

Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento

Alejandro José Poveda Guevara ⁽¹⁾

Ing. Ernesto Martínez Lozano (Director de Tesis)

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción ⁽¹⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

apoveda@espol.edu.ec ⁽¹⁾

Resumen

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una nueva metodología de gestionar el mantenimiento de instalaciones industriales en el Ecuador. Desarrollada en la industria de la aviación civil, esta metodología busca determinar las actividades de mantenimiento necesarias para que los activos fijos sigan realizando las funciones para las que fueron construidos, considerando la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente. El proceso de RCM involucra la identificación de cuáles son las funciones que debe realizar un activo fijo bajo las condiciones particulares en que opera. La aplicación del proceso de RCM involucra el análisis de causas de los estados de falla y sus efectos, estableciendo una actividad de mantenimiento que elimine o reduzca los efectos de las fallas a un valor aceptable. Dichas tareas de mantenimiento deben ser técnicamente factibles de realizarse y su ejecución debe resolver adecuadamente las consecuencias que se pretende prevenir.

El proceso de RCM aumenta la disponibilidad de las instalaciones industriales, disminuye el volumen de producto no conforme y disminuye los costos de operación y mantenimiento. Así mismo, el proceso de RCM reduce el riesgo de accidentes ocupacionales y de incidentes al medio ambiente.

Palabras Claves: *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Modos de falla, Análisis de Modos de Falla y Efecto, Fallas Funcional, Contexto Operacional*

Abstract

The Reliability Centered Maintenance (RCM) is a new methodology for managing the maintenance of industrial facilities in Ecuador. Developed in the civil aviation industry, this methodology determine the required maintenance activities so that the asset of a company continue to perform the functions for which they were built, considering the safety of workers and the integrity of the environment. The RCM process involves identifying what are the functions to be performed by a machine under the specific conditions in which it works. The application of the RCM process involves the Failure Modes and Effect Analysis, establishing a maintenance activity that eliminates or reduces the effects of failure to an acceptable value. These maintenance activities should be technically feasible to perform and its execution must adequately address the consequences that are intended to prevent.

The RCM process increases the availability of industrial facilities, reduces the volume of rejected product and reduces operating costs and maintenance. Likewise, the RCM process reduces the risk of occupational accidents and environmental incidents.

Keywords: *Reliability Centered Maintenance (RCM), Failure mode, Failure Modes and Effects Analysis, Functional Failure, Operational Context*

1. Introducción

Las fallas en equipos han causado las tragedias más grandes del mundo; por ejemplo, el derrame de petróleo del buque tanquero Exxon Valdez en 1989 fue causado por una falla en el sistema anticollisión entre otras fallas. Tragedias como la del buque Exxon Valdez y la tendencia a optimizar recursos ha producido el desarrollo de nuevas metodologías de mantenimiento para instalaciones industriales, una de estas metodologías es la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se enfoca en realizar las actividades necesarias para que las instalaciones sigan cumpliendo con las exigencias del usuario. La metodología desarrolla estrategias de mantenimiento analizando las consecuencias y el costo de cada una de las fallas. RCM busca reducir el mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los equipos durante su ciclo de vida mediante técnicas proactivas como el rediseño mejorado de instalaciones, monitoreo de condiciones de operación y determinación de vida útil de ciertos componentes de una instalación.

2. Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Desde la revolución industrial, en donde se comenzaron a utilizar máquinas para efectuar procesos de manufactura, se han desarrollado diferentes metodologías de mantenimiento.

La primera generación de mantenimiento involucraba máquinas robustas y el tiempo de parada producto de las fallas no era de mayor importancia, se esperaba a que una maquinaria falle para corregir esta falla.

La segunda generación de mantenimiento surgió después de la segunda guerra mundial; momento en el que aumento la demanda de todo tipo de bienes, se mecanizó procesos y se redujo personal. Al incrementarse la dependencia de las máquinas, los tiempos de parada se hicieron significativos; por lo que se optó por el mantenimiento preventivo, reemplazando piezas con una frecuencia determinada.

