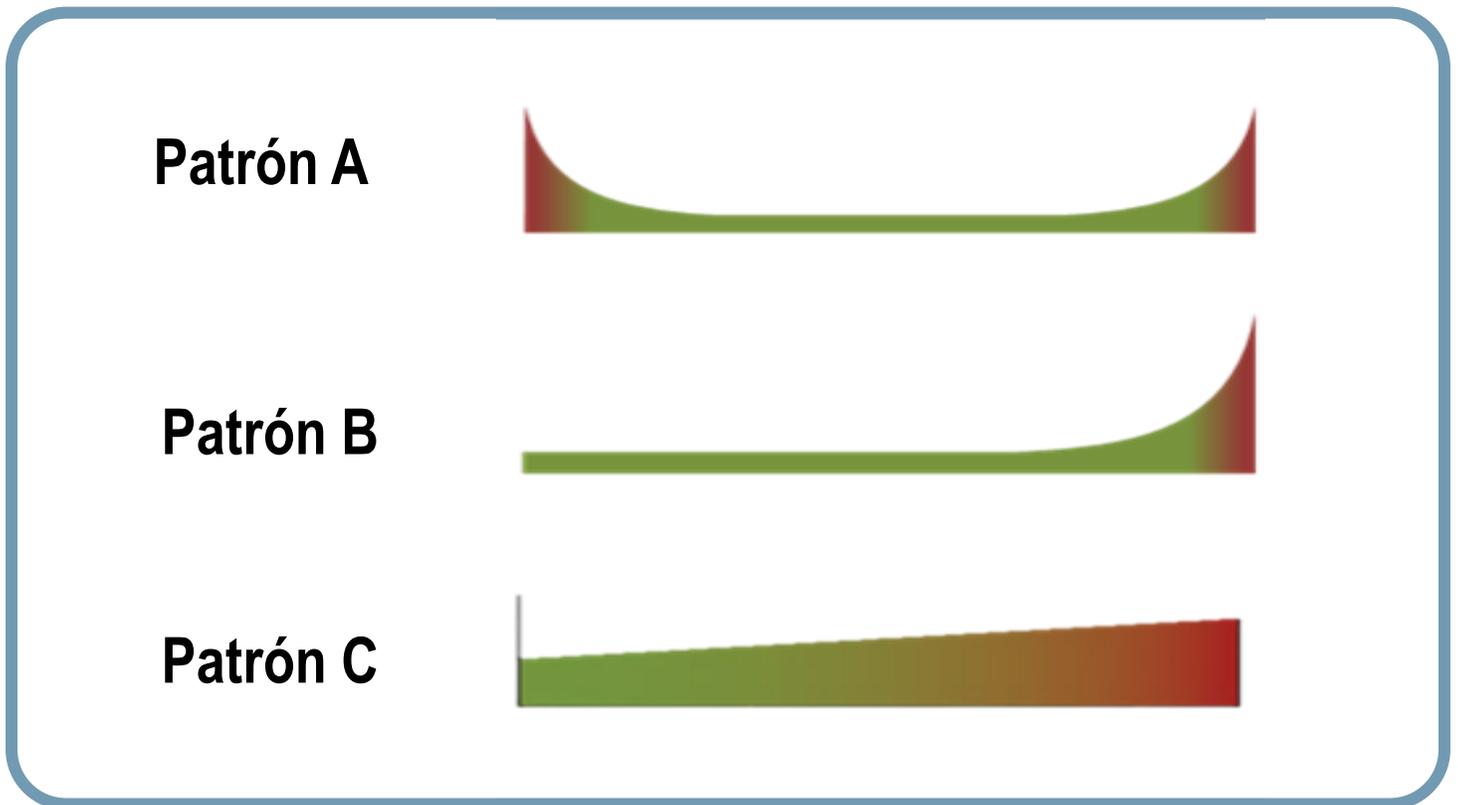


Figura 7. Patrones de falla relacionadas con la edad

Los patrones A, B y C generalmente corresponden a elementos simples o equipos complejos con causas de falla dominantes. En la práctica, estos patrones se identifican en elementos de activos que están en contacto directo con el producto, en los que existen fenómenos de fricción, fatiga, corrosión, evaporación, abrasión y erosión constante bajo esfuerzos uniformes y constantes.

Para causas de falla relacionadas con la edad, las tareas de reemplazo o restauración periódicas pueden ser apropiadas; pero para las causas de falla que no tienen esta relación, este tipo de tareas no son recomendadas e incluso pueden incrementar la probabilidad de falla a través de la reintroducción de fallas de mortalidad infantil (patrón F) en sistemas que son estables.



Patrón D



Patrón E



Patrón F



Figura 8. Patrones de falla aleatorios

Los patrones D, E y F están asociados típicamente con activos complejos que tienen elementos de electrónica, hidráulica y neumática; se reconoce que prácticamente todos los rodamientos siguen el Patrón E.

Estos hallazgos demostraron que los distintos elementos pueden fallar de distintas maneras y esto implica que serán necesarias diferentes estrategias para un solo elemento, cada una de ellas enfocada adecuadamente a la causa de falla que busca manejar. Por ejemplo, no es lo mismo cambiar un elemento porque “va a fallar” o cambiarlo “porque falló”, que cambiarlo, porque se cumplió una frecuencia “antes de que fallara”; no es lo mismo un elemento que falló por desgaste, a uno que falló por mala instalación o uno golpeado de manera accidental.

A pesar de tener esta información disponible, algunos autores se aferran a definir los postulados matemáticos como una verdad absoluta acerca de las fallas y niegan el hecho de que los registros de fallas analizados mezclan efectos con causas que no generan más que confusiones y que en la gran mayoría de los casos no se identifica el elemento que falló.

