

# Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo

Autora:  
Carolina Altmann

El presente trabajo aborda, luego de una breve introducción a las Estrategias de Mantenimiento, las distintas Técnicas de Monitoreo de Condición, su campo de aplicación y su sensibilidad, así como también los aspectos más importantes a tener en cuenta para diseñar una Estrategia Proactiva.

La influencia de las buenas prácticas de Mantenimiento, en la Confiabilidad Operacional, las cuales no deben ser olvidadas a la hora de implementar técnicas de Monitoreo de Condición.

## 1. Introducción

- La *función del Mantenimiento*: es asegurar que todo Activo Físico continúe desempeñando las funciones deseadas.
- El *objetivo de Mantenimiento*, es asegurar la competitividad de la Empresa, garantizando niveles adecuados de la Confiabilidad y Disponibilidad de los equipos, respetando los requerimientos de calidad, seguridad y medioambientales.
- *Confiabilidad*: probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas.

## 2. Modos de falla y análisis de consecuencias (FMEA)

La definición exacta de la Función deseada en el Activo, determinará los objetivos de Mantenimiento, en cuanto a Confiabilidad y Disponibilidad requeridos para el mismo, y en éste medida también determinará las Estrategias de Mantenimiento a aplicar, para alcanzar dichos objetivos.

Dos activos iguales, no necesariamente requerirán el mismo Plan de Mantenimiento, como puede llegar a suceder, en el caso de que operen en condiciones operativas muy dispares o bajo regímenes operacionales muy distintos.

Se define, un *modo de falla* es un evento que causa una *falla funcional* o pérdida de función.

Una vez que se ha identificado el *Modo de Falla*, se debe analizar qué pasa cuando éste ocurre, es decir qué *efectos* o síntomas se manifiestan en el activo, y decidir de acuerdo a las *consecuencias* que presenta éste Modo de Falla, qué acciones se tomarán, ya sea para anticipar y prevenir, corregir o detectar la falla, según resulte más conveniente, o eventualmente en última instancia rediseñar el equipo.

Puede suceder que diferentes Modos de Falla generen iguales Efectos en el equipo, esto dificulta el diagnóstico y detección de la causa de falla, debiendo tener que aplicar métodos estructurados para búsqueda de falla, tales como el Análisis de Causa Raíz.

Los Modos de Falla, pueden ser agrupados, según sean causados por:

- Desgaste y deterioro
- Errores humanos en la ejecución de las tareas de Mantenimiento, y/o en la operación del equipo
- Problemas de diseño.

Realizar éste análisis permite seleccionar las Estrategias de Mantenimiento más adecuada a cada Equipo en su contexto operacional.

Por ejemplo: El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), utiliza el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), dentro de un procedimiento para encontrar el Plan de Mantenimiento más costo-eficaz que asegure la Confiabilidad mínima requerida por la Empresa, dentro del contexto operativo particular.

Tal como lo señala Moubray en su libro RCM2, existen 6 patrones de falla en la maquinaria actual.

A continuación, se presentan los gráficos de la probabilidad de falla en función de la edad operacional.

En los casos A, B y C se observa que la probabilidad de falla aumenta con la edad operacional, éste comportamiento es consecuencia del desgaste y se presenta en componentes que están en contacto directo con algún fluido.

En cambio los patrones D, E, y F no presentan relación alguna entre la confiabilidad y la edad operacional, más propios de componentes electrónicos y eléctricos.

