

# El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad

Autora:  
Carolina Altmann

El presente trabajo presenta la importancia del análisis de Causa Raíz (RCA) como herramienta para la mejora de la Confiabilidad, a la hora de llevar adelante una Estrategia de Mantenimiento Proactivo.

Frente a un caso particular de un sistema complejo, tal como un equipo de barrido mecánico diesel-hidráulico montado sobre un camión simple, el cual presentaba muy baja Confiabilidad Operacional (CO), se mostrará como aplicando el análisis de Causa Raíz, se logró aumentar la Confiabilidad.

## 1. Confiabilidad Operacional

### 1.1 Confiabilidad y Mantenimiento Proactivo

La función del Mantenimiento es asegurar que todo Activo Físico continúe desempeñando las funciones deseadas.

El objetivo del Mantenimiento es asegurar la competitividad de la Empresa, asegurando niveles adecuados de confiabilidad y disponibilidad, al mismo tiempo que garantiza los niveles de calidad, de seguridad y de medio ambiente requeridos. La Confiabilidad es la probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas.

La filosofía del Mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria, en esa medida el análisis de Causa Raíz permitirá descubrir el evento indeseable o causa raíz que ocasiona la falla. Al eliminarlo no sólo se aumenta la confiabilidad, la seguridad y por lo tanto la disponibilidad, sino también se aumenta la eficiencia y productividad de Operaciones y de la Empresa, al mismo tiempo que se disminuyen los costos de Mantenimiento.

### 1.2 Análisis de Modos de falla y sus Efectos (FMEA)

La definición de la función deseada de un Activo, define los objetivos de Mantenimiento respecto del mismo.

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, hay que analizar qué pasa cuando ocurre, es decir las consecuencias en el activo y decir qué se hace para anticipar y prevenir, corregir o detectar la falla o rediseñar el equipo.

Diferentes modos de falla pueden generar iguales síntomas.

Los modos de falla pueden ser causados por:

- Desgaste y deterioro
- Errores humanos
- Problemas de diseño

El FMEA permite seleccionar la apropiada estrategia de Gerenciamiento de Fallas. Tal como lo señala Moubray en su libro RCM2, existen 6 patrones de falla en la maquinaria actual.

A continuación está graficada 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 más común en componentes que están en contacto directo con algún material o fluido. En cambio los patrones D, E, y F no presentan relación entre la confiabilidad y la edad operacional

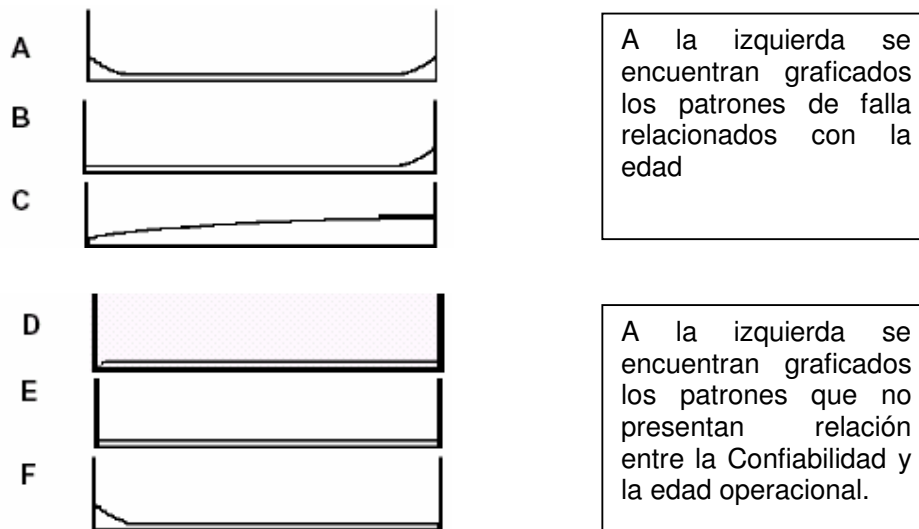


Figura N° 1. Patrones de falla, según Moubray

Las consecuencias de falla describen lo que pasa cuando ocurre un modo de falla, el objetivo de éste análisis es establecer si es necesario realizar un Mantenimiento Proactivo, dependiendo de las consecuencias operacionales o de Seguridad que tenga el modo de falla.

## 2. Confiabilidad Operacional

Se entiende por *Confiabilidad Operacional (CO)*, a 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.