Además de estos errores que son bastante comunes, olvidan que tener una gran cantidad de datos de fallas para analizar es aceptar que ocurran una gran cantidad de fallas y que esto es un reflejo de una estrategia inadecuada.

Retomando el estudio de la aviación, lo más sorprendente en ese momento no fue el descubrimiento de que el transcurrir del tiempo no explicaba todas las causas de falla, sino su distribución. El informe mostró que el 4% de las causas de falla coincide con el patrón A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el patrón F. Ver figura 9:

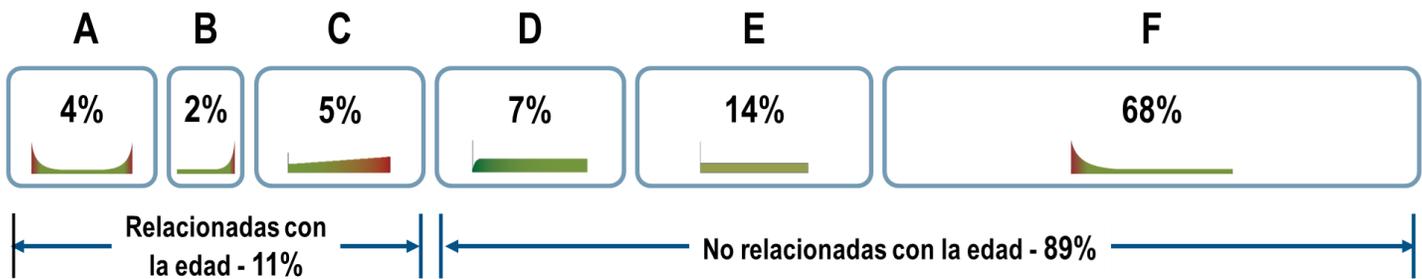


Figura 9. Distribución de los patrones de falla en los componentes de aviones según el estudio de Nowlan & Heap

Conclusión: Hay que aceptar que los activos son diferentes, que están compuestos de diversos elementos, que cada uno de estos falla de diferentes maneras, y que a su vez estas fallas tienen diferentes comportamientos en el tiempo. Este entendimiento es el que permitirá definir estrategias correctas que realmente tengan un impacto positivo en el desempeño de los activos.

3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO Y PATRONES DE FALLA

Hasta la década de los años 50 del siglo XX, el punto de vista acerca de las fallas era: “cuando los elementos físicos envejecen tienen más posibilidades de fallar”, posteriormente entre los años 60 y los 70, un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso y el envejecimiento llevó a la creencia general en la “curva de la bañera”.

Sin embargo, esta curva obedece al comportamiento global del activo y no a cada causa de falla; de manera desafortunada pasa por alto el hecho de que el nivel al cual debe ser definido un plan de mantenimiento es al nivel del análisis de cómo falla un elemento específico para así poder encontrar las tareas más apropiadas.

Cuando se contradice la creencia generalizada de que siempre existe una relación directa entre la confiabilidad y la edad operacional (o las horas de funcionamiento) y que cuánto más a menudo se interviene un elemento, menor es la probabilidad de falla, se genera mucha resistencia porque es una idea sencilla y muy fácil de replicar: hacer muchos cambios, restauraciones y ajustes cada que transcurre un período de tiempo, o se recorren unos kilómetros o se realizan un determinado número de operaciones.

Hoy en día, esto es raramente verdad y las tareas con frecuencias asociadas a la edad no hacen nada, o muy poco, para mejorar el desempeño de un equipo complejo. De hecho, las intervenciones periódicas pueden aumentar la frecuencia de fallas en general, al introducir la mortalidad infantil en sistemas que de otra forma serían estables.

Por ejemplo, para una causa de falla que corresponda al patrón B, es posible definir una intervención periódica; sin embargo, para una causa de falla que corresponda al patrón F, la intervención periódica solo lograría aumentar la probabilidad de una falla.

Para ilustrar este proceso de análisis se presenta el siguiente ejemplo. Un responsable de establecer un plan de mantenimiento debe definir las estrategias para garantizar que un motor eléctrico cumpla una de sus funciones, para este propósito, identifica seis causas de falla con sus respectivos patrones, lo que le permite orientar correctamente la definición de una tarea para cada causa de falla.



