

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD PARA UNA LÍNEA DE SECADO TMS EN INDUSTRIAS
CANNON DE COLOMBIA S.A**

BENJAMIN ELIAS MEDINA CARRASQUILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020**

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD PARA UNA LÍNEA DE SECADO TMS EN INDUSTRIAS
CANNON DE COLOMBIA S.A**

BENJAMIN ELIAS MEDINA CARRASQUILLA

**Monografía de Grado presentada para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director
MAURICIO VELÁSQUEZ MARÍN
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2020

DEDICATORIA

Agradecido con Dios, mi familia, con la vida y con la Universidad Industrial de Santander por acompañarme en esta travesía de aprendizaje para la vida.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCION	10
1 MARCO CONTEXTUAL	11
1.1 INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A.....	11
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	13
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.1 OBJETIVOS	17
2.1.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	17
3 JUSTIFICACION DEL PLAN PROPUESTO	18
4 ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA	19
4.1 MARCO CONCEPTUAL	19
5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	26
5.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	26
5.2 DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES	30
5.3 CONTEXTO OPERATIVO Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO	31
5.4 ESPECIFICACIONES GENERALES.....	32
5.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	33
5.6 HOJA DE INFORMACIÓN RCM.....	34
5.7 DIAGRAMA DE DECISIÓN	39
5.8 HOJA DE DECISIÓN RCM.....	39
5.9 CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE RIESGO.....	40
6 PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	43
6.1 PROPUESTAS DE REDISEÑO.....	47
7 CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Top equipos por número de fallas año 2019.....	26
Tabla 2. Contexto operativo sistema extractor de borras.....	32
Tabla 3. Especificaciones técnicas módulo de secado.	33
Tabla 4. Hoja de información RCM sistema extractor de borras.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resumen proceso fabricación toalla de rizo	15
Figura 2. Diagrama de flujo RCM.....	23
Figura 3. Porcentaje de fallas por división línea TMS.	26
Figura 4. Número de fallos por componente en módulos TMS.....	27
Figura 5. Línea de secado TMS.....	28
Figura 6. Taxonomía línea TMS.....	29
Figura 7. Componentes que conforman el sistema extractor de borras.....	30
Figura 8. Interfaces de sistema objeto de estudio.....	31
Figura 9. Diagrama de decisión RCM.....	38
Figura 10. Matriz valoración de riesgo Industrias Cannon de Colombia. S.A	41
Figura 11. Formato de monitoreo puntual de vibraciones y temperatura.....	45
Figura 12. Formato de lubricación para extractor de borras	46
Figura 13. Propuesta sistema redundante final de carrera	47
Figura 14. Ejemplo de canal aislado para cableado.	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Hoja de decisión RCM sistema extractor de borras.	42
Cuadro 2. Propuesta de mantenimiento para extractor de borras.	43

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA UNA LÍNEA DE SECADO TMS EN INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A. ¹

AUTORES:
BENJAMIN ELIAS MEDINA CARRASQUILLA

PALABRAS CLAVES:
MANTENIMIENTO, MANUFACTURA, SECADORA TEXTIL, CONFIABILIDAD, FMEA.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto propone una mejora en el plan de mantenimiento aplicado a una empresa de manufactura en el sector textil, mediante la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para un equipo crítico de la compañía, con el fin de mejorar la disponibilidad del activo y la productividad de la línea.

La implementación de la metodología parte por la selección de la línea de secado TMS, considerado como sistema crítico por su incidencia en el proceso productivo de la compañía y por el alto índice de fallas presentado en el historial de mantenimiento presentado para los dos últimos años; esto como resultado de un análisis de criticidad aplicado donde se consideran además aspectos como la afectación del equipo al medio ambiente, seguridad y los costos que representa el mantenimiento del activo.

Bajo la premisa que tiene la metodología RCM de conservar la función de los sistemas, se analizan los modos y efectos de las fallas identificadas, categorizándolas posteriormente según su criticidad para finalmente definir la acción de mantenimiento que debe ser aplicada para los diferentes ítems mantenibles que son objeto de este estudio.

Finalmente se proponen las rutinas de mantenimiento y periodicidad que deben ser aplicadas al activo para una operación más efectiva.

¹ Monografía de Grado

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, director de la Monografía Ing. Mauricio Velásquez Marín

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN PROPOSAL BASED ON RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR A TMS DRYING LINE AT INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A. ²

AUTHORS:
BENJAMIN ELIAS MEDINA CARRASQUILLA

KEY WORDS:
MAINTENANCE, MANUFACTURING, TEXTILE, RELIABILITY, DRYER, FMEA.

DESCRIPTION:

This project proposes an improvement in the maintenance plan applied to a manufacturing company in the textile sector, through the implementation of the reliability centered maintenance methodology applied to a critical equipment of the company, in order to improve the availability of the asset and productivity of the line. The implementation of the methodology begin with the selection of the TMS drying line, considered a critical system due to its impact on the company's production process and due to the high failure rate presented in the maintenance history presented for the last two years; this as a result of a criticality analysis applied where aspects such as the impact of the equipment on the environment, safety and the costs of maintaining the asset are also considered.

Considering that RCM methodology objective is to preserve the system function, failure causes and effects on the system are analyzed, subsequently categorizing them according to their criticality to finally define the maintenance action that must be applied for the different maintainable items that are object of this study.

Finally, maintenance routines to perform are proposed for a more effective operation.

² Grade Monograph

Faculty of mechanical engineering, School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization., Director: Mauricio Velásquez Marín, Mechanical Engineer

INTRODUCCION

El mantenimiento juega un papel importante en la operación de las empresas puesto que con una gestión adecuada permite asegurar la confiabilidad y la disponibilidad de los activos para operar con el margen económico más conveniente para la compañía. Lo que finalmente se traduce en un sistema influyente para la rentabilidad de las empresas.

El mercado y el ambiente competitivo para las empresas está cambiando constantemente, los clientes cada vez quieren obtener más beneficios de un producto, con mejor calidad y a menor precio. Esto para las empresas se traduce a un proceso de mejoramiento continuo con planes de operación y mantenimiento dinámicos que se ajusten a las necesidades cambiantes de la compañía.

Los líderes de mantenimiento en las empresas tienen el deber de identificar las estrategias de mantenimiento que mejor se ajusten al modelo de negocio haciendo uso de las diferentes metodologías buscando innovación.

La empresa objeto de estudio del presente proyecto cuenta con estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo; que no han sido efectivas lo que impulsa el estudio que se desarrolla en este documento.

Este proyecto propone analizar un componente clasificado como crítico para la compañía en términos de productividad, mediante la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad; con el objetivo de proponer una optimización al plan de mantenimiento actual.

1 MARCO CONTEXTUAL

1.1 INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A

Industrias Cannon de Colombia S.A nació en Barranquilla, Colombia en el año 1962, como transformador de productos textiles para el hogar, para ese entonces sus procesos se limitaban a la compra de toallas manufacturadas, las cuales eran estampadas, confeccionadas, empacadas y comercializadas en el mercado nacional. En el año 1986 Cannon estableció su propia planta de tejeduría en una superficie de 7,000 metros cuadrados, con 12 telares y una producción de 20 toneladas por mes, dando así inicio a su actividad exportadora³.