El concepto de Confiabilidad Operacional lleva implícito un enfoque sistémico basado en el conocimiento para la eliminación de las causas de falla, tanto humanas, como de equipos, como de procedimientos, para poder eliminar los actores de baja confiabilidad que afectan a los procesos críticos y la rentabilidad total de la Empresa.

La Confiabilidad Operacional depende de los siguientes factores:

➤ **Confiabilidad Humana**

Se requiere de un alto Compromiso de la Gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivación de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos.

➤ **Confiabilidad de los Procesos**

Implica la operación de equipos entre parámetros, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos, y el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.

➤ **Mantenibilidad de equipos**

Es decir la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un período de tiempo determinado.

Depende de la fase de diseño de los equipos (Confiabilidad inherente de diseño), de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir a través del indicador TMRP: Tiempo Medio Para Reparar.

➤ **Confiabilidad de equipos**

Determinada por las Estrategias de Mantenimiento, la efectividad del Mantenimiento.

Se puede medir a través del indicador TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

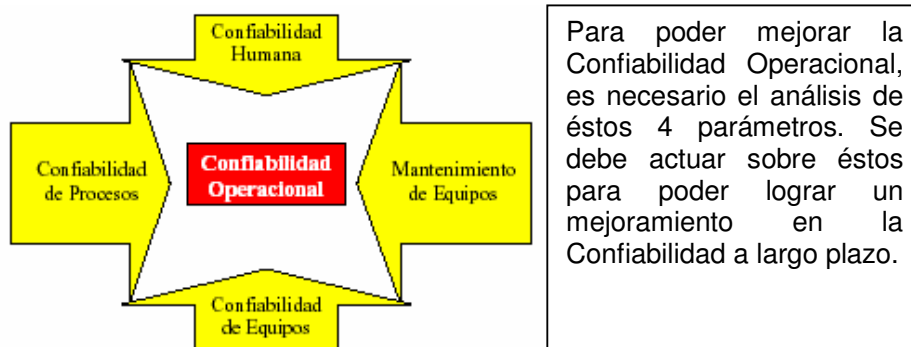


Figura N° 2. Factores que determinan la Confiabilidad Operacional

El enfoque de la cultura de la Confiabilidad Operacional permitirá entre otras cosas:

- Solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones, que afectan los costos y la efectividad de Operaciones
- Determinación de tareas que permitan minimizar los riesgos de los procesos, equipos, y medio ambiente.

Para poder implementar una mejora sostenida, se debe aplicar el ciclo de Control para el mejoramiento, el aseguramiento de la calidad y mejora continua, el cual se basa en el ciclo de control.



- **Planear** la actividad que determina que es lo que se debería hacer, cual son los Objetivos y cómo se pueden alcanzar
- **Ejecución**, es decir transformar los procesos actuales con el fin de mejorar el desempeño de acuerdo a lo planeado.
- **Controlar** el grado de cumplimiento de las actividades planeadas y metas de desempeño
- **Planear**, realizar los ajustes necesarios a los procedimientos

Figura N° 3. Sistema de Administración

Para llevar adelante un proceso de mejoramiento, primero se debe evaluar la situación particular, planificar las acciones a seguir, plantear los objetivos, y establecer los indicadores adecuados mediante los cuales se realizará el control y seguimiento. En base al grado de cumplimiento de los objetivos se tendrán que realizar las acciones correctivas necesarias para poder alcanzarlos y generar la mejora continúa.

### 3. Introducción al Análisis de Causa Raíz

Cuando ocurre una falla, ésta se percibe a través de ciertas manifestaciones o síntomas, no así la causa de falla. Esto lleva en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, de modo que la falla vuelve a repetirse una y otra vez.

A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas.

El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias

Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de falla de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de Causa de Raíz (RCI), ésta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- Análisis de Causa Raíz (RCA), ésta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o *raíces físicas* y analizar las acciones humanas o *raíces humanas* que desataron la cadena causa –efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz *raíces latentes*, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso más allá del Mantenimiento:

- Análisis de Fallas, para encontrar fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva
- Análisis de Fallas recurrentes de equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación Proactiva.
- Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), el cual se utiliza también en el RCM2.
- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes, en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SySO).