A partir de la década de los 70, comienza la tercera generación de mantenimiento en la que el tiempo de disponibilidad de los equipos, la calidad del producto, la seguridad y la integridad del medio ambiente son pilares fundamentales para la producción de las industrias. De este modo es que surge la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para que los equipos continúen cumpliendo con lo que el usuario requiere.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología sistemática para diseñar planes que eleven la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo de costo y riesgo, mediante acciones justificadas de manera técnica y económica.

El objetivo principal de RCM es que los activos continúen realizando las funciones para las que fueron diseñados.

La metodología de RCM se encuentra estandarizada por las normativas SAE JA 1011 "Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)" y SAE JA 1012 "Una Guía para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad". El proceso de RCM debe responder las 7 siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?

6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

2.1. Selección de sistemas a analizar

Antes de iniciar el proceso de RCM es necesario que se haga una selección de los sistemas que se van a analizar mediante esta metodología. Para esta selección, la organización debe dividir los activos fijos en sistemas desde lo más general hasta lo más específico, como se muestra en la figura 1.

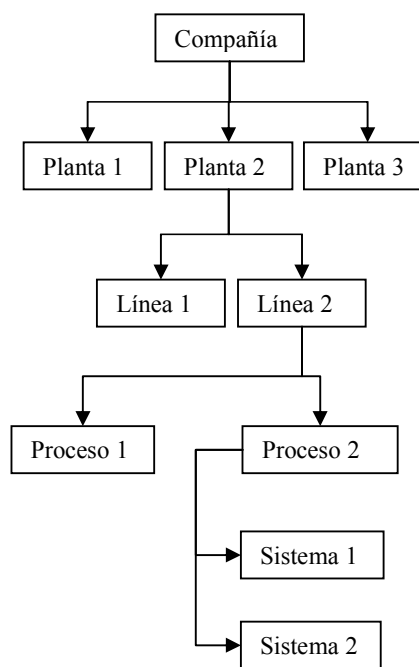


Figura 1. Modelo de diagrama de bloque estructural

Luego se debe evaluar la criticidad de cada uno de los sistemas para el negocio, de manera que se analicen prioritariamente los sistemas que perjudiquen más a la organización. Los criterios que se deberían considerar son los siguientes:

- Tiempo de duración de fallas.
- Frecuencia de ocurrencia de fallas.
- Afectación a la seguridad y el medio ambiente.
- Afectación a la calidad del producto.
- Costos de mantenimiento.

Se debería realizar una tabla comparativa donde se evalúe cuantitativamente la incidencia de cada uno de estas variables en cada sistema. Se utiliza la tabla 1 para establecer los equipos críticos que serán analizados bajo la metodología de RCM.

Tabla 1. Tabla comparativa de criticidad

Sistemas	Tiempo Indisponible	Frecuencia de fallas	Afectación a la seguridad y medio ambiente	Afectación a la calidad	Costos
Activo Fijo 1	8	9	6	7	9
Activo Fijo 2	7	7	5	7	8
Activo Fijo 3	5	6	6	7	6
Activo Fijo 4	2	5	6	6	4

2.2. Determinación de contexto operacional y funciones

Una vez determinado el sistema que se va a analizar mediante el proceso de RCM, se deben determinar el contexto operacional del activo.

El contexto operacional es una descripción del sistema a analizarse, desde lo general hasta lo más específico, detallando la importancia del sistema para el negocio. Para el desarrollo del contexto operacional se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Parámetros de calidad.
- Disponibilidad de equipos de respaldo.
- Reglamentos y normativas medio ambientales relevantes.
- Disponibilidad de repuestos, herramientas y personal.
- Parámetros de seguridad.
- Organización de turnos.

A partir del contexto operacional, se debe determinar las funciones que el usuario desea que un sistema realice.

