

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM

ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION OF MAINTENANCE FOCUSED ON RELIABILITY RCM

Andrade-Solórzano Carlos Luis ^{1*}; Herrera-Suárez Miguel ²

¹ Estudiante del Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, UTM.
Portoviejo, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-4330>

² Profesor Titular Principal II, Tiempo completo. Departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas Universidad Técnica de Manabí, UTM.
Portoviejo, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4567-5872>

*Correo: candrade7097@utm.edu.ec

Resumen

El objetivo del presente trabajo consiste en realizar un análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la industria, así como mostrar en forma detallada una metodología para su aplicación. Para complementar dicho objetivo se realizó un análisis bibliográfico, para lo cual se consultaron las principales bases de datos que contienen literatura especializada sobre esta temática, además se realizó un estudio histórico lógico del surgimiento y evolución de este tipo de gestión de mantenimiento. Los resultados, exponen las bases teóricas y fundamentan la gestión del mantenimiento centrada en la confiabilidad con respecto a los aspectos actuales, tradiciones y particularidades de la gestión eficiente del mantenimiento. Se detalló, además el procedimiento para la elaboración del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), mostrando que tanto el procedimiento RCM como la metodología AMEF son sistemáticos y parten de una secuencia lógica, orientada a priorizar los equipos y reducir los costos de la actividad de mantenimiento en la medida que se crea una confiabilidad operacional.

Palabras clave: Confiabilidad, RCM, Mantenimiento, Gestión.

Abstract

The objective of this paper is to analyze the current situation of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the industry, as well as to show in detail a methodology for its application. To complement this objective, a bibliographic analysis was carried out, for which the main databases containing specialized literature on this subject were consulted, in addition to a logical historical study of the emergence and evolution of this type of maintenance management. The results, expose the theoretical bases and foundations of maintenance management focused on reliability with respect to the current aspects, traditions, and particularities of efficient maintenance management. The procedure for the elaboration of the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) was also detailed, showing that both the RCM procedure and the FMEA methodology are systematic and start from a logical sequence, oriented to prioritize the equipment and reduce the costs of the maintenance activity to the extent that an operational reliability is created.

Keywords: Reliability, RCM, Maintenance, Management.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de mayo de 2021.

Fecha de aceptación: 21 de junio de 2021.

Fecha de publicación: 09 de julio de 2021.

1. Introducción

El poseer activos fijos disponibles y confiables es importante para que los procesos operacionales se desarrollen de manera efectiva optimizando los recursos económicos con un impacto positivo sobre los procesos productivos y operacionales de la empresa (Gupta & Mishra, 2018; Larrea Moreano et al., 2018; Razuri Guanilo & Ventura Llanos, 2020).

Autores como Rahmati, Ahmadi, and Karimi (2018) y Valbuena and Álvarez (2016), consideran que la gestión de mantenimiento se complementa de metodologías como los mantenimientos correctivos, preventivos, predictivos, mantenimiento centrado en la confiabilidad y mantenimiento productivo total que contribuyen en mejorar los procesos que es el objetivo o función del responsable de mantenimiento. Mediante la optimización de costos y el control de los trabajos relacionados a desarrollarse de manera segura y eficiente se garantiza que la empresa cumpla con las reglamentaciones.

Una de las principales estrategias para potenciar la gestión de

mantenimiento es la del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, las cual se ha convertido en una herramienta global que permite combinar otras estrategias de mantenimiento de acuerdo al análisis de la máquina, sistemas o componentes en donde se dese implementar (Afzali, Keynia, & Rashidinejad, 2019; Campos-López, Tolentino-Eslava, Toledo-Velázquez, & Tolentino-Eslava, 2019; Tang, Liu, Jing, Yang, & Zou, 2017).

El mantenimiento y las actividades que la comprenden desde sus inicios presenta dos componentes específicos muy diferentes, el componente técnico y el componente económico. Al primero se le atribuye la aparición desde la era primitiva y toda actividad que se realizaba para la conservación de las herramientas básicas e importantes de la época. Así como su propia evolución de conjunto a la actividad productiva (Mollahassani-Pour, Rashidinejad, & Pourakbari-Kasmaei, 2018).

Clará Díaz, Domínguez De Paz, and Pérez Medrano (2013), consideran que “el mantenimiento en su aspecto económico nació con el taylorismo a

partir de introducir un elemento diferenciador entre la actividad productiva y el mantenimiento, olvidando que ambas actividades, más que complementarias, son la misma cosa”.