Hoy con unas instalaciones de más de 80,000 m² distribuidos en 3 modernas plantas, produce 1,000 toneladas por mes, de las cuales el 20% se comercializa a nivel nacional y el 80% son exportadas a más de 20 países alrededor del mundo⁴.

Productos: Con 58 años en la industria de hogar textil, 33 de ellos como fabricante de toallas, Cannon pone al servicio de sus clientes la más completa experiencia en el sector. Más de 100 telares Dornier de 2,90 metros de ancho y de última generación, son alimentados con materias primas importadas de las mejores hilanderías del mundo para producir la más variada y completa línea de toallas de rizo en 100% algodón.

Una completa integración vertical permite ofrecer a sus clientes productos fabricados acorde con sus requerimientos. La empresa satisface las necesidades de diseño, etiquetado y empaque, suministrando un producto totalmente exclusivo para ser comercializado por los clientes con sus propias marcas si así lo requiere.

³ INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A. [Sitio web]. Barranquilla: CANNONCOL. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: <https://www.cannoncol.com>

⁴ ISI EMERGING MARKETS [Sitio web]. Bogotá: EMIS, Perfil de la compañía Industrias CANNON de Colombia S.A. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Industrias_Cannon_De_Colombia_SA_es_1198969.html

Industrias Cannon en el exterior: El 100% de la comercialización de las toallas para hotelería, de Industrias Cannon de Colombia en EEUU, se hace a través de su compañía Sobel Westex. Con sede en las Vegas, Nevada, y locaciones en Honolulu, Atlantic City y Miami, Sobel Westex atiende la hotelería más importante de los Estados Unidos suministrándoles todos los productos textiles como toallas, sábanas, cobijas, batas de baño, etc.

Todas las toallas que Sobel Westex vende son elaboradas en Industrias Cannon de Colombia. Es así como se fabrican en la planta de Barranquilla las toallas de hoteles como el Bellagio, Four Seasons, Mandalay Bay, los resorts de Disney, entre otros⁵.

Consumo de agua: Preocupados por la vida, hemos implementado un sistema de tratamiento de aguas residuales en nuestro proceso de tinturado, contribuyendo a la preservación del medio ambiente. Así, por medio de 3 pozos profundos de agua ubicados en nuestras instalaciones y con dos modernas maquinas Matrix de osmosis inversa con capacidad de 3000 M3 por día, Cannon trata toda el agua que consume en los procesos de tintorería y calderas retornando el agua limpia al vertimiento final.

Generadores de energía: La compañía cuenta con tres generadoras JE Genbacher a gas, produce 5,6 MW/h con lo que cubrimos el 100% de la demanda de energía interna actual 4,7 MW/h y además despeja el futuro para próximas ampliaciones. Estos generadores de fuerza trabajan con gas natural con emisiones limpias, libre de gases sulfurados.

⁵ DOCPLAYER [Sitio web]. Bogotá: Docplayer, Perfil de la compañía Industrias CANNON de Colombia S.A. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/90268302-Perfil-de-la-compania-industrias-cannon-de-colombia-s-a.html>

Protección al medio ambiente: Estamos comprometidos con la preservación del medio ambiente, dando cumplimiento a las normas establecidas por los organismos de control ambiental. Hemos implementado técnicas ambientales en nuestra planta de tejeduría, instalando un sistema recolector de fibra corta propio de procesos de hilados y transformación del algodón.

El sistema LUWA es un novedoso diseño climatizado textil, recolector de material de algodón particulado, el cual se filtra y almacena en sacos para el futuro reciclaje. El sistema SOHLER es un sistema recolector de fibras flotante dispersas en el medio ambiente, que contribuye a la limpieza de las salas de tejeduría y urdido, manteniendo limpia nuestra planta. Nuestras maquina secadora tipo TUMBLING equipada con un moderno sistema de filtración, recolector de fibra y material particulado, incluye el prensador de producto final, material reciclable de diversos usos⁶.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

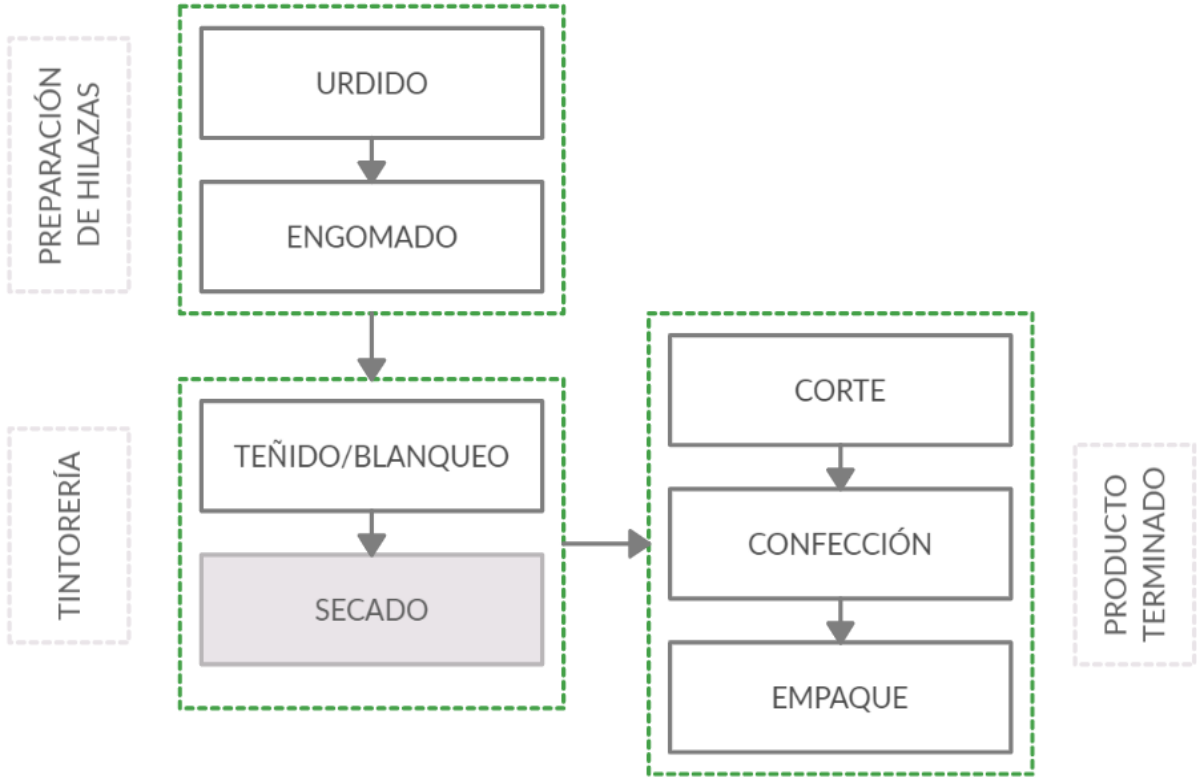
El proceso para fabricación de toalla de rizo 100% se puede resumir brevemente en la secuencia que se indica en la figura 1.