El análisis de Causa Raíz es un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto que nos conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, preguntándonos:

- ¿cómo? es la forma que puede ocurrir una falla
- ¿por qué? o cuales son las causas de la misma

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

Se utilizan gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema y datos disponibles:

- Análisis causa-efecto
- Árbol de fallo
- Diagrama de espina de pescado
- Software de RCA que ayudan a la construcción del árbol de fallos y a la documentación del proceso

Los beneficios de la aplicación de ésta poderosa herramienta son:

- Reducción del número de incidentes o fallas
- Aumento de la Confiabilidad y Seguridad
- Disminución de los costos de Mantenimiento
- Aumento de la Eficiencia y la Productividad

#### *4. Caso Particular: Equipo de Barrido Mecánico*

Caso particular: equipo para barrido mecánico diesel-hidráulico montado sobre un camión simple con relativamente muy poco tiempo de utilización, sin redundancia, es decir un equipo crítico, desde el punto de vista del impacto operacional y el Servicio al Cliente

Este equipo presentaba desde que comenzó a operar muy baja Confiabilidad:

- Gran cantidad de fallas
- Fallas repetitivas
- Reparaciones de emergencia
- Bajo rendimiento
- Mala operación

Desde el momento de asumir la Responsabilidad del Mantenimiento de la flota, se detectó la importante necesidad de una mejora en la Confiabilidad Operacional de éste equipo.

En ésta medida, se comenzó a utilizar el Análisis de Causa Raíz para encontrar las causas de los principales problemas que presentaba el equipo, de manera de mejorar la Confiabilidad.

A continuación se detallan los tres casos más representativos de los estudios que se llevaron a cabo.

#### 4.1 Falla en Embrague centrífugo: Fractura de zapata y perno de la misma

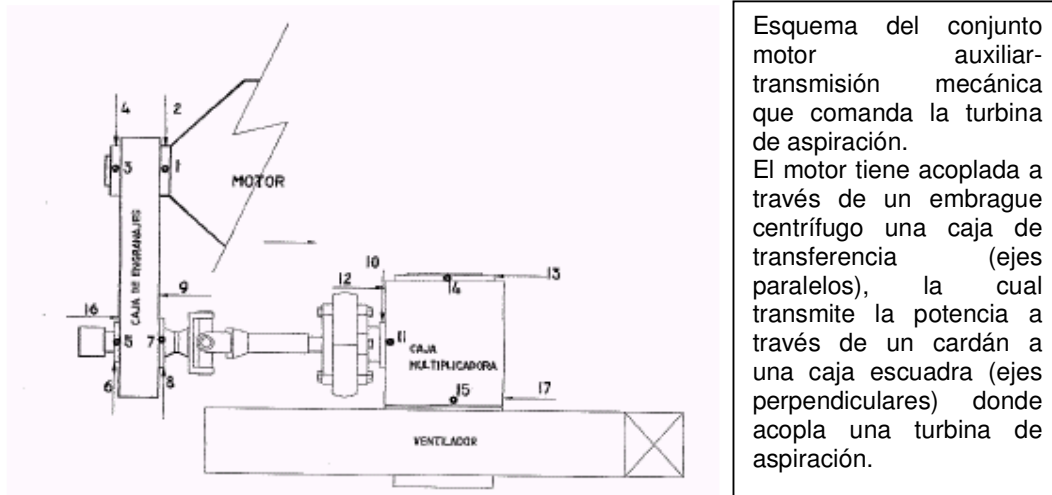
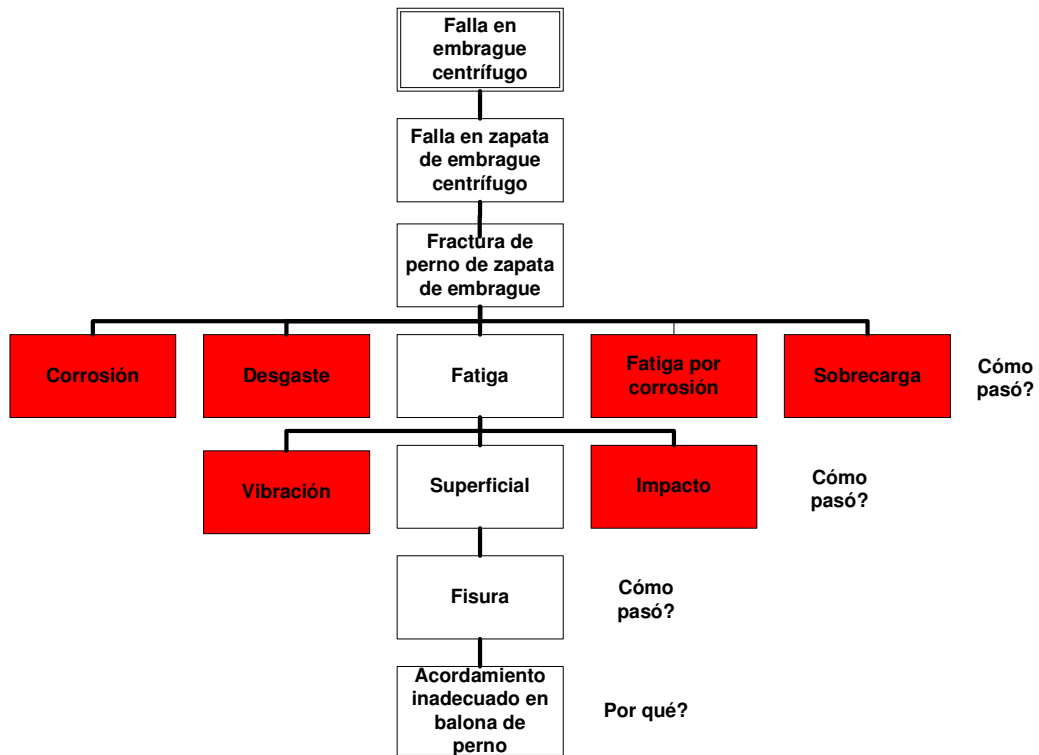