Según las necesidades económicas para el control eficiente de los ingresos y egresos de los recursos en el proceso productivo, a la producción se le llamó “costos” y según el mantenimiento “gastos”, marcando una disminución del valor del mantenimiento en las actividades del proceso productivo. Este nombramiento hace que muchos gerentes enfoquen sus principales decisiones al proceso productivo y vean al mantenimiento como un proceso secundario (Schuh, Jussen, & Optehostert, 2019).

Friedrich, Lechler, and Verl (2014), afirman que “desde el punto de vista histórico a mediados de 1951 el mantenimiento fue solo aplicado en el caso de falla de un subsistema o toda la planta, mucho antes del método preventivo y en 1969 había sido desarrollado el mantenimiento productivo total (TPM) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)”.

La evolución del mantenimiento describe estrategias plenamente identificadas en determinados periodos, entre las principales se puede mencionar el siguiente orden: El mantenimiento reactivo o correctivo que se aplica a algún activo para volverlo a poner en marcha cuando este ha sufrido una falla relevante, luego aparece el mantenimiento preventivo y posteriormente el desarrollo del TPM y el MCC. El mantenimiento es tan importante en simples y complejos activos que acompañan la producción, la aparición de la falla en los sistemas generará consecuencias en los procesos y al mismo tiempo define la necesidad de la gestión de mantenimiento (Wu, Chen, Wu, & Wang, 2016).

Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, and Crespo (2013), definen a la gestión integral de mantenimiento como “el actuar en todos aquellos aspectos de importancia para el buen desarrollo de la empresa y que, de una u otra manera, se relacionan con el mantenimiento de las instalaciones”. Se entiende como un conjunto formado por hombres, máquinas, tecnología, información, planeación

y recursos que procura alcanzar los objetivos trazados previamente establecidos, buscando ser eficaces y eficientes dependiendo de los tipos de mantenimiento.

Rodríguez Machado (2012), manifiesta que la aplicación de mantenimiento es tan diversa como procesos de producción exista, el RCM si bien es muy aplicado en la industria aeronáutica existen industrias como los sistemas de distribución de energía que vienen adaptando esta estrategia de mantenimiento con grandes resultados que comprende un algoritmo de 3 etapas: pre-requisitos de análisis; Identificación de componentes críticos; Registro de resultados técnicos y económicos.

La competitividad de hoy en día permite a los gerentes observar que el mantenimiento forma parte principal del proceso productivo y va dejando de lado la creencia de que el mantenimiento es un área que solo genera gastos. Para que una empresa sea competitiva sus maquinarias deben ser capaces de ofrecer alta disponibilidad y confiabilidad para que sea aprovechada por producción (Malik, 2019; Vega Mendoza, 2013).

Tomando en cuenta estos aspectos se decide desarrollar el presente trabajo el cual tiene como objetivo analizar de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM.

2. Recopilación de información sobre la actualidad del RCM

La información analizada se obtuvo a través de las bases de datos como Scielo, Dialnet, Latindex, Google Scholar, Science Direct, Research Gate, entre otros. Se filtro la información a través de la selección de palabras clave como “RCM”, “mantenimiento”, “gestión”, “confiabilidad” y sus versiones en el idioma inglés. Los recursos bibliográficos seleccionados se sometieron al análisis y revisión.