- **Urdido:** En este proceso se toma la materia prima en conos de hilaza y de cada cono se toma una cuerda para formar finalmente un cilindro de mayor tamaño con alrededor de 300 a 400 hilos.
- **Engomado:** La función principal de este proceso es impregnar el hilo de una solución de goma a base de almidón para aumentar la resistencia a la tensión de las hilazas. Esto se logra guiando los cilindros a través de los compartimientos que contienen la solución y posteriormente retirando el exceso de humedad.

⁶ INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A. Op. cit.

- **Tejeduría:** En este proceso se da la formación del tejido según las especificaciones de diseño enhebrando los hilos en una secuencia ordenada haciendo uso de telares por chorro de aire.
- **Teñido y blanqueo:** El proceso de tintorería comprende las operaciones de blanqueo para la línea de toalla hotelera y el teñido a color por agotamiento, colorantes reactivos y colorantes tinas.
- **Secado:** Es el proceso encargado de retirar la humedad residual del tejido que ha sido lavado y suavizado. Este proceso cuenta con dos líneas que cubren la demanda total de la planta las cuales son la línea TSR y la línea TMS, esta última es el equipo central sobre el cual se desarrolla la metodología presentada en este trabajo. Estas líneas son consideradas de alta criticidad porque la ineficiencia de una de ellas incide en la capacidad de producción de la planta en general puesto que todas las referencias en el catálogo de productos que ofrece la empresa requieren de este proceso.
- **Corte y confección:** El producto terminado es cortado y confeccionado mediante máquinas automatizadas que entregan el producto con las dimensiones especificadas en la ficha técnica de diseño y son empacadas para su despacho final.

Figura 1. Resumen proceso fabricación toalla de rizo



Fuente: Elaboración propia

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Industrias Cannon de Colombia, empresa manufacturera en el sector textil, actualmente dispone de dos líneas de secado para el tejido de toalla 100% algodón en su proceso productivo. Estas líneas de secado tienen una capacidad de producción en conjunto de 40 Toneladas/día de toalla terminada, lo cual define la producción total de la sección de tintorería y acabados; es decir, el equipo de secado, es un equipo de alta criticidad dentro del proceso de fabricación de esta empresa.

En el año 2019 la disponibilidad alcanzada para las líneas de secado fue de 90%; con esta disponibilidad, la capacidad de producción para las líneas de secado se vió afectada en un 14% en comparación con las cifras de años anteriores. El histórico de fallas en el 2019 para estos equipos evidencia un incremento en el número de acciones correctivas por parte del equipo de mantenimiento general, lo cual se tradujo en un impacto desfavorable en la disponibilidad y el incremento en los costos asociados al mantenimiento mismo.

El plan de mantenimiento preventivo diseñado y ejecutado en la actualidad por la coordinación de mantenimiento general, no permite garantizar la disponibilidad objetivo planteada por la gerencia para alcanzar los objetivos de la compañía en materia de producción; por esta razón, en este proyecto se propone una optimización a dicho plan de mantenimiento preventivo actual, mediante la aplicación de la metodología de mantenimiento centrada en confiabilidad.

Para desarrollar la propuesta planteada, se ha seleccionado la línea TMS como caso estudio y se aplicará la metodología RCM a fin de obtener una propuesta de un nuevo plan de mantenimiento, así como los costos asociados a estas nuevas rutinas, de modo que sea actualizado el presupuesto de mantenimiento general.

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para la línea de secado TMS mediante la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, para la empresa Industrias Cannon de Colombia S.A.

2.1.2 Objetivos Específicos:

- Analizar la información contenida en la hoja de vida del equipo para seleccionar los sistemas que serán evaluados para la aplicación de la metodología.
- Establecer las fronteras que delimiten los sistemas que serán objeto de estudio.
- Definir las funciones y fallas funcionales de los componentes que conforman el sistema de análisis.
- Desarrollar análisis de modo y efectos de falla para las fallas funcionales identificadas.
- Diseñar plan de mantenimiento preventivo propuesto para la línea TMS

3 JUSTIFICACION DEL PLAN PROPUESTO

Industrias Cannon de Colombia S.A dispone de dos plantas para la fabricación, confección, empaque y despacho de su producto terminado a sus clientes en Colombia, Estados Unidos, Europa y China. Con la creciente demanda de sus productos en el mercado internacional, los directivos de la compañía decidieron aumentar en un 12% la capacidad de producción en el área de tejeduría mediante la adquisición de nuevos equipos.

En estas condiciones la sección siguiente en el flujo del proceso, tintorería, estaría ocupándose en un 89% de su capacidad; por lo cual se requiere de una disponibilidad mínima de 92% en los equipos de la sección para poder cumplir con el objetivo de producción trazado por gerencia y ser capaces de abastecer las necesidades del mercado.

Por esta razón, el departamento de mantenimiento general busca estrategias de mantenimiento alternativas que permitan reducir los tiempos de paro asociados a actividades de mantenimiento correctivas y que apunten a la conservación de las funciones principales de los equipos de secado para cumplir con los estándares de calidad que caracterizan el producto ofrecido por la compañía.

4 ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

4.1 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se muestran algunos conceptos relevantes para la comprensión de la metodología aplicada en el presente trabajo. Se tomó como referencia para la organización y presentación de la información de este documento, el trabajo presentado por Romero y Durán⁷.

Mantenimiento: según Moubray⁸, todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que realice una tarea. Entonces, cuando mantenemos un bien, lo que queremos preservar es un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario. Por lo que el mantenimiento se puede definir como el asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM): El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es el proceso para determinar el enfoque de mantenimiento más efectivo. La filosofía de RCM emplea el mantenimiento preventivo (PM), el mantenimiento predictivo (PdM), el monitoreo en tiempo real (RTM1), el funcionamiento hasta la falla (RTF, también llamado mantenimiento reactivo) y las técnicas de mantenimiento proactivo de manera integrada para aumentar la probabilidad de que una máquina o componente funcionará de la manera requerida

⁷ ROMERO, Ever Enrique y DURAN, Luis Daniel. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para los precalentadores de aire regenerativo de la central termogujira, GECELCA S.A. E.S.P. Monografía de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (UIS). Escuela de Ingeniería Mecánica. Programa de Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2018

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance). Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 edición. Aladon Ltd, 2004, versión original en 1991. ISBN 09539603-2-3

durante su ciclo de vida de diseño con un mínimo de mantenimiento. El objetivo de la filosofía es proporcionar la función establecida de la instalación, con la confiabilidad y disponibilidad requeridas al menor costo⁹. RCM requiere que las decisiones de mantenimiento se basen en requisitos de mantenimiento respaldados por una sólida justificación técnica y económica.

En la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos¹⁰.