Función: Transmitir 15,000 lbf-ft de torque a la bomba de agua a 1,200 RPM

Falla funcional: No transmite torque a la bomba de agua

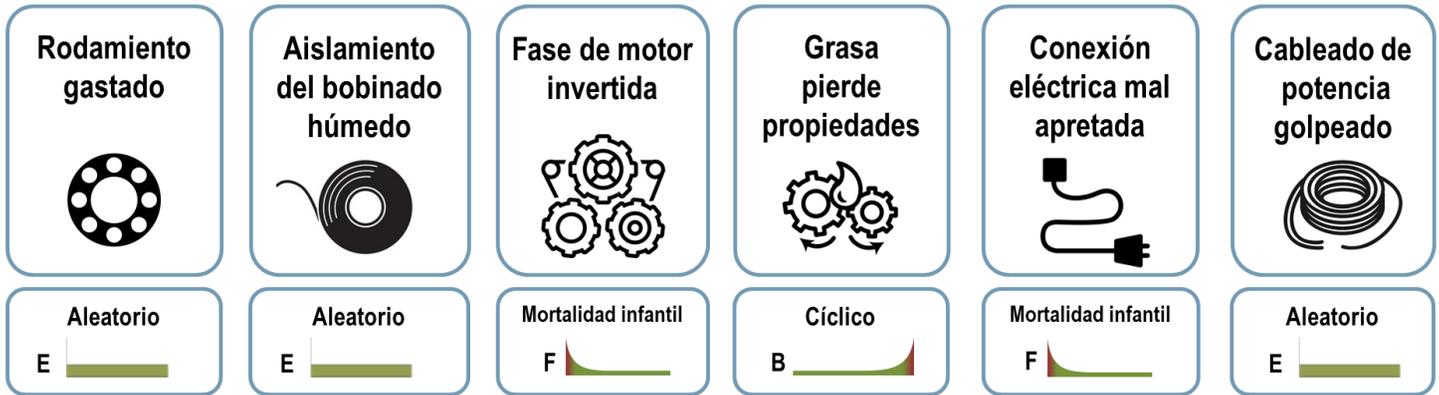


Figura 10. Causas y patrones de falla

3.1 ESTRATEGIAS PARA FALLAS CÍCLICAS

Las fallas cíclicas se presentan cuando un grupo de elementos similares está sujeto a esfuerzos similares durante un período de tiempo, en este caso se puede esperar que estos elementos alcancen un estado de falla aproximadamente al mismo tiempo, tal como se presenta en la figura 11.

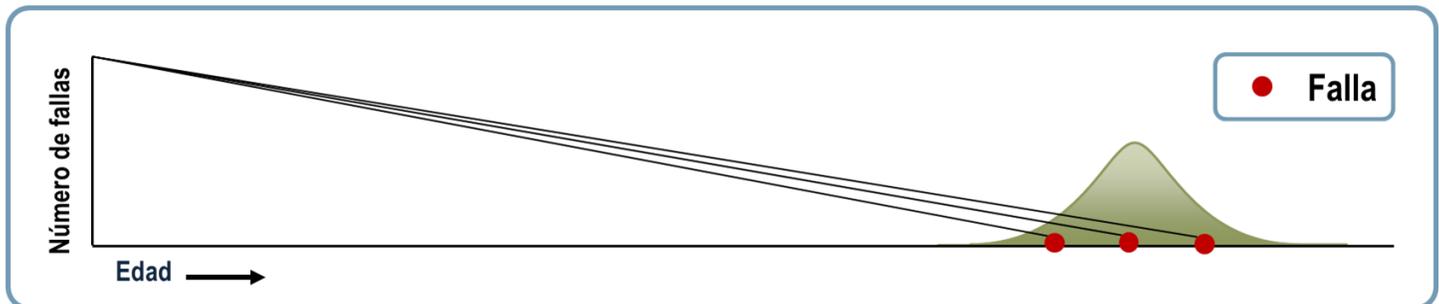


Figura 11. Fallas cíclicas

Para las fallas cíclicas es posible conocer la edad en la cual hay un aumento rápido en la probabilidad de falla, y así es posible manejar la causa de falla restaurando o reemplazando los elementos antes de que alcancen dicha edad (usualmente llamada vida). Ver figura 12:

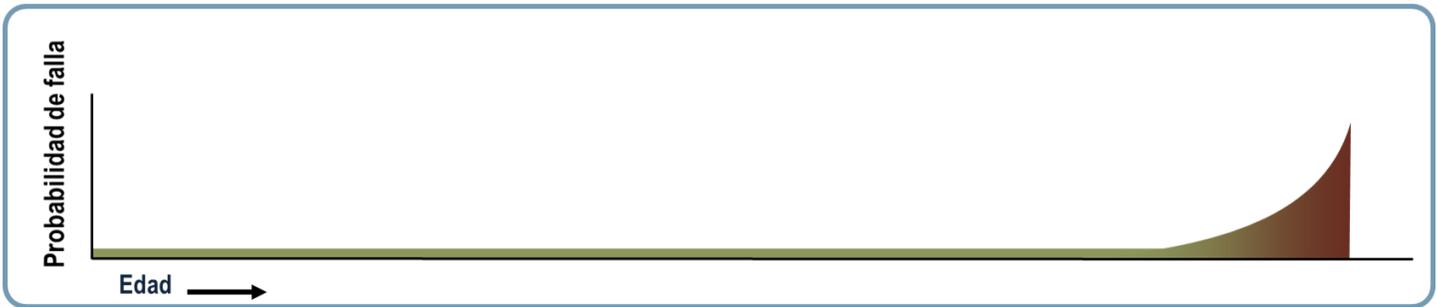


Figura 12. Probabilidad condicional de fallas cíclicas

Este análisis se puede realizar para causas de falla específicas como se presentan a continuación:

Ejemplo 1:

Causa de falla: Grasa agotada

Comportamiento: Cíclico



Patrón B



Análisis:

- Con base en los datos de falla se ha determinado que la grasa específica usada para lubricar el rodamiento siempre pierde sus propiedades después de 3 meses y nunca antes de 3.5 meses.
- Se puede decir que la falla es cíclica y, por lo tanto, se puede definir una tarea de reemplazo periódico, que es el cambio de la grasa.
- La frecuencia de esta tarea depende de la vida útil de la grasa que es de 3 meses.

Ejemplo 2:

Causa de falla: Sello del filtro del aceite del motor cristalizado

Comportamiento: Cíclico



Patrón B





Análisis:

- Del registro de fallas del motor se ha identificado que el calentamiento y la presión sobre el sello del filtro del aceite ha ocasionado que se cristalicen alrededor de las 500 horas de operación.
- El grupo confirma que la falla es cíclica y que la tarea adecuada para su manejo es cambiar los sellos de los filtros de aceite .
- La frecuencia de la tarea se establece según la vida del sello, es decir 500 horas, conocida por muchos como vida útil.