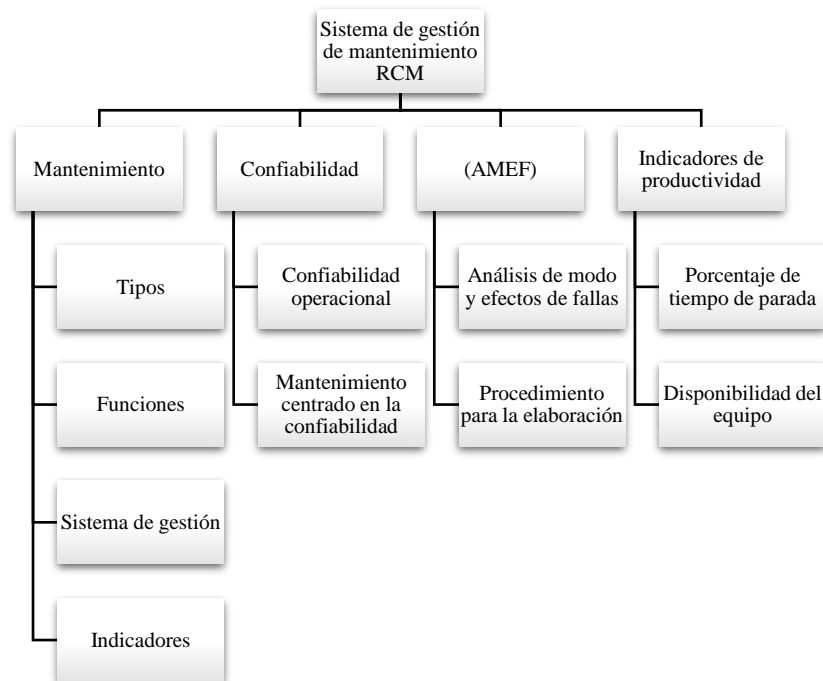
Se exponen las bases teóricas y fundamentación de la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad acorde a los aspectos actuales, tradicionales del mantenimiento y las particularidades de cada tipo de proceso en la gestión eficiente del mantenimiento.

3. Resultados del análisis de la situación actual del RCM

Se analizaron los diferentes elementos que componen las condiciones y su valor para el desarrollo exitoso del

mantenimiento, destacando la importancia de esta última en la gestión eficiente del mismo. Se muestran los componentes principales de un sistema de gestión de mantenimiento RCM y sus divisiones (Figura 1).

Figura 1. Estructura general de un sistema de gestión de mantenimiento RCM.



- **Confiabilidad operacional**

Se obtiene a través de una serie de procesos que tienen como objetivo la mejora continua de la producción industrial, utilizando herramientas avanzadas de diagnóstico, metodologías y estrategias enfocadas en la optimización. También se puede elevar la confiabilidad operacional con los cambios en la estructura

organizativa de la empresa o fabrica, fomentando un sentido más amplio de productividad, además de una visión adecuada de los objetivos o metas de negocio a conseguir (Clará Díaz et al., 2013; García Palencia, 2013; Salazar, 2017).

Otra variante para la optimización de la confiabilidad es por medio de un programa que se centre en los parámetros de condición humana,

mantenimiento y confiabilidad en los procesos y equipos (Figura 2) (García Palencia, 2013; Gasca,

Camargo, & Medina, 2017; Ozdemir & Kumral, 2019; Patil, Kothavale, & Powar, 2020).

Figura 2. Parámetros operacionales de un programa de optimización de la confiabilidad operacional. Fuente, (García Palencia, 2013).



- **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

Según Amendola (2011), la aparición de este nuevo modelo de mantenimiento surge en la industria estadounidense en cooperación con la NASA y Boeing. Desde 1974, el Departamento de Defensa de EE.UU., ha aplicado el RCM como una filosofía de mantenimiento principalmente para aeronaves militares.

A partir de la aplicación y éxito en el sector de la aviación, otros sectores adecuaron el RCM a sus necesidades operativas, generando

un mantenimiento eficaz en centrales termoeléctricas, nucleares, petroleras, químicas, entre otros (Alrifaeey, Hong, As'arry, Supeni, & Ang, 2020; Estupiñan & Cordero, 2018; Martínez-Monseco, 2021; Pariaman, MK, Prajitno, & Sugiarto, 2017; Singgih, Prasetyawan, Hartanto, Kurniawan, & Wicaksana, 2019).

El RCM cuenta con un aspecto favorable, que consiste en la implementación de nuevas tecnologías de mantenimiento desarrolladas en la actualidad. La vinculación entre el enfoque del RCM y las nuevas técnicas de

mantenimiento permiten optimizar la productividad y al mismo tiempo disminuir los riesgos hacia el ambiente como para la seguridad personal.

El presente trabajo tiene como objetivo principal servir de guía para la implementación general de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y poder aumentar la confiabilidad operacional relacionada con los objetivos o metas de la empresa.