Las funciones son las acciones que el usuario requiere que el activo realiza. Las funciones se componen mayormente de un sustantivo, un verbo y un Estándar de funcionamiento. Por ejemplo:

Detener **la bomba** a 300 psi.
Verbo + **Sustantivo** + Estándar de funcionamiento

Las funciones se dividen en dos tipos, las funciones principales y las secundarias. Las funciones principales se encuentran relacionadas con las razones por las cuales se ha adquirido un activo, entre estas se encuentran la capacidad de producción, calidad del producto, capacidad de almacenamiento, entre otras.

Las funciones secundarias son aquellas características adicionales que permite al sistema cumplir con las funciones principales, están relacionadas con la seguridad, el confort, el control, contención, integridad estructural, apariencia del activo, entre otras.

2.3. Análisis de modos de falla y efecto

Con las funciones principales y secundarias identificadas, el siguiente paso del proceso de RCM es el análisis de modos de falla y efecto.

El análisis de modos de falla y efecto es un proceso esquematizado en donde para cada función se determinan sus fallas funcionales, sus modos de falla y sus efectos. El proceso de análisis de modos de falla y efecto se describe en la figura 2.



Figura 2. Diagrama de proceso de Análisis de modos de falla y efecto.

Las fallas funcionales se definen como la incapacidad de un sistema para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Los modos de falla son los eventos que pueden causar una pérdida de función o una falla funcional. Los modos de falla deben ser determinados bajo los siguientes factores:

- Deben ser razonablemente probables de ocurrir.
- Deben incluirse los modos de falla que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido pero son razonablemente probables de ocurrir.
- Se debe incluir los modos de falla relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento.

Los efectos de las fallas, indican lo que pasaría si ocurriera cada modo de falla. Se debe considerar los siguientes factores cuando se describen los efectos de las fallas:

- Se debe describir el efecto de un modo de falla como si ninguna tarea específica se estuviera haciendo para anticiparse o prevenir la falla.
- Se debe incluir la evidencia de que el modo de falla se haya presentado.

- Se debe describir como podría el modo de falla poner en riesgo la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente.
- Se debe describir como podría el modo de falla tener un efecto adverso sobre la operación.
- Se debe indicar los pasos para restaurar la función del sistema luego que se de la falla funcional.

2.4. Patrones de falla.

Al considerar las causas de las fallas se debe considerar los patrones relacionados con la edad, aleatoriedad y mortalidad infantil. Estas relaciones se describen en 6 tipos de patrones de falla.

Los primeros tres patrones de falla corresponden a elementos simples o equipos complejos que están en contacto directo con el producto. Estos patrones de falla se asocian con la fatiga, la corrosión, evaporación y abrasión. Estos patrones de falla se encuentran asociados con fallas cíclicas en las que existe una zona de desgaste en un tiempo determinado. La figura 3 muestra los 3 tipos de patrones de falla.

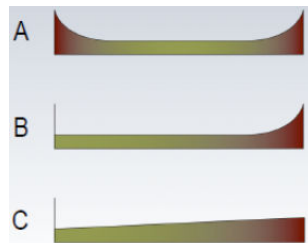


Figura 3. Patrones de falla cíclicas

Los últimos tres patrones de falla corresponden a equipos complejos de electrónica, hidráulica y neumática. Estos patrones de falla se asocian a fallas aleatorias, donde no se conoce un periodo de vida útil de los componentes. La falla aleatoria puede ser súbita o progresiva. De ser súbita, no existe una manera de prevenirla y debe ser mitigada. En el caso de que la falla sea aleatoria y progresiva, se pueden monitorear las condiciones de operación para determinar un periodo adecuado para tratar un modo de falla. La figura 4 muestra los patrones de falla aleatoria.



Figura 4. Patrones de falla aleatorias

En resumen, se describen en la figura 5 las posibles tareas asociadas con los tipos de fallas.



Figura 5. Tareas para cada tipo de falla

2.5. Análisis de toma de decisión.

El análisis de toma de decisión es el proceso por el cual se determina las consecuencias de la falla y la estrategia necesaria para prevenir o mitigar el efecto de las fallas. Este proceso obedece al diagrama de la figura 6.