3.2 ESTRATEGIAS PARA FALLAS ALEATORIAS

Las fallas aleatorias se presentan en grupos de elementos similares que están sujetos a diferentes niveles de esfuerzo durante un período de tiempo, en este caso se puede esperar que estos elementos alcancen un estado de falla en momentos diferentes, tal como se observa en la figura 13:

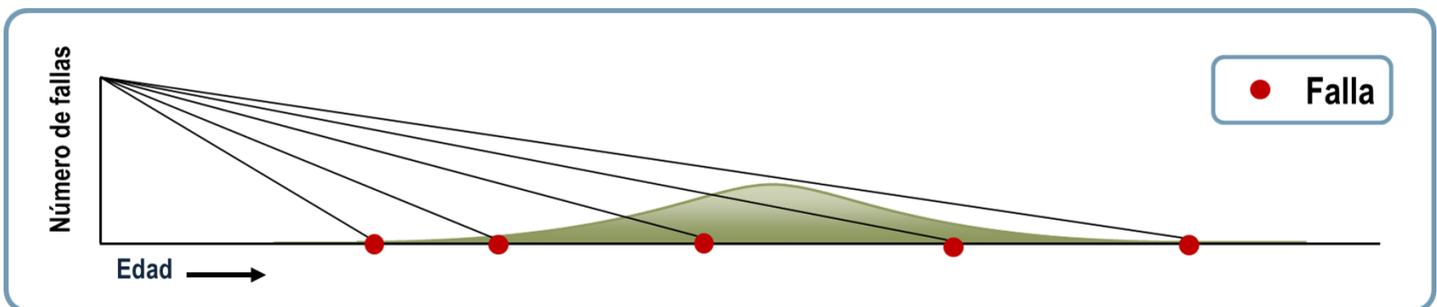


Figura 13. Fallas aleatorias

Para este tipo de fallas, la curva de probabilidad de falla luce de la siguiente manera, en esta se representa que la probabilidad de que ocurra una falla durante un período de tiempo es la misma en cualquier momento. Ver figura 14:

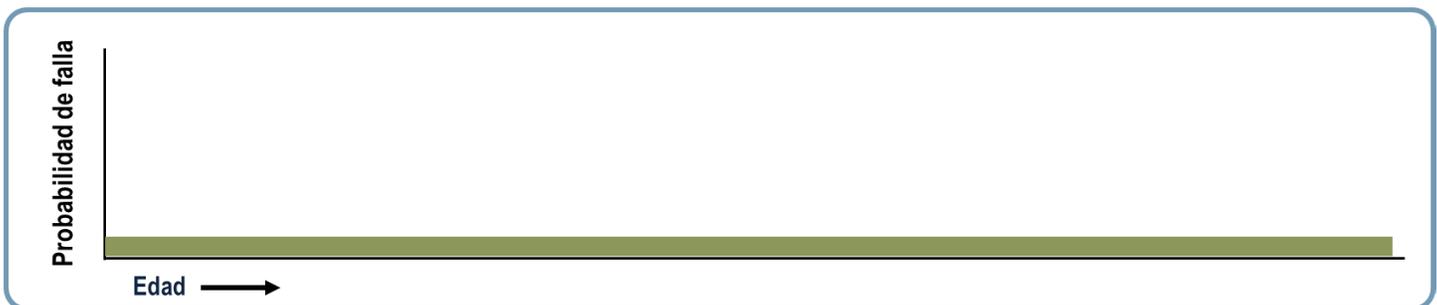


Figura 14. Probabilidad condicional de fallas aleatorias

En resumen, una falla aleatoria puede suceder en cualquier momento. En algunos casos, puede ser unos segundos después de que el elemento haya entrado en servicio, puede ser después de unas décadas.



3.2.1 ESTRATEGIAS PARA FALLAS ALEATORIAS PROGRESIVAS

A pesar de ser aleatorias, algunas de estas fallas ocurren de manera súbita o repentina y otras de manera progresiva; es decir, dan algún tipo de aviso de que algo está fallando o en proceso de falla; estas advertencias son conocidas como fallas potenciales y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en proceso de ocurrir.

Para determinar cuándo ocurren estas fallas potenciales y hacer algo antes de que se conviertan en fallas funcionales, se utilizan diversas técnicas de diagnóstico que se conocen como tareas a condición, ya que los elementos se dejan operando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

El objetivo de una tarea a condición es hacer una inspección periódica que muestre el estado de una variable que indique deterioro, para tomar una acción que evite o mitigue el impacto de esta falla incipiente. Es decir, las tareas a condición permiten manejar de manera adecuada las consecuencias de las fallas, más que evitarlas.

Basado en lo anterior, la frecuencia de las tareas a condición no depende de la cantidad de fallas ocurridas, ni de la criticidad del activo, solo del tiempo que transcurre entre que la falla potencial es detectada y que la falla funcional ocurre, esto se conoce como el intervalo P-F.

El punto P es la condición inicial (punto en el que se puede descubrir que la causa de falla está ocurriendo— no relacionado con la edad) y el punto F es la falla funcional (donde se ha dejado de cumplir una función – tampoco necesariamente relacionado con la edad). Cuando se realizan tareas a condición se busca encontrar cualquier punto entre P y F que permita tomar una decisión apropiada para mitigar la consecuencia de la falla, es por eso que su frecuencia dependerá de este intervalo. El intervalo P-F es el tiempo que transcurre cuando se presenta un fenómeno físico, y por lo tanto no corresponde a cálculos estadísticos, ni probabilísticos. Ver figura 15.