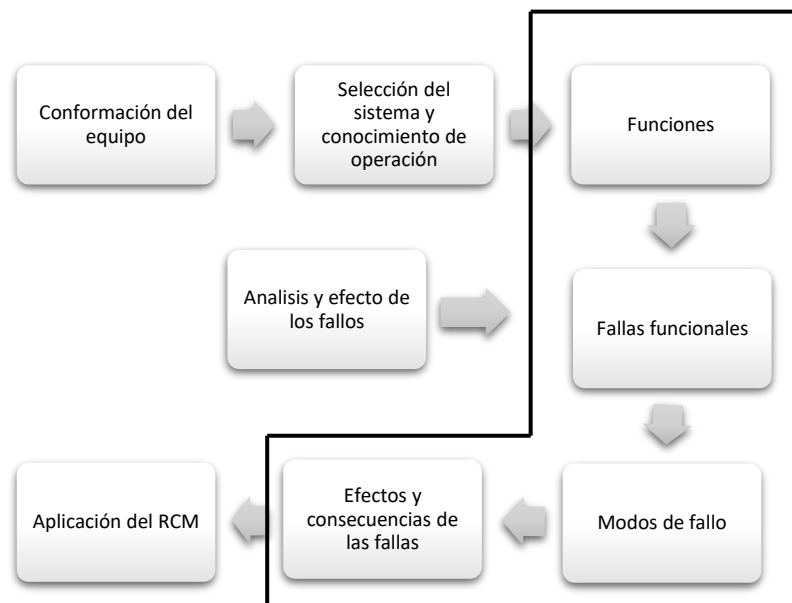
Enfoque del RCM:

- Análisis de funciones.
- Análisis de equipos de trabajo (operación, mantenimiento) realizado por facilitador competente en la aplicación del RCM.

• Metodología para la implementación del RCM

Para Gangi, Ingaramo, Sastre, and Pontelli (2012), el RCM se basa en un análisis de efectos y modos de falla (FMEA). A través de un instrumento de recolección de información para RCM se describen para cada uno de los equipos la falla, su función, el modo de fallo y el efecto que puede producir este estado (Figura 3). Para cada falla o modo de falla se debe de establecer una decisión que permita mantener o asegurar la productividad según el Diagrama de Decisión (Moubray, 1997; Piechnicki, Loures, & Santos, 2017; Yavuz, Doğan, Carus, & Görgülü, 2019).

Figura 3. Flujoograma de implementación de RCM



Según la norma SAE-JA 1011, un sistema RCM es factible si se da respuesta a las siguientes interrogantes básicas:

- ¿Cuáles son las funciones principales de operación del equipo o activo? (funciones)
- ¿Cuál es el motivo de cada falla funcional? (modos de fallo)
- ¿Qué efecto produce la falla? (efecto de la falla)
- ¿Cómo afecta cada tipo de falla? (consecuencia de las fallas)
- ¿Qué indicaciones o tareas deben de realizarse para prevenir la falla? (Tareas probables e intervalos de las tareas)
- ¿Qué alternativa se debe de tomar si no existe una tarea proactiva adecuada? (acciones preestablecidas).

Como resultado de la aplicación del análisis RCM, se obtiene una lista de actividades de mantenimiento (requerimientos) que tienen la finalidad de elevar la efectividad, disponibilidad, confiabilidad y el rendimiento de los diversos equipos (Abd Elhalim, Abdel-Magied, Afefy, & Aly, 2019; Alrifaey et al., 2020). La aplicación del RCM se ha convertido

en una estrategia fundamental para diversas empresas de nivel mundial en operaciones.

La perspectiva del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) enfoca a las empresas a realizar actividades de mantenimiento preventivo o predictivo acorde a la información de fallas o modo de falla de los equipos permitiendo eliminar tareas que no generan resultados positivos con respecto a la frecuencia o repetitividad de fallas.

Definir las funciones y normas a seguir en base a los mecanismos de falla, efectos y criticidad de la falla, se vuelve relativamente sencillo con la adaptación del MCC. A pesar de las ventajas favorables del MCC, existen algunas fallas en equipos que no afectan de manera drástica la seguridad y aspecto económico en la producción, por lo que según las opciones del árbol lógico del MCC, considera continuar hasta que el equipo falle (Yavuz, Doğan, Carus, & Görgülü, 2019).

Duffuaa, Raouf, and Dixon Campbell (2000), considera que la variante de mantenimiento RCM se constituye como una guía para definir actividades de mantenimiento con una frecuencia asociada en relación

a la importancia del equipo dentro de la línea de producción. No se utiliza un modelo matemático, más bien un equipo natural de trabajo y capacitado que examina la funcionalidad de los equipos en un contexto operacional.

La función principal del equipo de trabajo seleccionado es generar un sistema de gestión del mantenimiento que sea flexible o adaptativo a las necesidades de la empresa, considerando como bases los factores de seguridad personal, ambiente, operacionalidad y costo-beneficio de las actividades de mantenimiento (Jardine & Tsang, 2013; Parra & Crespo, 2012; Smith & Hawkins, 2004).