Figura N° 4. Esquema de accionamiento de turbina de aspiración

A continuación se observa el árbol de fallos de una falla registrada en el embrague centrífugo que acopla la caja de transferencia con el motor diesel, a través éste análisis se pudo detectar que la rotura del perno de la zapata (falla primaria) ocasionó a su vez la rotura de la zapata (falla secundaria) y concluir que la falla fue causada por un acordamiento inadecuado en el perno (*causa física*), el cual actuó como concentrador de tensiones, causando la fisura que ocasionó la fractura del perno.

La causa raíz es una **falla de diseño en el perno**. La solución encontrada e implementada fue la reparación de la zapata y la fabricación de pernos con un radio de acordamiento adecuado.



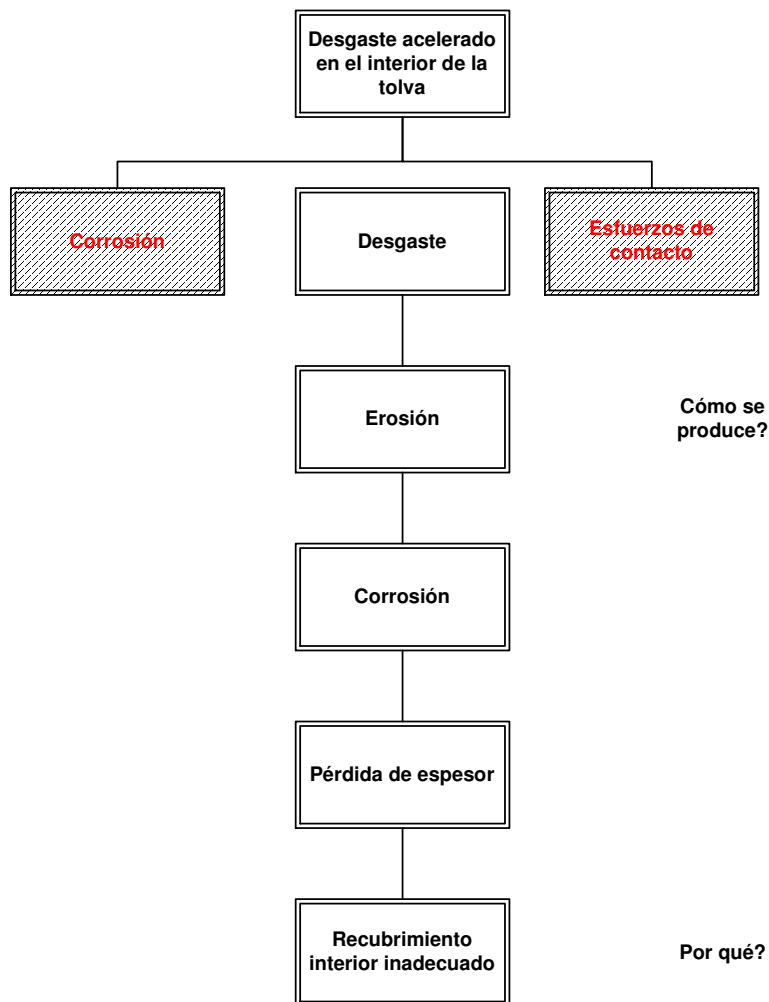
## 4.2 Desgaste acelerado en interior de Tolva