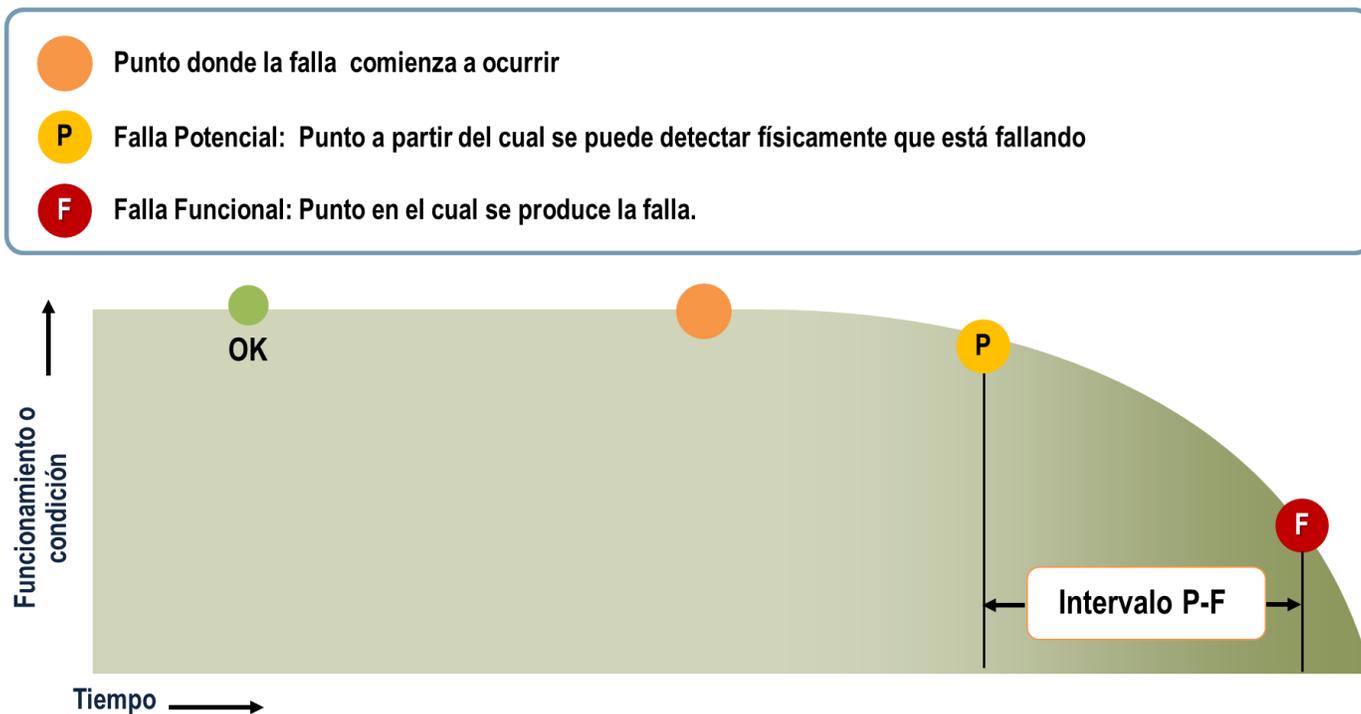


Figura 15. Intervalo P-F



Es recomendable que las tareas a condición o inspecciones se realicen a la mitad del intervalo P-F, como máximo, con el fin de poder tomar medidas oportunas. También es importante tener en cuenta que este intervalo y por ende la frecuencia de las tareas, dependen de la variable medida, en el caso de que se escoja una variable diferente o cambie la técnica de diagnóstico, el P-F cambiará y, así mismo la frecuencia.

Para ilustrar el proceso de definir tareas a condición y sus respectivas frecuencias se presentan los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1:

<p>Causa de falla: Rodamiento gastado</p> <p>Comportamiento: Aleatorio progresivo</p> 	<p>Patrón E</p> 
---	--

Datos de falla—rodamiento gastado:

- **Primera:** un año
- **Segunda:** cinco años después
- **Tercera:** tres años después.

Si una empresa decidiera cambiar este rodamiento cada tres años basándose en el cálculo del tiempo medio entre fallas utilizando estos datos: $[(1 + 5 + 3) / 3]$, correría el riesgo de que el rodamiento falle antes de cambiarlo (1 año) o de cambiarlo cuando todavía tiene vida útil (5 años). En este orden de ideas, la frecuencia no puede definirse basándose en los datos disponibles de falla, porque la falla no es cíclica, sino aleatoria.

El rodamiento muestra advertencias de que está fallando, tales como: ruido, aumento de vibración o aumento de temperatura. Estas variables pueden medirse antes que el elemento falle y deje de cumplir su función; en otras palabras, hay un periodo de desarrollo de la falla (intervalo P-F).

La mejor tarea en este caso es realizar una inspección que permita encontrar la falla incipiente durante su proceso de desarrollo, es decir ejecutar una tarea basada en condición.

Para este ejemplo, el grupo selecciona la técnica de vibraciones la cual puede detectar que el rodamiento comienza a vibrar por fuera de los valores normales hasta 4 meses (punto P) antes de fallar (Punto F). Este dato no tiene ninguna relación con las veces en las que ha fallado el rodamiento por desgaste.

Resultado: Inspeccionar los rodamientos del motor con análisis de vibraciones, cada 2 meses



Ejemplo 2:

Causa de falla: Aislamiento del bobinado húmedo



Comportamiento: Aleatorio progresivo

Patrón E



Esta causa de falla tiene un comportamiento aleatorio, por lo tanto la frecuencia de una tarea a condición para su manejo, no se define basándose en cuántos bobinados han fallado (por humedad en el aislamiento), sino en cuánto tiempo se tarda un bobinado en entrar en cortocircuito después que el valor de aislamiento disminuye de un valor de referencia.