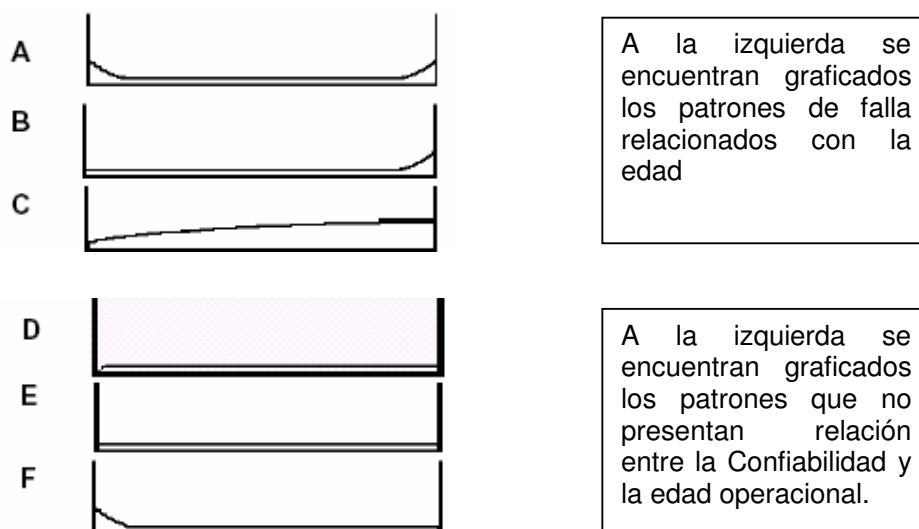


Figura N° 1. Patrones de falla, según Moubray

Los efectos de las falla describen qué pasa cuando ocurre un Modo de Falla, y cómo afecta la misma, al propio Equipo y al resto de las Instalaciones. El FMEA, se utiliza para establecer si es necesario realizar un Mantenimiento Proactivo, dependiendo de las consecuencias de la falla, ya sean operacionales, no operacionales o de Seguridad y Medio ambiente, que tenga el Modo de Falla.

En ésta medida, se puede mencionar que el *Mantenimiento Proactivo*, es aplicable únicamente cuando existen Modos de Falla relacionados con:

- La Edad Operacional
- Errores humanos
- Problemas de diseño

Tal como, se mencionaba anteriormente, de acuerdo a las consecuencias de la falla, se tendrá que evaluar incorporar un sistema o equipo redundante, si dichas consecuencias, son intolerables desde el punto de vista de:

- La seguridad de las personas
- El impacto en el medioambiente
- La seguridad de los equipos y/o instalaciones

En la mayoría de los componentes eléctricos y electrónicos, la falla se presenta, sin que haya ninguna característica, detectable que se puede monitorear, que indique un indicio de la misma.

Estos son los casos, en que no es aplicable, ni el mantenimiento preventivo, ni el predictivo, ni el proactivo, únicamente será útil aplicar un mantenimiento detectivo; es decir inspecciones orientadas a detectar la presencia o no del estado de falla en el sistema o componente.

Ninguna tarea de Mantenimiento podrá modificar la tasa de fallas de éstos ítems, que poseen una confiabilidad inherente de diseño, en general constante a lo largo, de gran parte de su vida útil, caso modos de fallas: D, E y F.

De acuerdo al tiempo para la falla característico de cada uno éstos componentes, se tendrá que dimensionar la frecuencia de las inspecciones detectivas.

### ***3. Estrategias de Mantenimiento***

#### **3.1 Mantenimiento Predictivo**

Se enfoca a los síntomas de falla, utilizando distintas técnicas:

- Análisis de lubricantes
- Análisis de vibraciones
- Ensayos no destructivos:
- inspección visual, tintas penetrantes, partículas magnéticas, radiografías, ultrasonido, termografía infrarroja, etc.
- Análisis de corriente en máquinas eléctricas.

#### **3.2 El Monitoreo de Condición**

De forma similar que el Mantenimiento Predictivo, se enfoca también a los efectos o síntomas de las fallas, utilizando distintas técnicas para monitorear el performance de un equipo, a través de la medida y seguimiento de determinados parámetros físicos, para lograr anticiparse a la falla:

- Inspecciones de la maquinaria con los sentidos:
  - Inspección visual
  - Olor
  - Ruidos anormales
  - Vibraciones
  - Temperatura
- Inspecciones de la maquinaria a través de Ensayos No Destructivos:
  - Inspección visual
  - Inspección por ultrasonido
  - Partículas magnéticas
  - Radiografías
  - Tintas penetrantes
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria: Vibraciones

- Monitoreo de la Temperatura
- Inspección mediante Termografía Infrarroja
- Monitoreo de espesores, mediante ultrasonido
- Monitoreo de partículas de desgaste en los aceites
- Monitoreo de la condición del lubricante
- Análisis de corrientes en máquinas eléctricos
- Medición del desempeño de equipos:
  - Presión
  - Caudal
  - Potencia entregada
  - Consumo eléctrico
  - Consumo de combustible

El mayor beneficio, es lograr una alerta temprana, de manera de programar una intervención correctiva, lo cual genera una disminución de las fallas catastróficas, y un consecuente aumento de la disponibilidad, y reducción de costos de reparación.