Análisis de modo y efectos de fallas (AMEF)

Se justifica como una herramienta del RCM, este análisis permite definir los modos de falla para los componentes de un equipo o sistema general, los principales resultados se centran en el impacto y frecuencia de las fallas (Gangi et al., 2012; Jiang, Xie, Zhuang, & Tang, 2017; Tian, Wang, & Zhang, 2018).

La clasificación de las fallas según la importancia que representa permite especificar las actividades a realizar por áreas, reduciendo el impacto económico de tareas innecesarias. El AMEF se compone por cinco etapas que son:

- Identificar los equipos que se requiere evaluar.
- Conocer las funciones del equipo.
- Determinar las fallas funcionales.
- Determinar los modos de fallas.
- Determinar las consecuencias o efectos de falla sobre la línea de producción.

La norma UNE 20812 declara que el AMEF es un proceso documentado que realiza un análisis cualitativo para estudiar a profundidad la fiabilidad tanto del sistema como subsistema. Aunque el AMEF considera las fallas de los componentes, no incluye la combinación de estas que en teoría pueden producir afectaciones serias al equipo o sistema general (González Fernández 2011).

Las técnicas se consideran como métodos sistemáticos que permiten de cierta forma anticiparse a los problemas o fallos asegurando la continuidad de los procesos. Con el análisis RCM a los diversos activos se pueden elaborar actividades de mantenimiento con la finalidad de prevenir los efectos y consecuencias de los modos de falla.

- **Procedimiento para la elaboración del AMEF**

AMEF de diseño (FMAD): Listar los aspectos que debe de cubrir el producto según los requerimientos del cliente y la línea de producción de la empresa. Construir el flujo del sistema, desde el abastecimiento de la materia prima, seguido de los procesos de transformación o tratamiento, hasta llegar a la versión del producto para consumo. Identificar las áreas del proceso que podría tener ciertas fallas o modos de fallas en los equipos.

AMEF de procesos (AMEFP): Se detalla el proceso del producto a obtener, examinando e indicando las áreas con posibilidad de fallos. Si el proceso no contiene materia prima como punto de partida, se consideran las entradas del proceso.

Algunos puntos importantes en este procedimiento del AMEF son:

- Realizar la lista de entrada y salida del proceso, generalmente puede utilizarse diagramas de bloques para referenciar adecuadamente.
- Evaluar las condiciones y aspectos de las entradas y funciones a desarrollar para obtener la salida o producto deseado.
- Evaluar cada una de las funciones con la finalidad de analizar todos los modos de fallas posibles que pueden surgir.
- Verificar que las características iniciales del diseño se cumplan al finalizar el proceso.

- **Modo potencial de la falla**

Identificadas las áreas con fallas probables se elaboran o se analizan las variantes de los modos de fallas de los componentes o equipos. El modo de falla nos indica como puede presentarse un determinado defecto en las funciones de los activos. Generalmente asociamos el modo de falla a sucesos de algún componente o proceso como fractura, fugas, dimensiones

incorrectas, deformación, ensamble incorrecto, entre otros.

- **Efecto o consecuencia de la falla**

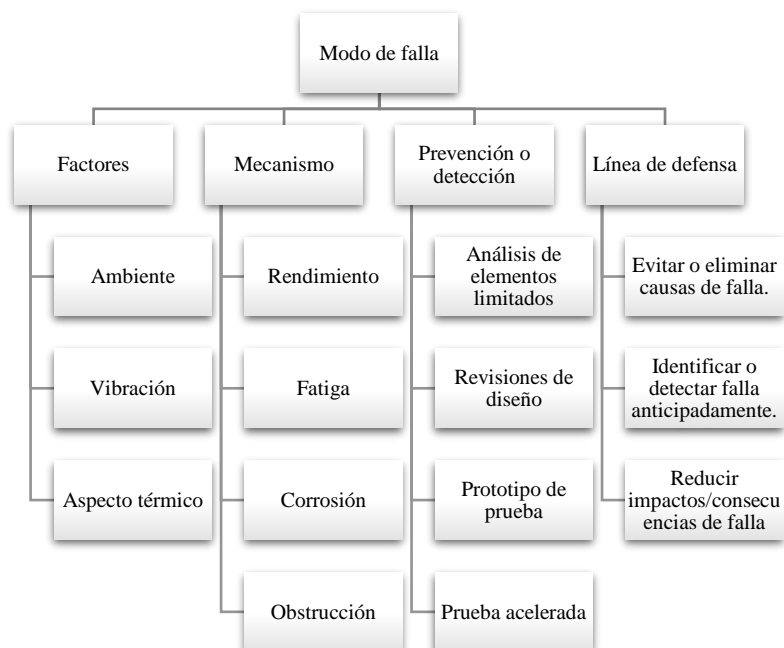
Toda falla tiene un efecto negativo para los activos o equipos en una línea de producción, si no se trata adecuadamente y en el intervalo de tiempo adecuado las afectaciones pueden incurrir en paros necesarios de la producción general que de cierta forma se convierte en pérdidas económicas para la empresa. Estos efectos de fallas están asociados