Para este ejemplo el grupo de análisis considera la tarea a condición: inspección de la resistencia del aislamiento del bobinado del motor del molino. De acuerdo con la experiencia e información disponible para esta técnica de diagnóstico, se encuentra que su intervalo P-F es de 2 años.

Según estos datos, se establece para esta tarea una frecuencia anual (12 meses).

3.2.2 ESTRATEGIAS PARA FALLAS ALEATORIAS SÚBITAS

Sin embargo, no todas las causas de falla aleatorias son progresivas, algunas ocurren de manera imprevista y sin ninguna advertencia, como es el caso de los errores humanos, los factores externos, los fenómenos naturales o las fallas súbitas de algunos componentes y elementos electrónicos. En este caso, ni las tareas preventivas ni las tareas a condición serán adecuadas para su manejo pues, para el primer caso no hay una edad en la que aumente la probabilidad de falla, y para el segundo no hay una falla potencial detectable.

Para este tipo de fallas, la metodología RCM propone un grupo de estrategias conocidas como “acciones a falta de”, que incluyen procedimientos (mejora o elaboración), entrenamiento del personal, recomendaciones de repuestos en inventario, herramientas, rediseños sobre los activos, y pruebas de funcionamiento de dispositivos de protección.

Ejemplo 1

Causa de falla: Cable de potencia golpeado



Comportamiento: Aleatorio súbito

Patrón E



Al seguir un patrón aleatorio súbito se puede definir una estrategia (no periódica y por lo tanto sin frecuencia), como:

- Instalar una protección para el cableado
- Reubicar el cableado
- Dejar fallar y mantener el cable en el almacén de repuestos.



3.3 ESTRATEGIAS PARA FALLAS DE MORTALIDAD INFANTIL

Un número sorprendente de fallas ocurren cuando el activo es nuevo. Incluso, su condición podría estar en estado de falla tan pronto entra en servicio, o cuando vuelve a operar luego de una reparación.

Estas fallas son causadas usualmente por errores en el diseño, la fabricación o el montaje y son evidentes en la instalación o puesta en marcha del activo. Ver figura 16:

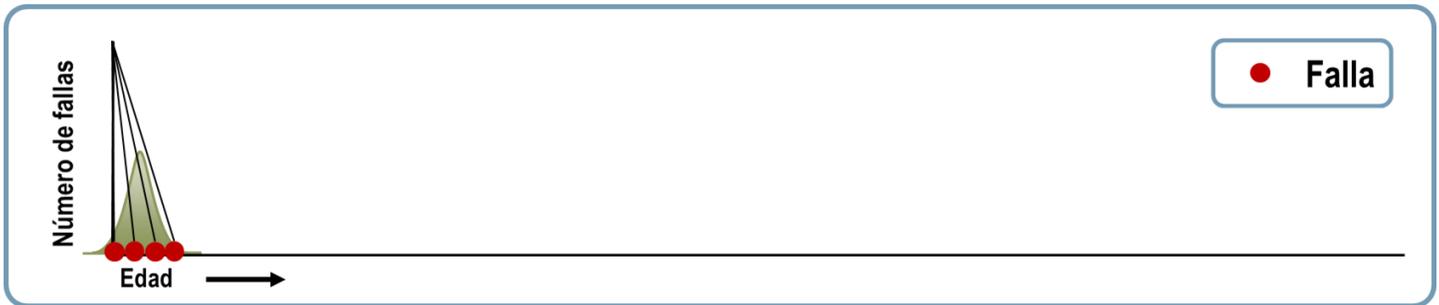


Figura 16. Fallas de mortalidad infantil

Las fallas de mortalidad infantil reflejan un alto incremento en la probabilidad de falla al inicio de la vida útil o del funcionamiento del elemento, tal como se presenta en la figura 17:

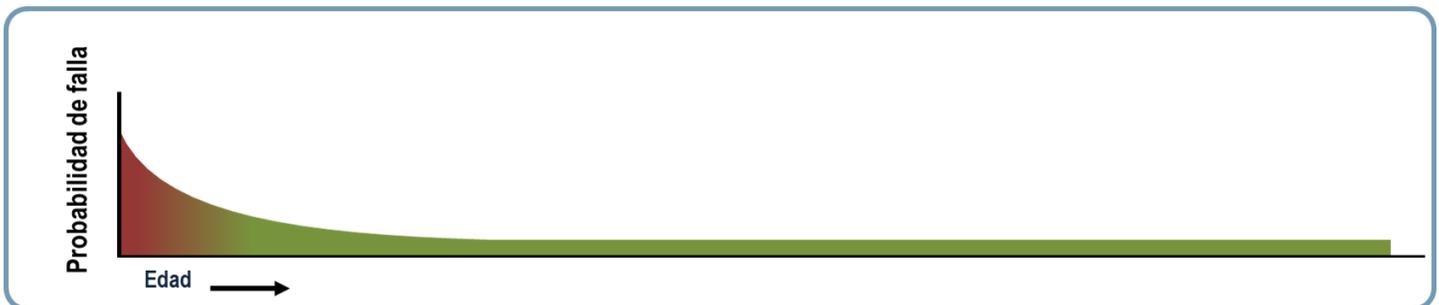


Figura 17. Probabilidad condicional de fallas de mortalidad infantil

A continuación se presenta un ejemplo:

Causa de falla: Fases del motor invertidas



Comportamiento: Mortalidad infantil

Patrón F



Al ocurrir típicamente después del montaje o de una intervención de mantenimiento, para estas causas de falla pueden definirse acciones “a falta de” como:



- Entrenar a los técnicos electricistas en la instalación
- Elaborar listas de verificación o procedimientos para la instalación del motor
- Marcar cables al desconectar, comprobar sentido de giro al conectar

En conclusión, un proceso de RCM bien aplicado cuenta con un método estructurado para definir las frecuencias de las tareas, teniendo en cuenta el tipo de intervención, las causas y los patrones de fallas. Lo que hace válida la selección de tareas, realizada con RCM es que introduce una relación entre los patrones de falla y las tareas de mantenimiento, y no realiza la selección de tareas basadas en suposiciones sino en un esquema lógico y técnicamente sustentado.