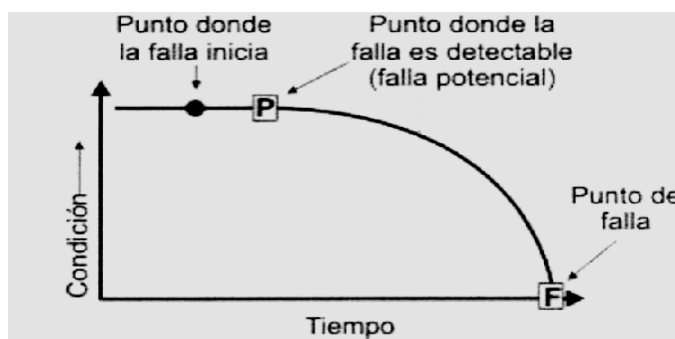


Figura I: Intervalo P – F.

*Período P-F:* Es el Intervalo de tiempo entre que se detecta la falla potencial y se convierte en una falla funcional.

Ante una misma falla, cada técnica de monitoreo posee su intervalo P-F característico, y que determinará la frecuencia óptima de inspección, como un tercio del intervalo P-F.

Cada técnica posee su campo de aplicación, donde es mayor su poder de detección, así como también la aplicación combinada de varias técnicas puede potenciar y complementar su eficacia.

Por ejemplo, en el caso de cajas de engranajes, tanto se podría aplicar el monitoreo de condición, a través de análisis de vibraciones, como por análisis de aceite, pero indudablemente el análisis de aceite permitirá detectar, una falla en forma más temprana, ya que el aumento en la tendencia de contenidos de desgaste se pondrá de manifiesto, antes de que se produzca un incremento en los niveles de vibración del equipo.

Para cada caso, hay que seleccionar la técnica más apropiada que posea el intervalo P-F más conveniente, y diseñar la frecuencia de monitoreo de forma adecuada, de manera que exista un intervalo de tiempo tal, que cuando es detectada una falla potencial, siempre sea posible programar y ejecutar una intervención correctiva, de otra forma no tiene sentido aplicar el Monitoreo de Condición.

Un correcto Plan de Monitoreo de Condición requiere establecer dos tipos de alarmas:

- Alarmas Absolutas
- Alarmas Estadísticas

Las alarmas absolutas son límites condenatorios, en algunas ocasiones, son suministrados por el propio fabricante del equipo, o pueden estar dados por una norma, en el caso de valores globales de velocidad de vibración: norma ISO 10816/1.

En cambio, las alarmas estadísticas, son tendencias que están basadas en los propios valores históricos registrados en el equipo a lo largo del tiempo.

Es importante mencionar que ni el Mantenimiento Preventivo, ni el Monitoreo de Condición intervienen sobre la Causa de la Falla, por lo tanto no afectan la Tasa de Fallas y la Confiabilidad del equipo.

### 3.3 Mantenimiento Proactivo

Utilizando básicamente las mismas herramientas que el Monitoreo de Condición, el Mantenimiento Proactivo, se enfoca a eliminar y/o disminuir las consecuencias de las fallas, y a extender la vida útil de las máquinas, **buscando eliminar o minimizar las causa de falla.**

## 4. Plan de Monitoreo de Condición

*¿Cuándo se aplica el Monitoreo?*

Siempre que exista la Técnica, a través de la cual se pueda monitorear y controlar la “salud” del equipo, y su costo de realización, sea menor que el impacto (Operacional, en la Seguridad de las personas e instalaciones, en el Medioambiente) que produce la falla.

El primer paso, para diseñar el Plan de Monitoreo de Condición, es realizar una evaluación de criticidad de los equipos, en categorías A, B y C.