principalmente a deterioro, contaminación auditiva (ruido), operaciones incompletas, paros, cantidad de productos menor a la esperado, entre otros.

- **Causa de la falla**

Las fallas se encuentran asociadas a diversos factores o variables de entrada que tendrán principalmente una deficiencia que retrasa la productividad. Las diversas variables que pueden influir en el modo de falla se resumen en la figura 4.

Figura 4. Variables asociadas al modo de falla.



- **Determinar el grado de severidad**

El parámetro se estima a partir del efecto o gravedad que puede generar alguna falla en el cliente. Se

realiza una encuesta, utilizando una escala de Likert asignando una puntuación del 1 a 10: el "1" indica que no se generan consecuencias mientras que el valor de "10" indica

una consecuencia más grave (Moubray, 2004).

- **Determinar el grado de ocurrencia**

Es necesario estimar el grado de ocurrencia de la causa de la falla potencial. Para esto se toma en cuenta los historiales de las fallas y por supuesto las frecuencias de ocurrencia. Por medio de una escala de Likert de evaluación con 10 niveles se asigna a cada falla una probabilidad. El “1” en este caso indica que la probabilidad de ocurrencia es mínima o nula,

mientras que “10” indica muy alta probabilidad.

- **Obtener el número de prioridad de riesgo (NPR)**

El NRP nos permite establecer una jerarquía o prioridad para el tratamiento del modo de falla de un componente o equipo, este indicador relaciona el grado de ocurrencia (frecuencia), la severidad y la detección.

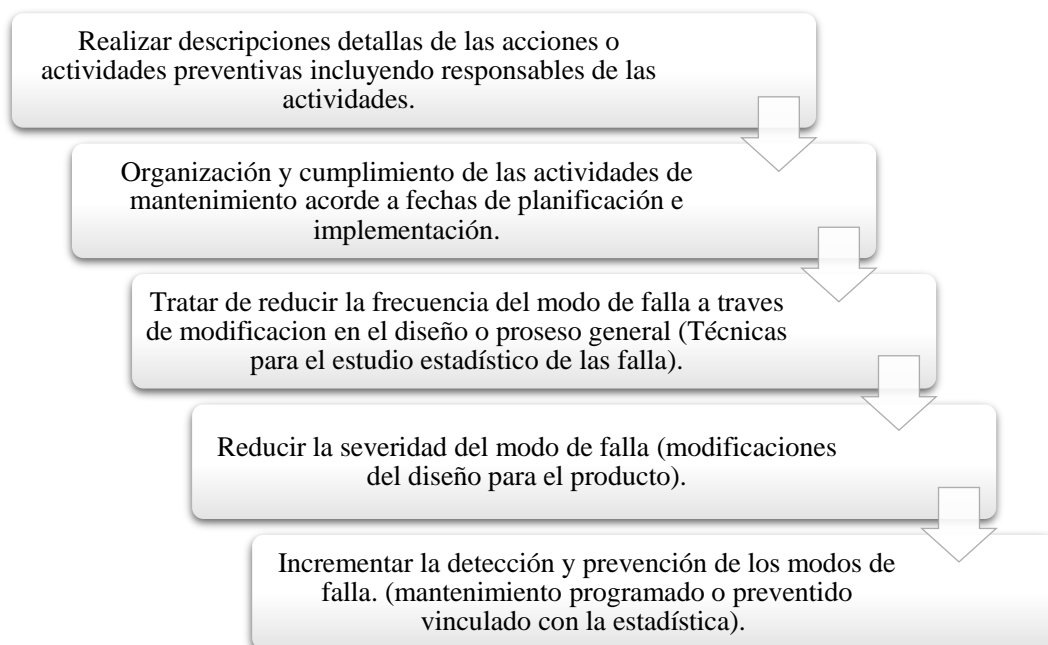
$$NPR = \text{Grado de ocurrencia} \times \text{Severidad} \times \text{Detección}$$

Prioridad de NPR (Eq. 1)

Tabla 1. Indicador de prioridad de NPR.