La tolva es la caja donde se depositan los residuos aspirados provenientes del barrido, en ésta medida durante la operación la superficie interior está en contacto continuo con elementos abrasivos y agua.

Con tan sólo 5 meses de operación, la tolva ya presentaba desgaste excesivo y avanzada corrosión en su interior, con una pérdida visible de espesor de pared.

En ésta medida, por un lado se inició un reclamo al fabricante, ya que el equipo se encontraba aún dentro del período de garantía, al mismo tiempo que se decidió utilizar el Análisis de Causa Raíz como herramienta proactiva, para determinar las causas del deterioro acelerado que presentaba el interior de la tolva del equipo, de manera de prevenir una falla por pérdida de espesor, así como también para extender la vida en servicio de la tolva.

A continuación se puede apreciar el árbol de fallas que se utilizó para el análisis de la problemática.



Luego de aplicar el análisis se encontró que la *raíz física*, era una **falla de diseño y de la calidad** en el recubrimiento utilizado por el fabricante en el interior de la tolva, ya que no poseía las características necesarias de resistencia a la abrasión, además presentaba una falla de calidad en la aplicación de la pintura, así como también en la preparación de la superficie.

A su vez, la investigación relativa a las posibles *raíces humanas* arrojó que el operador no estaba cumpliendo con el procedimiento de operación y no utilizaba el sistema de riego que dispone la máquina para humedecer el polvo en el momento de la aspiración. De manera que la *raíz humana* era el **incumplimiento de los procedimientos**.

Por otro lado, después de reiterados reclamos, el fabricante no asumió la responsabilidad del mismo, pero recomendó utilizar durante la operación agua dentro de la tolva para disminuir la turbulencia, lo cual no estaba especificado ni en el Manual de Operación, ni había sido informado con anterioridad. De ésta manera encontramos una *raíz latente* al no tener **procedimientos de operación adecuados**, por falta de información del fabricante.

La solución estudiada e implementada fue:

- Estudio y selección de un recubrimiento epoxy resistente a la abrasión, preparación de la superficie y aplicación del recubrimiento de manera de lograr un espesor adecuado.
- Revisión de procedimientos de operación
- Capacitación al operador.



La aplicación de ésta solución permitió la operación del equipo por doce meses sin generar deterioro y pérdida de espesor en las paredes de la tolva. Luego de éste período se detectaron zonas puntuales con desgaste y por lo que programó y realizó un mantenimiento del recubrimiento.

La aplicación y mantenimiento por condición del recubrimiento interior permitirá a lo largo del Ciclo de Vida de la barredora, una extensión de la vida en servicio de la tolva.

### 4.3 Desgaste acelerado de la turbina de aspiración

Es importante mencionar éste ejemplo, porque de alguna manera está relacionado con el anterior.

Como ya se mencionó anteriormente la turbina de aspiración es la que genera depresión dentro de la tolva, para que se pueda aspirar la suciedad. Para su protección, la tolva tiene instaladas una rejillas en el ducto de la turbina, pero no son suficientes para impedir el contacto con elementos muy abrasivos, tales como tierra y arena fina.

En ésta medida la misma *raíz humana* de falta en el **incumplimiento del procedimiento** que indicaba la utilización del sistema de riego, también afectaba la turbina acelerando el proceso de desgaste natural de la misma.

Por otra parte también se estudió e implementó una acción de mejora para extender la vida en servicio de la turbina, que implicó la utilización de recubrimiento duro en la superficie de los alabes. Combinando ambas medidas se extendió la vida en servicio de la turbina de un promedio de 300 horas, es decir a más del doble.

La identificación de la causa raíz del problema, es sólo la primer parte de la resolución de problemas, la segunda pero no menos importante es el estudio e implementación de las acciones correctivas.