Filosofía del RCM: La filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en un método que busca la mejora de un sistema, manteniendo un enfoque costo efectivo identificando las características de su operación. Esto con el fin de administrar los riesgos que puedan contener las posibles fallas funcionales de una manera económicamente efectiva, en especial en situaciones donde el recurso económico es limitado.

La filosofía de RCM difiere de otras estrategias de mantenimiento por enfocarse en preservar las funciones para las cuales se diseñó un sistema determinado, en lugar de realizar mantenimiento a los equipos de manera aislada sin considerar las relaciones entre los diferentes sistemas.

⁹ NOWLAN, F. Stanley and HEAP, Howard F. Reliability-Centered Maintenance. Report Number AD-A066579. United States Department of Defense: 1978.

¹⁰ CAMPOS, Omar; TOLENTINO, Guilibaldo; TOLEDO, Miguel y TOLENTINO, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*. 2019, vol. 23, nro. 1, pp. 51-59.

Un aspecto importante de esta filosofía es priorizar los sistemas mediante la asignación de niveles de criticidad basados en las consecuencias de la pérdida de la función. Dicho esto, podríamos afirmar que está en línea con el objetivo fundamental de ser rentable con eficiencia canalizando los recursos a las tareas de alta prioridad.

Algunas de las normas que se pueden consultar para ampliar este tema, se pueden consultar en la bibliografía. Como es el caso de la norma SAE JA1011 que establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM, la norma ISO 14224 para definir y uniformizar la información del equipo, o la norma a SAE JA1012 para definir el modo de falla que causa una falla funcional y la falla raíz ^{11 12 13 14 15 16}.

Principios del RCM: Son los que a continuación se mencionan.

- RCM está orientado a la función, quiere decir que busca preservar la función del equipo sistema donde se implementa, no solo la operatividad del mismo. Redundancia de funciones, a través de múltiples equipos, mejora la confiabilidad funcional, pero aumenta el costo del ciclo de vida en términos de adquisición y costos de operación.

¹¹ SAE INTERNATIONAL. SAE JA1011_199908. 1999

¹² SAE INTERNATIONAL. SAE JA1012_201108, Aerospace Standard. 2011

¹³ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Norma IEC 60300-3-11, International Standard. 2009

¹⁴ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14224, International Standard. 2016

¹⁵ MILITARY STANDARD. MIL-STD-882C. 1993

¹⁶ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60812, International Standard. 2006

- RCM está enfocado en el sistema, está más enfocado en mantener la función del sistema que mantener cada componente de manera individual.
- RCM está centrado en la confiabilidad, trata las estadísticas de fallas de manera actuarial. La relación entre la edad operativa y las fallas experimentadas es importante. RCM no está demasiado preocupado por la tasa de fallas; busca conocer la probabilidad condicional de falla en edades específicas (la probabilidad de que ocurra una falla en cada grupo de edad de operación).
- RCM reconoce limitaciones de diseño, su objetivo es mantener la confiabilidad inherente de acuerdo al diseño del equipo, reconociendo que los cambios en la confiabilidad inherente son competencia del diseño y no de mantenimiento. El mantenimiento puede, en el mejor de los casos, solo alcanzar y mantener el nivel de confiabilidad para el equipo que se proporciona por diseño. Sin embargo, RCM reconoce que la retroalimentación brindada por el área de mantenimiento puede ayudar a mejorar el diseño original.

El análisis RCM considera cuidadosamente las siguientes preguntas:

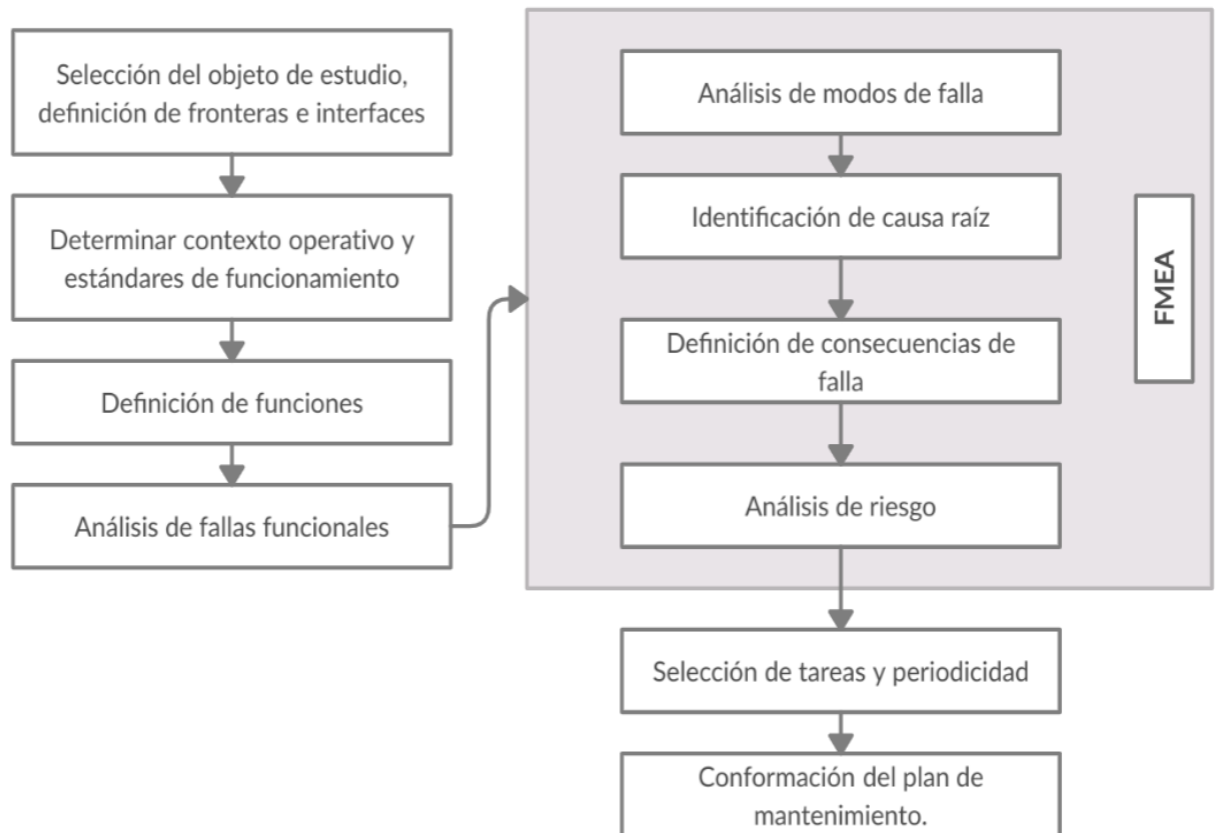
¿Qué hace el sistema o equipo; cuál es su función?

¿Qué fallas funcionales pueden ocurrir?

¿Cuáles son las posibles consecuencias de estas fallas funcionales?

¿Qué se puede hacer para reducir la probabilidad de falla, identificar el inicio de la falla o reducir las consecuencias del fracaso?

Figura 2. Diagrama de flujo RCM.