4. RECOMENDACIONES EN EL USO DE LAS FRECUENCIAS

La aplicación de una metodología como RCM, o cualquiera que se decida implementar, permite o debe permitir obtener un listado de tareas para manejar las causas de falla de los activos y mejorar su desempeño; sin embargo estas tareas por sí solas aun no constituyen un plan de mantenimiento, para ello deben ser agrupadas y configuradas en paquetes denominados actividades, que posteriormente se convertirán en órdenes de trabajo a ser ejecutadas.

El objetivo es garantizar que, de acuerdo con las frecuencias establecidas, se generen las órdenes de trabajo periódicamente y que estas actividades sean el resultado de aplicar claros conceptos de planeación y programación para que la implementación sea eficiente y se optimicen los tiempos de paro de los activos.

Esta agrupación dependerá de diferentes factores según el contexto, la estructura y las decisiones de cada organización, y pueden incluir aspectos como frecuencia, especialidad, duración total de la actividad, simultaneidad, requerimientos de detención de equipos, entre otros.

La frecuencia es el criterio más básico pues organiza en el tiempo un conjunto de actividades, en este caso es muy conveniente que las frecuencias de mantenimiento sean múltiplos entre sí, de esta manera es posible alinearlas en el tiempo y aprovechar adecuadamente las paradas del equipo.

Las frecuencias pueden estar asociadas al tiempo calendario o a las variables de control del activo, en la siguiente tabla varios ejemplos:

Variable de control	Frecuencia 1	Frecuencia 2	Frecuencia 3
Días transcurridos	Semanal (7 días)	Mensual (28 días)	Trimestral (86 días)
Horas trabajadas	250 h	500 h	1000 h
Kilómetros recorridos	6,000 km	12,000 km	24,000 km



De esta tabla se selecciona para ilustrar el concepto de alineación, la variable de control de horas de operación y se listan cada una de las tareas que deben ejecutarse sobre un activo con su respectiva frecuencia; en esta es posible visualizar los tiempos en los que se repite cada tarea de acuerdo con su frecuencia (X):

Tarea	Frecuencia	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000
Cambio de aceite motor	500 horas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cambio de filtro aceite	500 horas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cambio filtro aire	1,000 horas		x		x		x		x		x		x
Cambio filtro combustible	1,000 horas		x		x		x		x		x		x
Cambio aceite transmisión	2,000 horas				x				x				x
Cambio aceite sistema hidráulico	4,000 horas								x				

Al partir de un listado de este tipo, en términos generales hay dos posibilidades de agrupar las tareas en actividades (que serán a su vez las órdenes de trabajo) basado únicamente en la frecuencia:

Agrupando las tareas de la misma frecuencia:

El resultado es un total de 4 actividades que consideran:

Actividad	Tarea	Frecuencia	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000
A1	Cambio de aceite motor	500 horas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Cambio de filtro aceite	500 horas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
A2	Cambio filtro aire	1,000 horas		x		x		x		x		x		x
	Cambio filtro combustible	1,000 horas		x		x		x		x		x		x
A3	Cambio aceite transmisión	2,000 horas				x				x				x
A4	Cambio aceite sistema hidráulico	4,000 horas								x				