## 5. Beneficios de la Utilización del Análisis de Causa Raíz

El Análisis de Causa Raíz, se aplicó para la solución de los principales problemas: fallas repetitivas y problemas complejos, tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Algunas de las fallas implicaron problemas de diseño, los cuales afectan a la *Confiabilidad inherente del equipo* y por lo tanto a la Confiabilidad Operacional, mientras que otros estaban relacionados con problemas de mala operación y falta de involucramiento es decir con la *Confiabilidad humana*, la cual también afecta la Confiabilidad Operacional, y por último en ciertos aspectos algunas fallas estuvieron relacionadas con la *Confiabilidad del Proceso*, en la medida que faltaba información de parte del fabricante sobre la correcta operación, en el caso de los cuidados especiales con la tolva, y con respecto al correcto entendimiento de los procedimientos por parte del operador.

Mediante la aplicación del Análisis de Causa Raíz, se analizan las distintas raíces físicas, humanas y latentes, es decir se investiga sobre los distintos factores que afectan la Confiabilidad Operacional, por lo tanto al proponer, evaluar e implementar acciones correctivas o soluciones, se va a estar mejorando la Confiabilidad Operacional.

Problema	Causas				Soluciones
	Causa física	Causa humana	Causa latentes	Causa Raíz	
Falla en embrague centrífugo	Fractura de perno	No	No	Falla diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejora de diseño de pernos</li> </ul>
Desgaste acelerado en turbina	Abrasión	Mala operación	No	Incumplimiento de procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de procedimientos.</li> <li>Capacitación del operador.</li> </ul>
Desgaste acelerador en interior de tolva	Recubrimiento inadecuado	Incumplimiento de procedimientos	Falta de información por parte del fabricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falla de diseño</li> <li>Incumplimiento de procedimientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de procedimientos.</li> <li>Capacitación del operador.</li> <li>Aplicación y Mantenimiento de recubrimiento adecuado</li> </ul>
Falla de caja de transferencia	Sobrecarga de rodamientos. Desalineación entre el volante y el embrague	No	No	Falla diseño	Luego de reiterados reclamos, la fábrica envía Técnico en garantía que modifica el centrado del volante con el embrague y sustituye caja completa
Falla en arranque de motor auxiliar	Sobrecarga	El chofer se queda sin combustible, y continúa exigiendo al arranque	Tanque auxiliar con escasa capacidad para la operación diaria	Incumplimiento de procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de procedimientos.</li> <li>Capacitación del operador</li> </ul>

Como indicadores de control de Gestión, se utilizaron entre otros, la disponibilidad y la Confiabilidad, medida como el Tiempo Medio entre Fallas.

Tal como se puede apreciar en la evaluación de los indicadores a partir del mes 1, hay una tendencia creciente en la disponibilidad, los picos de menor valor corresponden a paradas programadas de reparación.

Con respecto al Tiempo Medio entre Fallas, tanto se observa una tendencia creciente, el valor acumulado pasó de 33 horas en el mes 1, a 84 horas en el mes 16, lo cual representa una extensión del TMEF de 255%, al mismo tiempo que el Tiempo entre fallas o TMEF fallas relativo alcanzó valores de 569 horas, tras no registrarse fallas en más de 2 meses, lo cual representa importantísimo aumento de la Confiabilidad, reflejado **en una extensión del TMEF relativo de 1720%**.

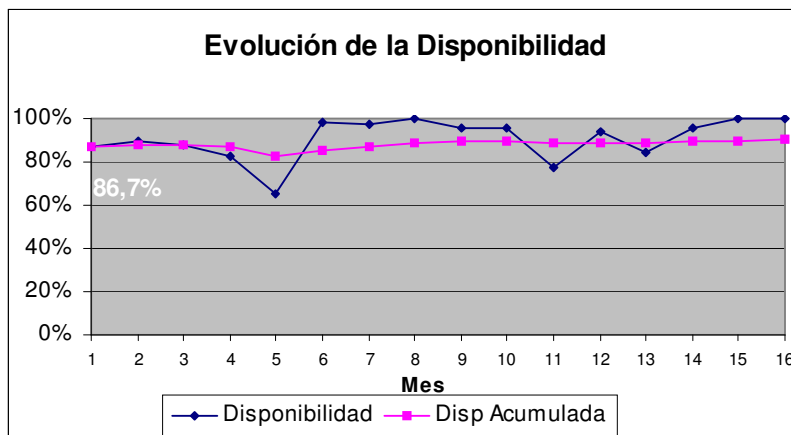


Figura N° 6. Evolución de la disponibilidad relativa y acumulada mensual del equipo