Fuente: Elaboración propia

Los pasos descritos en el diagrama de flujo de la ilustración 1 de la metodología del RCM se pueden definir de la siguiente forma, como lo describen Deshpande y Modak¹⁷ :

¹⁷ DESHPANDE, V.S. y MODAK, J.P. Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 2002, nro 77, pp 31-43. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00011-X)

Selección del objeto de estudio, definición de fronteras e interfaces: La selección puede estar al nivel de una pieza (por ejemplo, engranajes), un componente (por ejemplo, válvulas, bombas), un sistema (por ejemplo, sistema de suministro de vapor, sistema), o la planta. El sistema se selecciona como punto de partida para el proceso de RCM. Deben consultarse para la recopilación de información, documentos tales como los esquemas y/o diagramas de bloques del sistema, los archivos del historial de equipos, los manuales de los proveedores, los manuales de operación del sistema, entre otros.

Ahora bien, los equipos principales incluidos en el sistema se identifican con límites físicos primarios. La definición precisa de los límites es importante por dos aspectos importantes: En primer lugar, para asegurarse de que no se descuiden las funciones potencialmente importantes y, en segundo lugar, la frontera será un factor determinante para establecer qué entra en el sistema, como señales de potencia, flujo de calor, etc., y así mismo lo que sale del sistema; lo cual ayuda a construir un diagrama de bloques funcional.

Determinar contexto operativo y estándares de funcionamiento: Se desarrollan cinco elementos de información: (a) Descripción del sistema que revele la descripción funcional, (b) Diagrama de bloques funcional que indica la jerarquía de las principales funciones del sistema, (c) Interfaces, (d) Estructura de desglose del trabajo, (e) Historial de fallas del equipo.

Definición de funciones: La información de los pasos anteriores proporciona la base para definir las funciones del sistema. Esto es necesario para satisfacer el primer principio de RCM para preservar las funciones del sistema.

El desarrollo de las interfaces se logra identificando las entradas y salidas del sistema comprendido dentro de volumen de control que delimita la frontera.

Análisis de falla funcional: Una falla funcional se define como la incapacidad del equipo para cumplir con el estándar de operación. El equipo de RCM debe trabajar en conjunto para definir estos estándares¹⁸.

FMEA: Se definen inicialmente los modos de falla de los componentes específicos (cómo debe fallar el componente para producir una falla funcional) y la causa raíz (razón básica) de cada modo de falla. Finalmente, la consecuencia del modo de falla se realiza en tres niveles de consideración, localmente a nivel de componente, a nivel de sistema y de la planta. Las dos razones principales para realizar un análisis de efectos son (1) asegurar que el modo de falla en cuestión tiene de hecho una relación potencial con la falla funcional que se está estudiando, y (2) introducir una selección inicial de modos de falla que no sean perjudiciales.

Selección de tareas y periodicidad: La selección de tareas en el proceso de RCM requiere que cada tarea sea aplicable y efectiva; donde la aplicabilidad se refiere a que la tarea evitará o mitigará la falla, detectará el inicio de una falla o descubrirá una falla oculta, y la eficacia a que la tarea es la opción más rentable.

Conformación del plan de mantenimiento: Finalmente, establecer el plan de mantenimiento de acuerdo a todos los pasos anteriores de la metodología.

¹⁸ DESHPANDE, V.S. y MODAK, J.P. Maintenance strategy for tilting table of rolling mill based on reliability considerations. Reliability Engineering and System Safety. 2003, nro 80, pp 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00152-7)

5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

5.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

La selección del sistema objeto de estudio para el desarrollo de la metodología que se presenta en este trabajo se realizó con base en la información de los indicadores de producción y mantenimiento presentados por Industrias Cannon de Colombia S.A durante el 2019. La información contenida en las bases de datos consultadas con el software de desarrollo interno que maneja la compañía permitía revelar que la capacidad de producción para la sección de secado se había visto reducida por el alto índice de fallas que presentaban las líneas de secado TSR y TMS¹⁹.

Tabla 1. Top equipos por número de fallas año 2019.

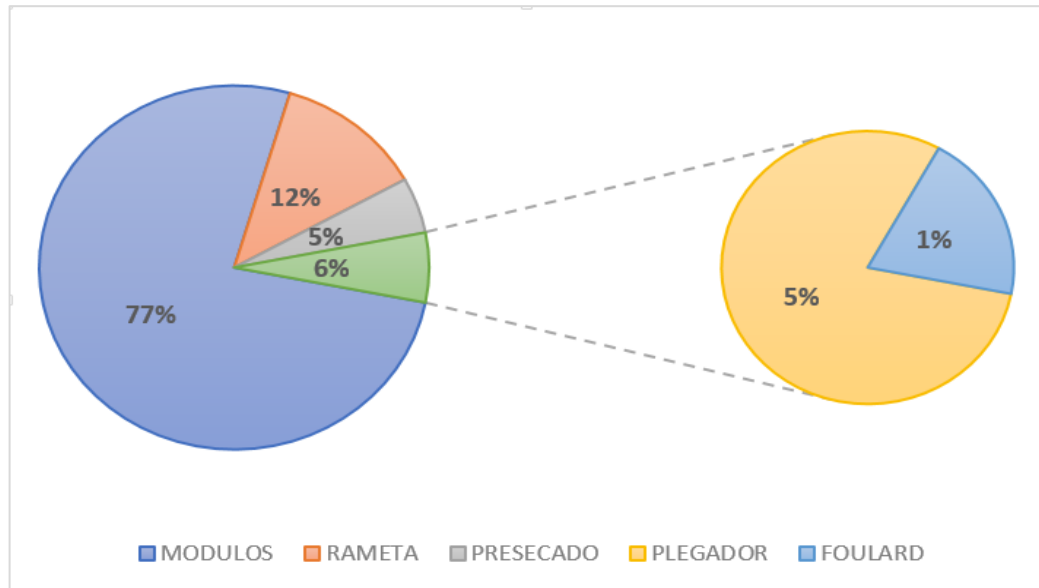
EQUIPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
TUMBLER # 2 (TMS)	10	6	5	3	14	7	4	4	13	13	2		81
TUMBLER # 1 (TSR)	12	8	5	4	8	11	2	5	7	11	2		75
RAMA MONFORTS	4	6	6	7	7	3	5	5	8	9			60
ENGOMADORA # 2	10	7	1	2	11	3	2	4	5	3			48
ENGOMADORA # 4	1	2	4	3	4	4	4	2	5	4		1	34
ENGOMADORA # 1	13	2	1	3	5	1	1	1	2	5			34
LAVADORA BENN	3	1	2	1	4	5		3	7	3			29
LAVADORA MENZEL	3	2	1	4	2	4	3			7			26
ENGOMADORA # 3	1	4	2		3	1	1	2	3	4	2		23
TEÑ. PAD BATCH	2		2	2	2	4	2	3	2	3	1		23

Considerando que el equipo TMS tiene una capacidad de producción superior a su antecesora TSR, la disponibilidad de este equipo tiene mayor impacto en la