500 – 1000	Alta probabilidad de falla
125 – 499	Probabilidad de falla media
1 – 24	Baja probabilidad de falla
0	No existe riesgo para la falla

Figura 5. Recomendaciones para el tratamiento de problemas con NPR alto o bajo.



Además de atender los modos de falla con NPR alto, también se debe de prestar prioridad a las fallas con un elevado valor para de frecuencia u ocurrencia. Algunas recomendaciones para tratar los diferentes problemas se observan en la figura 5.

4. Conclusiones

El incremento de la confiabilidad de un sistema o equipo se logra a través del desarrollo de estrategias de mantenimiento como la aplicación de un plan de mejoramiento que se encuentra relacionado con los planes de mejoras continuas.

El análisis del costo-beneficios de este sistema se encuentra orientado a realizar mantenimiento a equipos o componentes que son relevantes para el sistema en general (priorización), es decir que la producción depende de sus actividades interrumpidas.

El análisis RCM se ha establecido como una metodología sistemática y existen variedades de aplicaciones en la actualidad, aunque el proceso de RCM sigue una secuencia lógica depende de manera significativa de la experiencia (Braglia, Castellano, &

Gallo, 2019; Gullo & Kovacevic, 2021), toma en cuenta la frecuencia de los efectos y causas de los fallos en los equipos.

La confiabilidad operacional modifica de cierta forma la organización de la empresa con la intención de definir un sentido más amplio de la productividad sin olvidar los objetivos trazados por los organismos administrativos de la empresa.

El análisis de modos y efectos de falla muestra una metodología sencilla para integrar de manera eficiente el mantenimiento centrado en la confiabilidad por medio del cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR), que incluye la frecuencia y severidad de las diferentes fallas estudiadas.

Bibliografía

- Abd Elhalim, E. K., Abdel-Magied, R. K., Afefy, I. H., & Aly, M. F. (2019). An Efficient Maintenance Plan Using Proposed Framework of RCM Made Simple Approach. *Industrial Engineering Management Systems*, 18(2), 222-233.
- Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of

- distribution feeders. *Energy*, 171, 701-709.
- Alrifaeey, M., Hong, T. S., As'array, A., Supeni, E. E., & Ang, C. K. (2020). Optimization and Selection of Maintenance Policies in an Electrical Gas Turbine Generator Based on the Hybrid Reliability-Centered Maintenance (RCM) Model. *Processes*, 8(6), 670.
- Amendola, L. (2011). *Confiabilidad operacional*. Universidad Politécnica de Valencia,
- Braglia, M., Castellano, D., & Gallo, M. (2019). A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59.
- Clará Díaz, O. A., Domínguez De Paz, R. A., & Pérez Medrano, E. A. (2013). Sistema de gestión de mantenimiento productivo total para talleres automotices del sector público. (Trabajo de graduación de Ing.
- Industrial.), Universidad de El Salvador,
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon Campbell, J. (2000). Maintenance system. Planning and control.
- Estupiñan, E., & Cordero, O. (2018). Uso de la metodología FMECA-RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Básicas*, 17(1), 196-204.
- Friedrich, C., Lechler, A., & Verl, A. (2014). Autonomous systems for maintenance tasks—requirements and design of a control architecture. *Procedia Technology*, 15, 595-604.
- Gangi, S., Ingaramo, R., Sastre, J., & Pontelli, D. (2012). Mantenimiento centrado en la confiabilidad: Ejemplo de aplicación en una industria farmacéutica. Universidad Nacional de Cordoba,
- García Palencia, O. (2013). Confiabilidad humana clave de la sostenibilidad Industrial. *Mantenimiento en Latinoamérica*, 5(6), 8-10.
- Gasca, M. C., Camargo, L. L., & Medina, B. (2017). Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial. *Información tecnológica*, 28(4), 111-124.