Teniendo en cuenta, el impacto de una falla en:

- La seguridad de las personas e instalaciones
- En el medioambiente
- En la operación del equipo y del resto de las instalaciones, en el caso de que el equipo, una detención del equipo paralice todo el proceso productivo.

Realizar la evaluación de criticidad es importante, ya que sólo los equipos más críticos, en los cuales sus fallas generan mayor impacto, justificarán la implementación de Técnicas de Monitoreo más costosas.

*¿Cómo se selecciona la Técnica?*

Cada técnica de Monitoreo de Condición posee un área de aplicación, donde su sensibilidad es máxima.

También es posible, utilizar varias técnicas en forma combinada para complementar e incrementar su poder de detección.

**A continuación, se presentan algunos ejemplos de Técnicas de Monitoreo, que se pueden aplicar, por clase de equipos:**

- Bombas centrífugas: Inspecciones con los sentidos, Análisis de vibraciones, medida de Temperatura, Monitoreo del performance
- Bombas hidráulicas: Inspecciones con los sentidos, Análisis de aceite, Medida de Temperatura, Monitoreo del performance
- Cañerías: Medición de espesores, inspección visual remota, y detección de fugas por ultrasonido.
- Recipientes a presión: Medición de espesores, prueba hidráulica, inspección radiográfica, remota y por ultrasonido
- Compresores de tornillo: Inspección con los sentidos, Análisis de aceite, análisis de vibraciones, termografía. Monitoreo del performance, Detección de fugas por ultrasonido
- Motores eléctricos: Análisis de vibraciones, termografía, condiciones eléctricas, etc.
- Motores y compresores recíprocantes: Inspecciones con los sentidos, Análisis de aceite, Monitoreo del desempeño

La técnica que es aplicable en la mayoría de los casos es la: Inspección con los sentidos y abarca las siguientes tareas:

- Detección de ruidos anormales
- Detección de olores anormales
- Medida de temperatura
- Medida de nivel de vibraciones
- Inspección auditiva en busca de pérdidas de fluidos: aire, gases comprimidos, vapor.
- Inspección visual en busca de daños y fisuras en estructuras y mecanismos.
- Inspección visual en busca de juegos anormales en mecanismos
- Inspección visual en busca de fugas de aceite

La inspección con los sentidos, es quizás la técnica más olvidada y más subestimada de las Técnicas de Monitoreo, pero posee mucho potencial, cuando se realiza en forma metódica y profesional, por parte de Técnicos especializados y experimentados, puede resultar muy útil.

Obviamente con menor sensibilidad que las técnicas correspondientes que utilizan instrumentos de medición, la inspección con los sentidos, combinada con instrumentos de detección simples, puede convertirse en una herramienta muy poderosa de un Plan de Monitoreo de Condición, con la mejor relación costo-beneficio.

Para el caso de Equipos clase B y C, que no presentan consecuencias que justifiquen la utilización de técnicas más complejas y costosas, y para los cuales ciertas metodologías para elección de Planes de Mantenimiento, recomendarían realizar Mantenimiento Correctivo, es decir operar hasta la falla, puede llegar a existir una gran oportunidad de mejora, y de reducción de costos, ya que en éstos casos sí, se podría justificar la aplicación de un Plan de Monitoreo, utilizando básicamente inspecciones con los sentidos, frente a no realizar ninguna intervención de Mantenimiento.

El costo de las inspecciones con los sentidos, realizándose con el equipo en funcionamiento, es únicamente la fracción de tiempo, que el Técnico dedica a dicha inspección.

Habrá que evaluar para cada Modo de Falla, y de acuerdo a la frecuencia de inspección, el costo de inspeccionar con los sentidos a lo largo del período correspondiente al Tiempo promedio para la falla, en comparación con el costo de

las consecuencias de las fallas: reparación no programada, más el lucro cesante, más pérdidas de producción.

Eventualmente también se podría diseñar un Plan de Monitoreo con los sentidos, complementado con otras técnicas más complejas, para aplicar, una vez detectada una magnitud fuera del rango admisible.

Esto colaboraría en el diagnóstico primario, con un análisis más detallado, utilizando las Técnicas más adecuadas en cada caso, para poder encontrar la Causa Raíz del problema.