¹⁹ JAUME ANGLADA VIÑAS. Manual de operación y mantenimiento línea TMS. La Llagosta, Barcelona. 2013

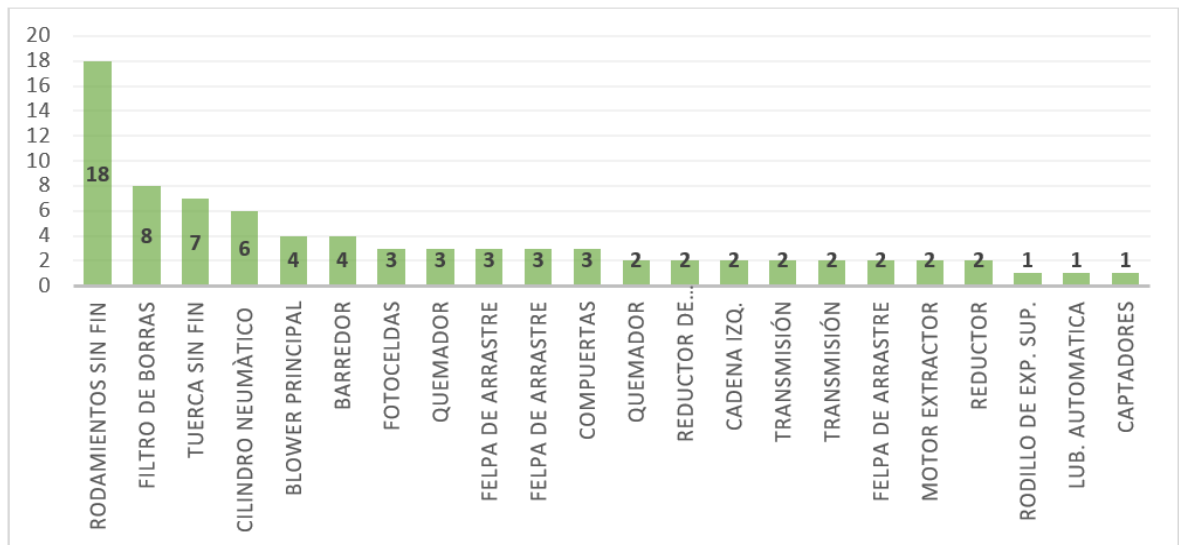
eficiencia total del proceso, lo que hizo que la línea TMS fuese seleccionada para la implementación de la metodología RCM.

Figura 3. Porcentaje de fallas por división línea TMS.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Número de fallos por componente en módulos TMS



Fuente: Software de operaciones Industrias Cannon de Colombia. S.A

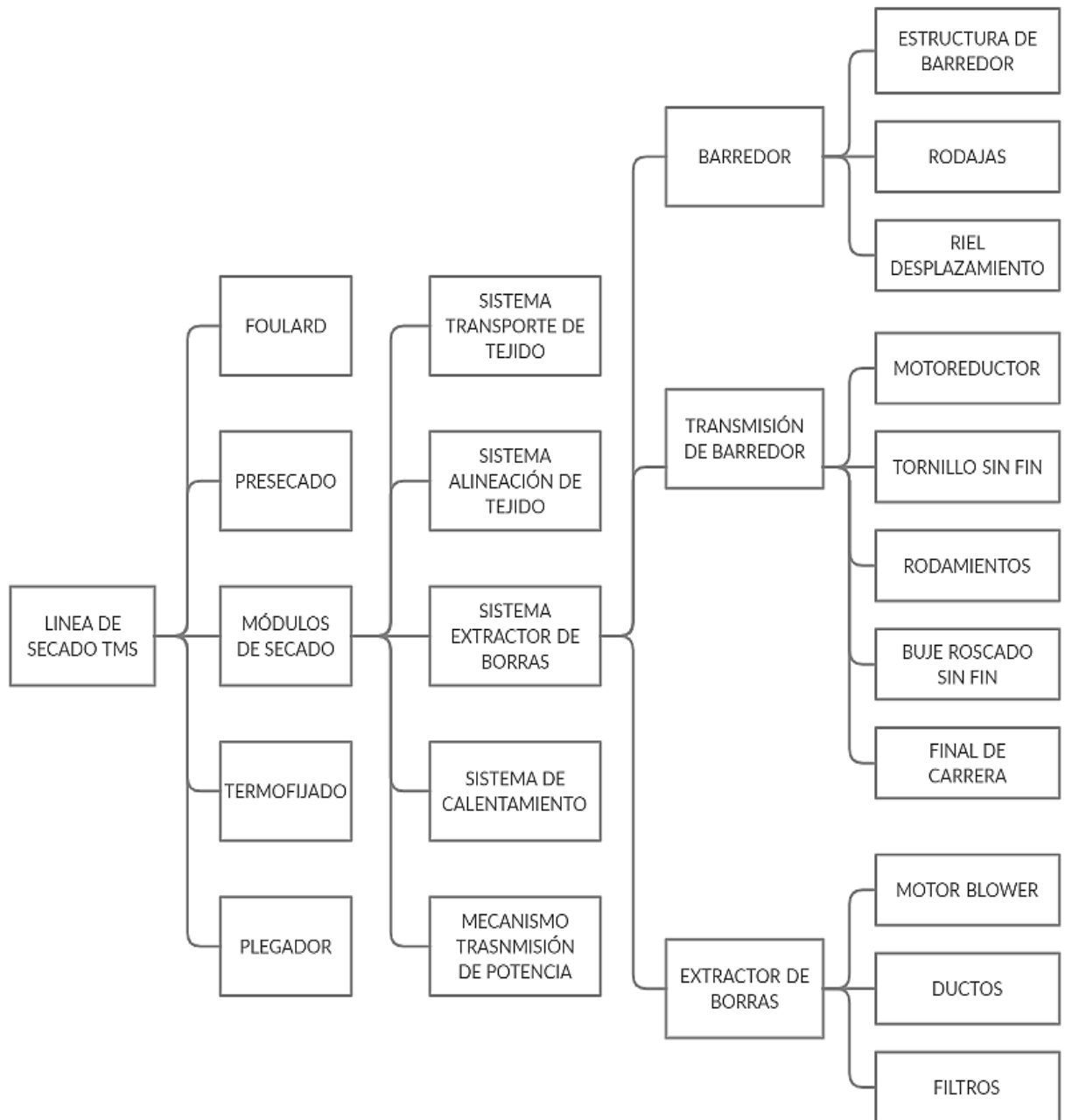
Figura 5. Línea de secado TMS



Fuente: Industrias Cannon de Colombia S.A

La taxonomía de la línea nos permite identificar los sistemas, mecanismos y partes que la componen para centrarnos en un análisis más específico de los componentes y definir el contexto operativo en el que trabajan.