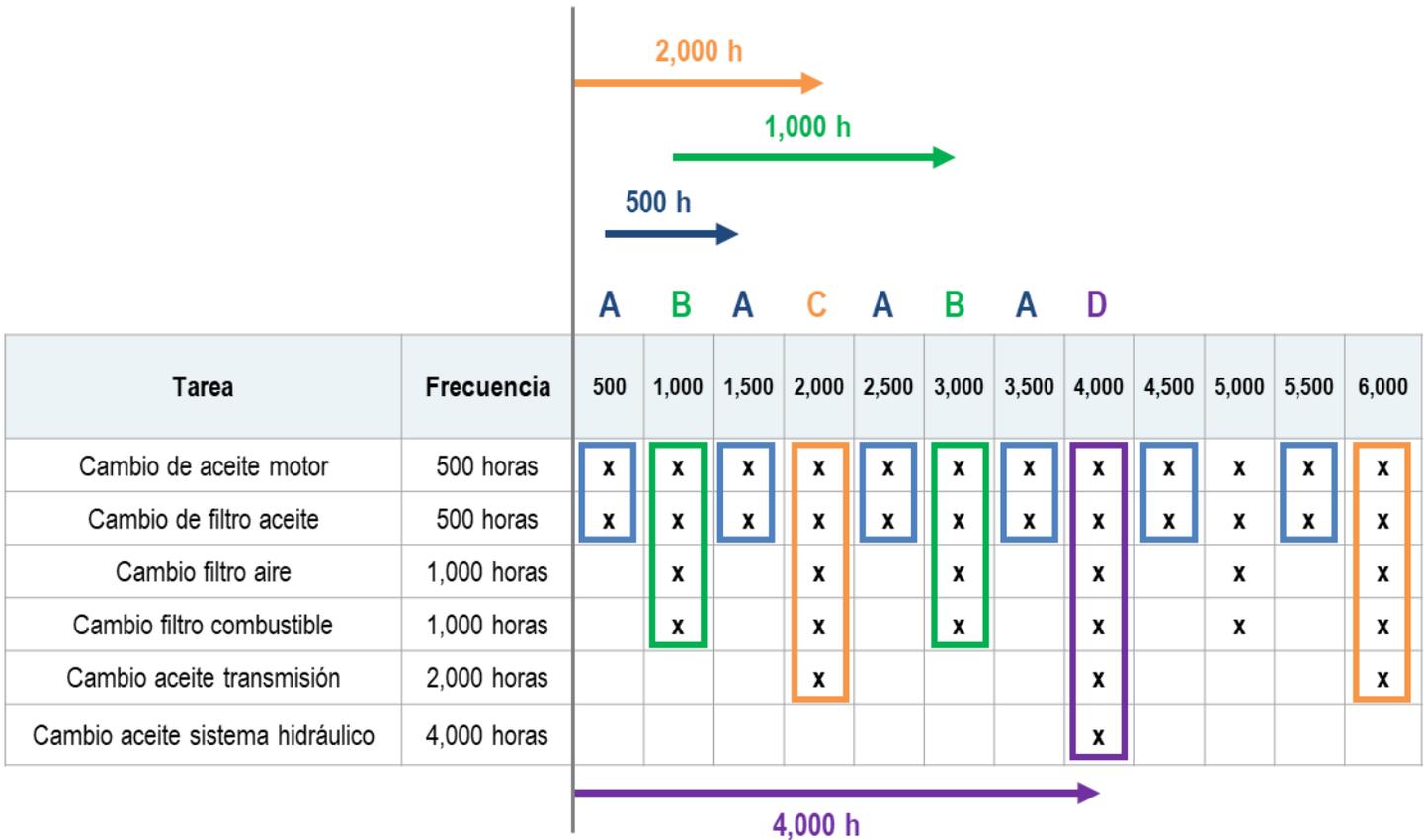
- Actividad A1: Frecuencia 500h: Cambio de aceite motor y filtro
- Actividad A2: Frecuencia 1,000h: Cambio de filtro aire y de filtro de combustible
- Actividad A3: Frecuencia 2,000h: Cambio de aceite transmisión
- Actividad A4: Frecuencia 4,000h: Cambio de aceite de sistema hidráulico

Al aplicar este tipo de agrupación:

- Las tareas de cada actividad se realizan a la misma frecuencia independientemente del cumplimiento en la ejecución de las demás actividades
- Cuando se cumple una frecuencia en la cual se alinean varias actividades, se generan varias órdenes de trabajo, una por cada actividad.



Agrupando las tareas que se ejecutan simultáneamente:



En este caso, se generan actividades que agrupen todas las tareas que coinciden cada vez que se cumple una frecuencia, y así se obtienen:

- Actividad A, frecuencia 500h con las tareas de cambio de aceite motor y filtro
- Actividad B, frecuencia 1,000h actividad A más cambio de filtro aire y filtro de combustible
- Actividad C, frecuencia 2,000h actividad B más cambio de aceite transmisión
- Actividad D, frecuencia 4,000h actividad C más cambio de aceite sistema hidráulico

Bajo este escenario:

- Se genera una sola orden de trabajo cuando se cumplen las frecuencias múltiplo de las tareas.
- Las tareas de la actividad A están incluidas en todas las demás actividades, por lo tanto es necesario definir si la tarea “cambio de aceite motor” va después de una actividad B o C o D.
- Es necesario mantener una secuencia específica en la proyección del plan de mantenimiento, para no afectar todo el plan sino se ejecuta a tiempo una de las actividades.

En este proceso de decisión no hay una única respuesta y le corresponde a cada organización, identificar las diferentes implicaciones que tiene para sus procesos de ejecución e incluso de registro y obtención de datos, la agrupación de las tareas en actividades.



BIBLIOGRAFÍA

- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance (RCM)* (2nd ed.). Industrial press.
- Nowlan, S., & Heap, H. (1978). *Reliability Centered Maintenance- Original Report*. National Technical Information Service.
- SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. (1999, Aug). Society of Automotive Engineers.
- SAE JA1012. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. (2011). Society of Automotive Engineers.
- Cursos de The Aladon Network: Introductorio de RCM2, Facilitadores de RCM2, Practitioners de RCM2.
- Cursos de Soporte y Compañía: Seminario ejecutivo de RCM2, Definición de planes de mantenimiento.

AUTOR

Carlos Mario Pérez Jaramillo

Ingeniero mecánico. Especialista en sistemas de información. Especialista en gestión de activos y gerencia de proyectos. Máster en gestión de proyectos, negocios y administración de activos físicos.

Practitioner principal de The Aladon Network. Certificado como Endorsed assessor de The Institute of Asset Management.

Asesor y consultor de dirección y gerencia de mantenimiento, instructor en RCM, confiabilidad, análisis de fallas, planeación y programación de mantenimiento, costos, indicadores de gestión de mantenimiento, análisis del costo del ciclo de vida y evaluación de la condición.

Laura Córdoba Uribe

Ingeniera ambiental. Auditora líder de sistemas de gestión de activos—ISO55001, certificada en gestión de activos como Certificate de The Institute of Asset Management. Ha participado en el desarrollo de diagnósticos, planes de acción y procesos de implementación de modelos de gestión de mantenimiento y de activos en organizaciones de diferentes sectores en Colombia, México y España.

Ha participado en el desarrollo y actualización de contenidos de entrenamientos en gestión de mantenimiento en temas de: gerencia de mantenimiento, planeación y programación, análisis de causa raíz, gestión de inventarios y repuestos, análisis del costo del ciclo de vida, evaluación de la condición, presupuestos e indicadores de mantenimiento.