No se debe olvidar, que *la sola aplicación de un Plan de Monitoreo de Condición, no implica la Mejora de la Confiabilidad*, no sólo porque el Monitoreo de Condición se enfoca únicamente a las consecuencias de las Fallas, sino también por el grado de efectividad de las Acciones Correctivas.

Cuando a través del Monitoreo, se detectan magnitudes fuera de sus límites condenatorios, es necesario Programar y Planificar una Acción Correctiva, para reparar la falla.

La efectividad y calidad de la Acción Correctiva, es fundamental para:

- Eliminar definitivamente la Causa Raíz de la Falla
- No incluir errores humanos, que ocasionen fallas adicionales por mortalidad infantil luego de la reparación, y que disminuyan la Confiabilidad.

## 5. La mejora de la Confiabilidad

El objetivo de Mantenimiento es *asegurar la competitividad de la Empresa*, en esa medida es necesario aumentar la confiabilidad de los equipos; es decir disminuir la cantidad de fallas que generan interrupciones no programadas, de manera de poder entregar la disponibilidad requerida por operaciones.

Se define la *Confiabilidad Operacional (CO)* como la capacidad de una Instalación o un sistema integrado por: procesos, tecnología, y gente para cumplir su función dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

La *Confiabilidad Operacional* está determinada por los siguientes factores:

- Confiabilidad de Equipos
- Mantenibilidad de Equipos
- Confiabilidad Humana
- Confiabilidad de Procesos

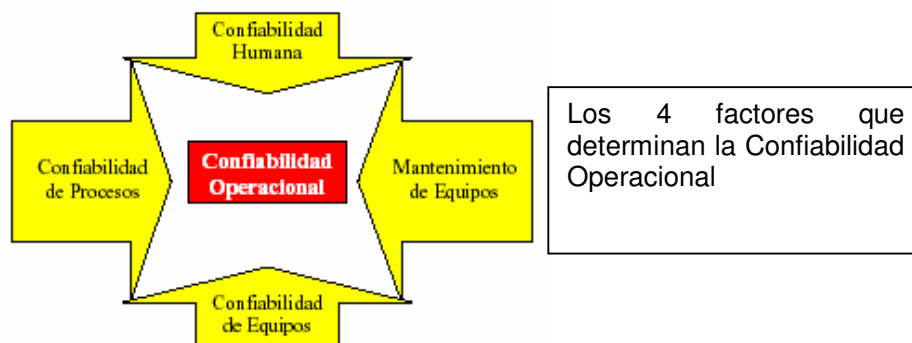


Figura N° 2. Factores que determinan la Confiabilidad Operacional

El Plan de Monitoreo, debe diseñarse sin olvidar, cómo afecta a la Confiabilidad Operacional, no sólo la Confiabilidad y Mantenibilidad de los Equipos, sino también la Confiabilidad Humana y la Confiabilidad del Proceso.

Para lograr mejorar la Confiabilidad, el Plan de Monitoreo, debe ir de la mano de aplicación de:

- Buenas prácticas de lubricación
- Buenas prácticas de montaje y desmontaje

Las cuales garantizarán la efectividad y calidad de las reparaciones realizadas.

En ésta medida, los siguientes factores son claves, para lograrlo:

- Sistemas de capacitación y desarrollo de los Técnicos, que permitan involucrar y motivar al Personal
- Los procedimientos para intervenciones mayores de Mantenimiento.
- Instructivos para tareas de críticas de Mantenimiento

A su vez, se debe promover la utilización de las propias técnicas de Monitoreo, para el diagnóstico eficaz, de forma de solucionar las fallas de raíz, eliminar las fallas repetitivas, y así mejorar la Confiabilidad.

Además el Plan de Monitoreo, puede ayudar a:

- Realizar control de calidad de las intervenciones realizadas
- Detectar malas prácticas operativas, las cuales deben ser corregidas de inmediato.

La sobreexigencia de los equipos, ocasiona un deterioro acelerado e incremento de fallas en los mismos, y es uno de los principales males que sufre el área de Mantenimiento.