Figura 6. Taxonomía línea TMS

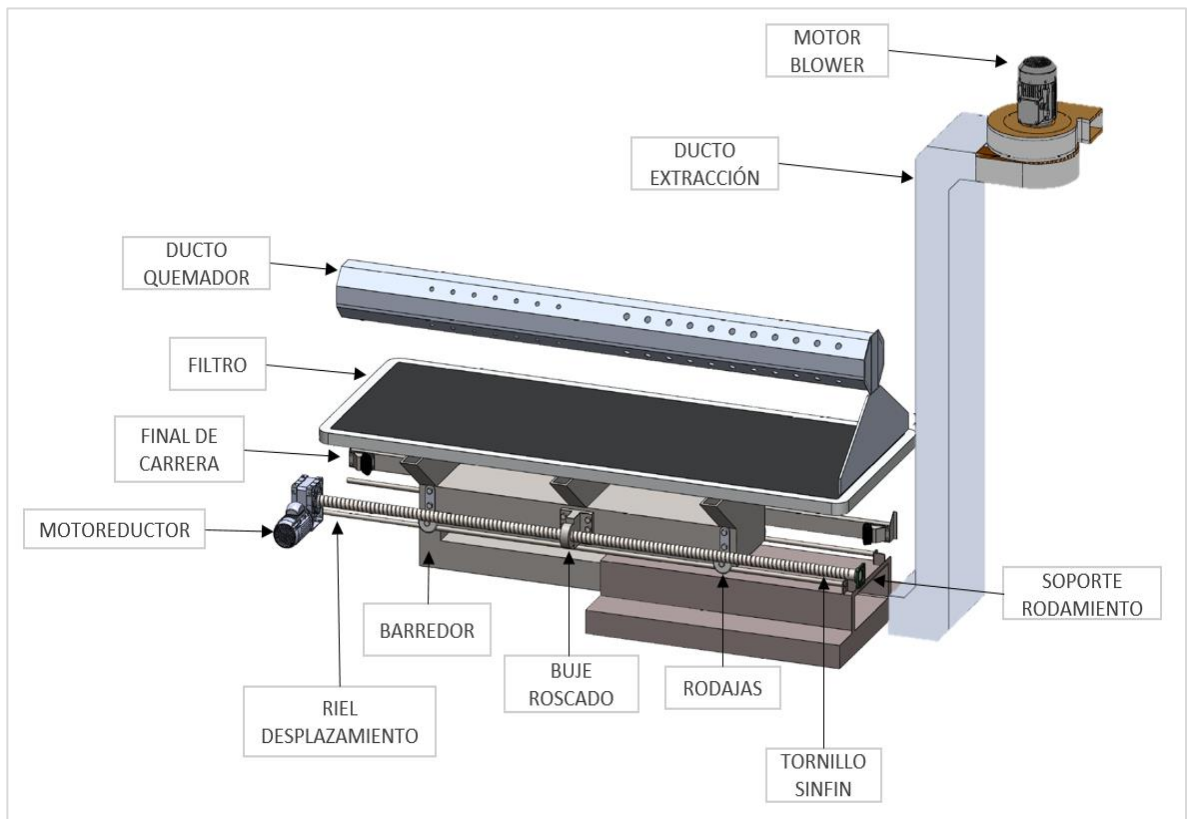


Fuente: elaboración propia

5.2 DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES

Los componentes que hacen parte del sistema extractor de borras se pueden identificar en la vista isométrica del ensamblaje presentado en la Figura 7.

Figura 7. Componentes que conforman el sistema extractor de borras.

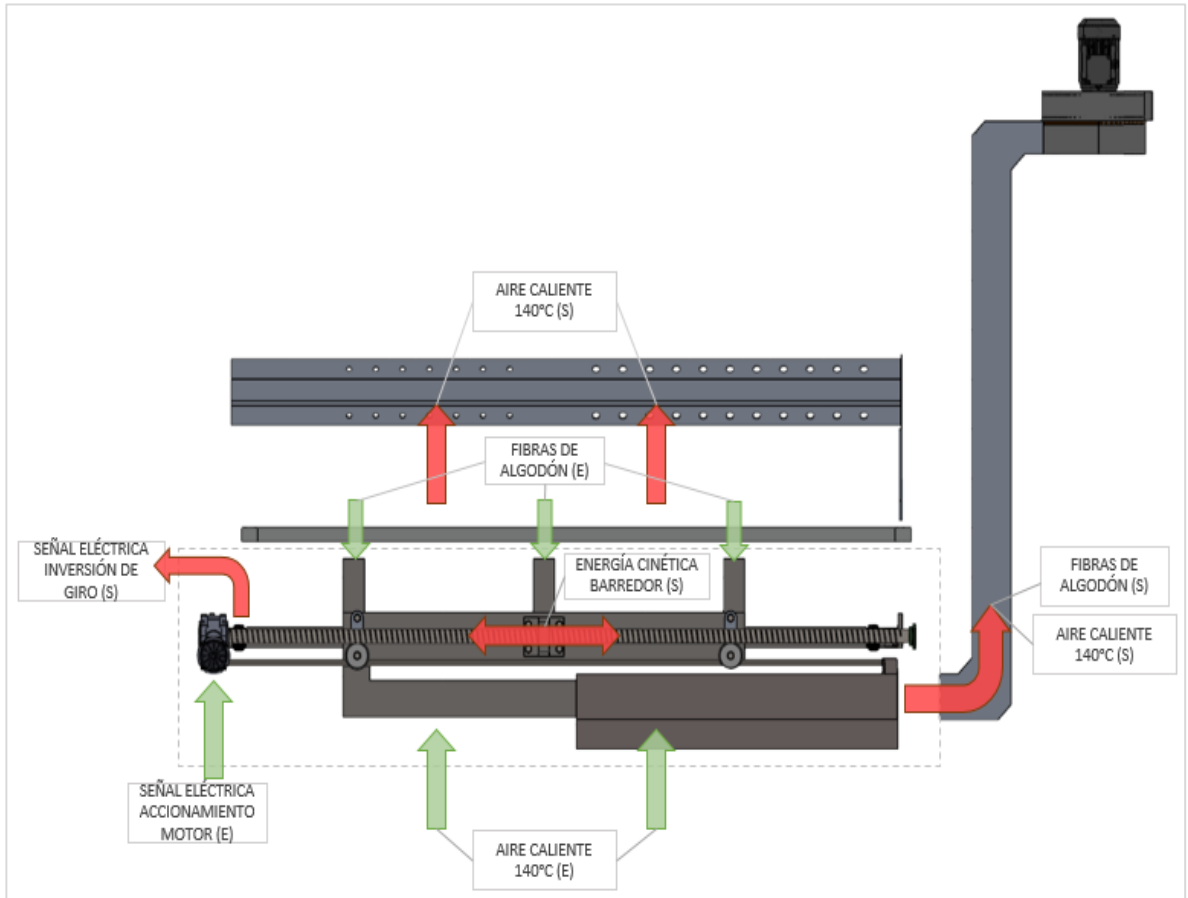


Fuente: elaboración propia

Para definir el contexto operacional del sistema, definir las funciones y los posibles modos de falla es importante limitar el sistema objeto de estudio del resto de componentes que conforman el equipo. Esto permite comprender ampliamente el funcionamiento general del sistema y el papel que tiene cada componente en el conjunto de ensamble.