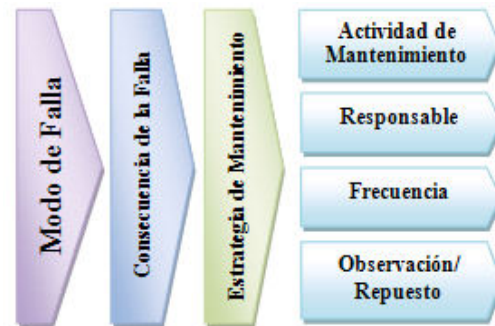


Figura 6. Diagrama de proceso de análisis de toma de decisión.

Según el diagrama, para cada modo de falla identificado, se determina la consecuencia producida por cada falla. La consecuencia de la falla es la forma en la cual tiene importancia un modo de falla o una falla múltiple. Existen 4 tipos de consecuencias de falla:

- Consecuencias de fallas ocultas. Este tipo de consecuencias no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y catastróficas. La mayoría se encuentra asociada a sistemas de protección.

- Consecuencias ambientales y para la seguridad. Este tipo de consecuencias son producidas por modos de falla que posiblemente causen daño o muerte a alguna persona. Así mismo, este tipo de consecuencia se relaciona con modos de falla que infringen alguna normativa o reglamento ambiental.
- Consecuencias operacionales. Este tipo de consecuencias tienen una afectación con la producción, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales.
- Consecuencias no operacionales. Involucra a todos los modos de falla que en caso de que suceda, solo se relacionan con el costo de reparación de la misma.

La herramienta que se utiliza para determinar la estrategia de mantenimiento se denomina diagrama lógico de decisión de la figura 7.

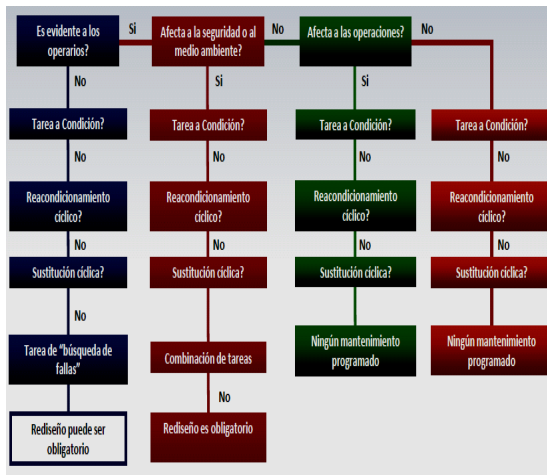


Figura 7. Diagrama lógico de toma de decisiones.

En este diagrama, luego de evidenciar que tipo de consecuencia se encuentra asociada con el modo de falla, se determina que estrategia de mantenimiento se va a ejecutar. El diagrama se compone de etapas en las que se evalúan el tipo de tarea de acuerdo a estas condiciones:

- Ser factible técnica. ¿Existe una tarea realizable que reduzca el efecto de la falla a un nivel tolerable?
- Merecer la pena. ¿La tarea de mantenimiento reduce las consecuencias de un modo de falla a un nivel que justifique los costos directos e indirectos del mismo?

Al evaluar cada etapa del diagrama lógico de decisiones, se analiza que tipo de tarea es la más adecuada para cada modo de falla. Los tipos de tareas identificadas por el proceso de RCM son las siguientes:

- Tarea a condición. Este tipo de tarea se define en el monitoreo de condiciones físicas identificables que indican que una falla está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.
- Tarea de reacondicionamiento cíclico. Este tipo de tarea consiste en refabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.
- Tarea de sustitución cíclica. Este tipo de tarea implica sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.
- Tarea de búsqueda de fallas. Este tipo de tarea implica la revisión periódica de funciones ocultas para determinar si han fallado.
- Rediseño. Este tipo de tarea implica hacer cambios una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye cambios en la instalación y de procedimientos.
- Ningún mantenimiento programado. Este tipo de tarea implica dejar que ocurra el modo de falla para luego realizar un mantenimiento correctivo.