Para eliminar las malas prácticas operativas, hace falta mucho trabajo conjunto con el área de Operaciones:

- Concientización de las esferas Gerenciales del área Producción - Operaciones
- Diseño de Procedimientos e instructivos de operación
- Capacitación continua a los operadores de los equipos
- Implementación de un sistema de control de la operación

Son factores clave, para lograr la mejora de la Confiabilidad.

## ***6. Conclusiones***

La implementación de un Plan de Monitoreo de Condición, mejorará la Disponibilidad, por la anticipación a la falla, y la mejora en la Planificación, pero no mejorará de por sí, la Confiabilidad sino se trabaja en conjunto con el área de Operaciones, en los demás factores que afectan la Confiabilidad Operacional:

- Confiabilidad del Proceso, en lo que respecta a Procedimientos, Instructivos, tanto en la parte de Operación, como de Mantenimiento.
- Confiabilidad Humana, en lo que respecta a Planes de capacitación y desarrollo, para lograr la colaboración y motivación, por parte de operadores y Técnicos.

- Mantenibilidad de los Equipos, en lo que respecta a la efectividad y calidad de las intervenciones de Mantenimiento. Fomentando la aplicación de las buenas prácticas de Mantenimiento.

A su vez, Técnicas tales como el Análisis de Causa Raíz, son sin lugar a dudas, una herramienta muy poderosa, para ayudar a encontrar las fallas complejas, y eliminar las fallas repetitivas, para así, lograr aumentar la confiabilidad.

## Bibliografía

- Administración Moderna de Mantenimiento – Lourival Tavares
- ¿Cómo Mejorar la Confiabilidad de un Sistema Complejo? – Carolina Altmann
- Modelos Mixtos de Confiabilidad – Améndola.
- ¿Qué es la Confiabilidad Operacional?, Bernardo Duran. Revista Club de Mantenimiento, N° 2.
- RCM 2 – J.M Moubray

## La autora

Carolina Altmann

Especialista en Mantenimiento, cuenta con más de 10 años de experiencia en la Gestión de Mantenimiento, con un Postgrado en Gestión de Mantenimiento, por la Universidad Nacional de Mar del Plata, actualmente en curso.

Especialista en Project Management, por la Facultad Regional de Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional.

Ha realizado varios seminarios de especialización en Mantenimiento, tales como: Índices de Mantenimiento, Auditorias de Mantenimiento, Lubricantes y lubricación, Sistemas de Filtración, Jornadas de Ensayos No Destructivos, Seminario de Mantenimiento Proactivo y Análisis de aceite, OIM: Organización Integral del Mantenimiento, Planificación de Mantenimiento, Estudio de las Fallas y su Origen, Fundamentos de la Inspección de Soldaduras, así como también ha participado del Taller de Seguridad y Salud Ocupacional en los Puertos.

Expositora del 1<sup>er</sup> Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Abr-05

Expositora del 2<sup>do</sup> Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Ago-06.

Conferencista invitada del XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Mantenimiento, Dic-06.

Expositora del 3<sup>er</sup> Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Ago-07.

Expositora del Congreso de Inspección, Evaluación e Integridad del Equipamiento Industrial, organizado por AENDUR-IEM, Nov-07.

Expositora del 4<sup>to</sup> Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Sep-08.

Autora de trabajos técnicos: [www.aceim.org](http://www.aceim.org), [www.asboman.com](http://www.asboman.com), [www.uruman.org](http://www.uruman.org), [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com), [www.clubdemantenimiento.com.ar](http://www.clubdemantenimiento.com.ar)

Ha impartido Conferencias sobre Confiabilidad y Análisis de Causa Raíz, en Uruguay y Chile.

Se ha desempeñado como Asistente Técnico y como Responsable de Mantenimiento de importantes Empresas en el Uruguay.

Actualmente se desempeña como Jefe de Proyectos Industriales de una Planta Embotelladora.

Miembro de la Comisión Directiva de URUMAN, desde Ago-06.

Coordinadora Regional del COPIMAN, desde Nov-04

Email: [caltmann@adinet.com.uy](mailto:caltmann@adinet.com.uy)

Cel: + (598) 99 798 732