- Gullo, L. J., & Kovacevic, J. (2021). Condition-based Maintenance and Design for Reduced Staffing. *Design for Maintainability*, 157-182.
- Gupta, G., & Mishra, R. (2018). Identification of critical components using ANP for implementation of reliability centered maintenance. *Procedia CIRP*, 69, 905-909.
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications*: CRC press.
- Jiang, W., Xie, C., Zhuang, M., & Tang, Y. (2017). Failure mode and effects analysis based on a novel fuzzy evidential method. *Applied Soft Computing*, 57, 672-683.
- Larrea Moreano, A. D., Nuela Sevilla, S. E., Redrobán Dillon, C. D., Calderón Freire, E. F., Tenicota García, A. G., & Arregui Toro, C. D. (2018). Aproximación a un análisis conceptual del proceso de mantenimiento en el entorno industrial. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 6(1).
- Malik, A. (2019). Creating competitive advantage through source basic capital strategic humanity in the industrial age 4.0. *International Research Journal of Advanced Engineering Science*, 4(1), 209-215.
- Martinez-Monseco, F. J. (2021). An approach to a maintenance plan for a turbine of hydroelectric power plant. Optimisation based in RCM and FMECA analysis. *Journal of Applied Research in Technology Engineering*, 2(1), 39-50.
- Mollahassani-Pour, M., Rashidinejad, M., & Pourakbari-Kasmaei, M. (2018). Environmentally constrained reliability-based generation maintenance scheduling considering demand-side management. *IET Generation, Transmission Distribution*, 13(7), 1153-1163.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*: Gran Bretaña: Aladon Ltda.
- Ozdemir, B., & Kumral, M. (2019). Analysing human effect on the reliability of mining equipment. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 26(6), 872-887.
- Pariaman, H., MK, I. G., Prajitno, I. S., & Sugiarto, B. (2017). Availability analysis of the integrated maintenance technique based on reliability, risk, and condition in power plants. *International Journal of Technology*, 8(3), 497-507.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la*

- Gestión de Activos:
INGECON.
- Patil, R. B., Kothavale, B. S., & Powar, R. S. (2020). Effects of Human and Organizational Factors on the Reliability and Maintainability of CNC Turning Center. In *Reliability, Safety and Hazard Assessment for Risk-Based Technologies* (pp. 751-764): Springer.
- Rahmati, S. H. A., Ahmadi, A., & Karimi, B. (2018). Multi-objective evolutionary simulation based optimization mechanism for a novel stochastic reliability centered maintenance problem. *Swarm Evolutionary Computation*, 40, 255-271.
- Razuri Guanilo, J. C., & Ventura Llanos, E. (2020). *El mantenimiento en el siglo XXI*.
- Rodríguez Machado, A. (2012). *Manual de gestión de mantenimiento*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas,
- Salazar, M. C. Z. (2017). La confiabilidad operacional y su perspectiva para mejorar la explotación de las máquinas agrícolas. *Revista Ingeniería Agrícola*, 3(1), 54-60.
- Schuh, G., Jussen, P., & Optehostert, F. (2019). Iterative Cost Assessment of Maintenance Services. *Procedia CIRP*, 80, 488-493.
- Singgih, M., Prasetyawan, Y., Hartanto, D., Kurniawan, F., & Wicaksana, W. (2019). Maintenance management improvement based on reliability centered maintenance II in energy generating industries. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: reduce costs, improve quality, and increase market share*: Elsevier.
- Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, 118, 1295-1303.
- Tian, Z.-p., Wang, J.-q., & Zhang, H.-y. (2018). An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and VIKOR methods. *Applied Soft Computing*, 72, 636-646.
- Valbuena, M., & Álvarez, M. (2016). Tipos de mantenimiento realizados en las empresas de distribución de productos metalmecánicos en los municipios Cabimas y Lagunillas. *REVECITEC*, 6(2), 61-78.
- Vega Mendoza, P. J. (2013). *Diseño de la Estrategia de*

Mantenimiento Basada en la Confiabilidad, RCM e inspección Basada en el Riesgo, RBI, para la línea Critica de Producción de la Empresa ITALCOL SCA Ubicada en Girón, Santander.

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138.

Wu, S., Chen, Y., Wu, Q., & Wang, Z. (2016). Linking component importance to optimisation of preventive maintenance policy. *Reliability Engineering System Safety*, 146, 26-32.

Yavuz, O., Doğan, E., Carus, E., & Görgülü, A. (2019). Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. *Procedia Computer Science*, 158, 227-234.