3. Aplicación de metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad

La aplicación de la metodología anteriormente descrita se divide en las siguientes etapas resumidas en la figura 8.



Figura 8. Aplicación del proceso de RCM.

La etapa de planeación incluye la división de los activos de una organización en sistemas, la evaluación de criticidad de estos y la selección de los sistemas que se analizarán mediante RCM.

La segunda etapa comprende la constitución de grupos de revisión multidisciplinarios, incluyendo a un facilitador del proceso de RCM y especialistas. Por último el grupo de revisión debe contar con el personal de producción y de mantenimiento para que las expectativas de ambos sean cumplidas, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Grupo de revisión de RCM.

Los resultados del proceso de RCM se resumen en los planes de mantenimiento. El plan de mantenimiento es el resumen y agrupación de las tareas de mantenimiento obtenidas a partir del proceso de toma de decisiones.

Por último, la etapa de implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad y auditorías consiste en cargar el plan de mantenimiento nuevo en el sistema informático de planeación de mantenimiento y su debida ejecución. Este proceso debe ser evaluado continuamente con revisiones o auditorías cada uno o dos años, de acuerdo a lo que la organización planifique.

4. Beneficios de la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Los beneficios de la aplicación del proceso de RCM son los siguientes:

- Mayor seguridad e integridad ambiental. El proceso de RCM actúa para prevenir o eliminar riesgos ambientales y de seguridad.
- Mejor funcionamiento operacional. El proceso de RCM actúa para mejorar la cantidad de producción, la calidad del producto y el servicio al cliente.
- Mayor costo-eficiencia del mantenimiento. El proceso de RCM analiza cada uno de los eventos que causa la indisponibilidad de un sistema, de esta manera se evalúan las actividades que aseguren resultados sobre el mantenimiento de los equipos.
- Mayor vida útil de componentes costosos.
- Mejor trabajo en equipo y mayor motivación del personal. El proceso de RCM establece un solo lenguaje entre el área de producción y mantenimiento, estableciendo una mejor comunicación entre ambas partes. Adicionalmente, el personal involucrado con el proceso se motiva debido a que adquiere un 'sentido de pertenencia' del proceso.

5. Conclusiones

- El proceso de desarrollo de planes de mantenimiento mediante la metodología de RCM se enfoca en la aplicación de tareas de mantenimiento de acuerdo a los eventos que causan indisponibilidad de los sistemas. De esta manera es que se realiza solo las actividades necesarias para seguir cumpliendo las funciones que el usuario desea., reduciendo costos de mantenimiento por tareas innecesarias.
- En la mayor parte de los procesos de RCM el mantenimiento preventivo disminuye un 60% mientras que el mantenimiento a condición aumenta en 40%. Esto se debe a que existen condiciones que indican la ocurrencia de una falla y que antes del proceso de RCM no se consideraban.
- El proceso de RCM desarrolla un documento en el cual se registra los eventos que causan pérdidas de función, de manera que sirve como un catalogo de fallas, en el cual el personal de mantenimiento puede recurrir para detectar y diagnosticar fallas.
- El proceso de RCM desarrolla el nivel técnico del personal de producción debido a que permite que se familiaricen con las instalaciones y su funcionamiento.

6. Agradecimiento

Al terminar mi formación académica agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

14. Referencias

- Moubray John, *RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Aladon LLC, 2004.
- MSG-3. *Maintenance Program Development Document*, Air Transport Association, Washington, D.C. Revision 2, 1993.
- Nowlan, F. Stanley, Howard F. Heap, *Reliability Centered Maintenance. Report number AD-A066579*, United States Department of Defense.
- SAE JA1011, *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*, Society of Automotive Engineers, 1998.
- SAE JA1012, *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*, Society of Automotive Engineers, 2002.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance
- <http://www.rcm2-soporte.com>