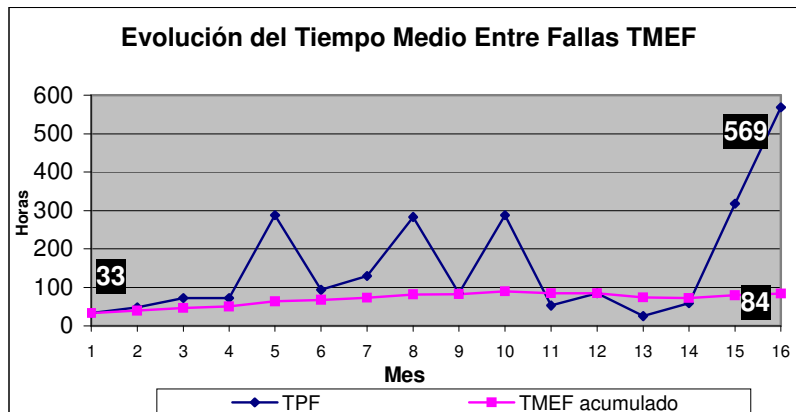


Figura N° 7. Evolución del Tiempo medio entre Fallas relativo y acumulado mensual del equipo.

## 6. Conclusiones

Al detectar una situación de baja Confiabilidad Operacional, se está frente a una situación con gran potencial de mejora, si se analizan los distintos factores que afectan a la misma. Frente al caso particular del equipo de barrido, el Análisis de Causa Raíz fue aplicado en gran cantidad de fallas y fueron encontradas, tal como se mencionó anteriormente, raíces físicas, raíces humanas y raíces latentes. El RCA fue aplicado tanto en forma reactiva frente a fallas complejas, como en forma preactiva para fallas repetitivas.

El enfoque de la Cultura de la Confiabilidad (CO), combinado con la aplicación del Análisis de Causa Raíz (RCA), permite encontrar la causa raíz del problema, analizando las:

- Raíces físicas, las cuales están relacionadas con la Confiabilidad y Mantenibilidad del equipo.
- Raíces humanas las cuales están relacionadas con la Confiabilidad Humana
- Raíces latentes las cuales están relacionadas con la Confiabilidad del Proceso

Al aplicar Análisis de Causa Raíz se estarán analizando los distintos factores que afectan la Confiabilidad Operacional, al encontrar la causa raíz, se podrán estudiar e implementar soluciones que permitirán lograr:

- Aumentar la Confiabilidad de los equipos
- Aumentar la Seguridad de las personas e instalaciones.

- Aumentar la Disponibilidad, como consecuencia del aumento de las dos primeras
- Aumentar la Productividad de Operaciones, al reducir el número de interrupciones no programadas
- Disminuir los costos de Mantenimiento, al disminuir las fallas ocasionales y repetitivas
- Extender la vida en servicios de los componentes, al identificar causas latentes relacionadas con operación fuera de los límites de diseño, sobrecarga sostenida, etc.

Todo lo anterior demuestra que la Herramienta de Análisis de Causa Raíz, es una herramienta muy útil y poderosa en la mejora de la Confiabilidad.

## Bibliografía

- Administración Moderna de Mantenimiento – Lourival Tavares
- Modelos Mixtos de Confiabilidad – Luis 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 8 años de experiencia en la Gestión de Mantenimiento de Flotas de Maquinaria Pesada.  
 Ha realizado varios seminarios de especialización en Mantenimiento, tales como: Indices 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, 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.  
 Expositora invitada del XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Mantenimiento, Dic-06.  
 Autora de trabajos técnicos publicados en [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),  
 Se ha desempeñado como Asistente Técnico y como Responsable de Mantenimiento de importantes Empresas en el Uruguay.  
 Actualmente es Responsable de Planificación y Control de Mantenimiento en la Empresa Móvil Uno.  
 Miembro de la Comisión Directiva de URUMAN  
 Coordinadora Regional del COPIMAN, desde Nov-04  
 Email: [caltmann@adinet.com.uy](mailto:caltmann@adinet.com.uy)  
 Cel: + (598) 99 798 732