En la figura 8 se establecen las fronteras que delimitan el objeto de estudio y se detalla la forma en que los diferentes componentes interactúan con el entorno exponiendo las interfaces.

Figura 8. Interfaces de sistema objeto de estudio.



Fuente: elaboración propia

5.3 CONTEXTO OPERATIVO Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO

La línea TMS es un equipo de secado compuesto por secciones, que fue diseñado para deshumidificar tejidos terry towel 100% algodón, mediante la interacción del tejido con corrientes de aire a temperaturas entre 120°C y 140°C. Cada módulo de secado cuenta con un quemador de gas natural para elevar la temperatura de las

recamaras por donde es transportado el producto por la acción de dos ventiladores de 12 kW que además de transportarlo, cumplen la función de agitar la tela en repetidas ocasiones para retirar fibras de algodón excedentes y levantar el anillo del rizo. Finalmente el tejido es sometido un proceso denominado termofijado, donde se sostiene la tela en sus extremos mediante una cadena de pinzas de acuerdo al ancho final de la trama y se transporta al interior de una cámara aislada a una temperatura de 120° C. A la salida de la línea están dispuestos cuatro captadores ópticos ubicados transversalmente que realizan lecturas de la trama, en busca de posibles desviaciones o sesgos en el tejido y emite una señal para corregir el error mediante la variación de velocidad de las cadenas de pinzas izquierda y derecha.

Tabla 2. Contexto operativo sistema extractor de borras.

Elemento de estudio	Características técnicas del elemento	Condiciones operacionales	Condiciones ambientales
Sistema extractor de borras	Motor blower: 12 kw / 440 v / 3600 rpm. Motor reductor: 1 kw / 440v / 1740 rpm. Single start leadscrew: 30 x 6 Filtro mesh 60 malla acero 304	Velocidad de avance: 2 m/min. Jornada de trabajo 24 horas continuo. Tipo de aplicación: remoción de borras y humedad al interior del módulo. Temperatura de trabajo 140°C	Ambiente de trabajo: alto contenido partículas de fibra algodón en el aire.

5.4 ESPECIFICACIONES GENERALES

Los módulos de secado que forman parte de la línea TMS cuentan con las características de diseño que se definen en la tabla 2.

Tabla 3. Especificaciones técnicas módulo de secado.

Especificaciones	Descripción
Ancho de trabajo (mm)	2600
Capacidad (Ton/22h)	11.2
Velocidad máxima (m/min)	50
Dimensiones campo l x a x h (mm)	9,947 x 3,100 x 3,412 mm
Humedad a entrada de campo	65%
Humedad a salida de campo	8%
Consumo de gas	0,079 m ³ N/Kg
Consumo corriente eléctrica	0,159 kWh/kg
Consumo de aire promedio	0,52 l/kg -
Potencia de ventiladores (kW)	30 kW x 2
Potencia total instalada (kW)	124 kW
Teleservice	Vía Ewon
Sistema enderizador de trama	Mahlo FMC 126
Filtración de aire	Malla de acero mesh 60
Centrador de tejido	Banda de polycord automático

5.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Sistema extractor de borras: Este sistema tiene la función de recoger las fibras de algodón atrapadas en el filtro de acero inoxidable a la entrada de la cámara del quemador, lo que permite una mejor circulación de aire al interior del módulo al liberar la obstrucción al paso de aire y permite también la extracción de los gases de combustión residuales del proceso.

La extracción de estas fibras también es necesaria para mejorar el secado puesto que pueden almacenar un porcentaje de humedad entre 5% y 8%.

Barredor: Está compuesto por una estructura móvil fabricada en lámina que se desplaza axialmente a una velocidad de 2 m/min, apoyado sobre cuatro rodajas conducidas sobre un par de rieles; esta estructura tiene tres boquillas en la parte superior que reciben las fibras atrapadas en el filtro de borras.

La función principal del barredor es desplazarse de lado a lado a lo largo del filtro recolectando las fibras de algodón.

Transmisión de barredor: El desplazamiento de la estructura se logra mediante una transmisión por tornillo sin fin accionada por un motoreductor de 1 kW y limitada por sensores de contacto tipo limit switch, los cuales invierten el giro del motor una vez alcanzada alguna de sus dos posiciones finales limitantes. Una vez alcanzada la posición final, la estructura regresa a la posición inicial y un temporizador configurado por el operador permite que la operación de barrido se ejecute nuevamente de manera cíclica durante un tiempo determinado.

La función de la transmisión es dar movimiento y dirección al barredor de borras, transformando la energía eléctrica suministrada al motor en energía cinética permitiendo el desplazamiento del barredor.

Extractor de borras: El extractor de borras está compuesto por un ventilador centrífugo de 12 kW que genera una corriente de aire de presión negativa al interior de un ducto de aspiración; esta corriente fluye a través del barredor hasta las boquillas del mismo, permitiendo la succión de las fibras y el transporte de estas hacia los compactadores para posteriormente ser recicladas y reutilizadas como materia prima para otros procesos de fabricación.

5.6 HOJA DE INFORMACIÓN RCM

La hoja de información RCM se utilizó en el desarrollo de la metodología para listar las funciones de la línea TMS comprendidas dentro de las fronteras que se definieron anteriormente e identificar las fallas funcionales, modos de falla y efectos de las mismas.

El principal objetivo del mantenimiento visto bajo la perspectiva de la metodología RCM, es mantener la función para la cual el equipo fue diseñado. Por esta razón el

primer paso para el análisis es definir las funciones del sistema de extracción de borras presentadas en el principio de funcionamiento.

Fallas funcionales: Conocidas las funciones de los elementos que componen el sistema extractor de borras, el equipo de RCM desde las distintas perspectivas de operaciones, mantenimiento, calidad y salud ocupacional; debatió sobre las distintas fallas que pudieran ocasionar pérdida parcial o total de la función principal y se listaron en la hoja de información²⁰.

Modos de falla: Cada falla funcional se analiza de manera individual buscando identificar la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, estas acciones pueden ser por ejemplo desgaste de componentes por vida útil, desajuste, lubricación, montaje inadecuado u operación incorrecta. Posteriormente se realiza un registro de los modos de falla que sean razonablemente probable de ocurrir dado el contexto operativo del equipo²¹.

Efectos de falla: Son considerados como la forma en que el sistema se ve afectado por la ocurrencia de la falla. Para definir estos efectos se analizaron las evidencias presentadas para las fallas que ya habían ocurrido alguna vez, así como también los daños o afectaciones a otros componentes que se hayan podido registrar como consecuencia de la falla y las acciones correctivas necesarias para repararlas. Para el caso específico del sistema extractor de borras se pudo identificar que el efecto de la falla para distintos modos de falla se presentaba como una disminución en la velocidad del equipo, lo que supone una pérdida en la capacidad de producción de la línea de secado. Esta disminución de la velocidad se manifiesta

²⁰ Ibid., p. 08.

²¹ Ibid., p. 09.

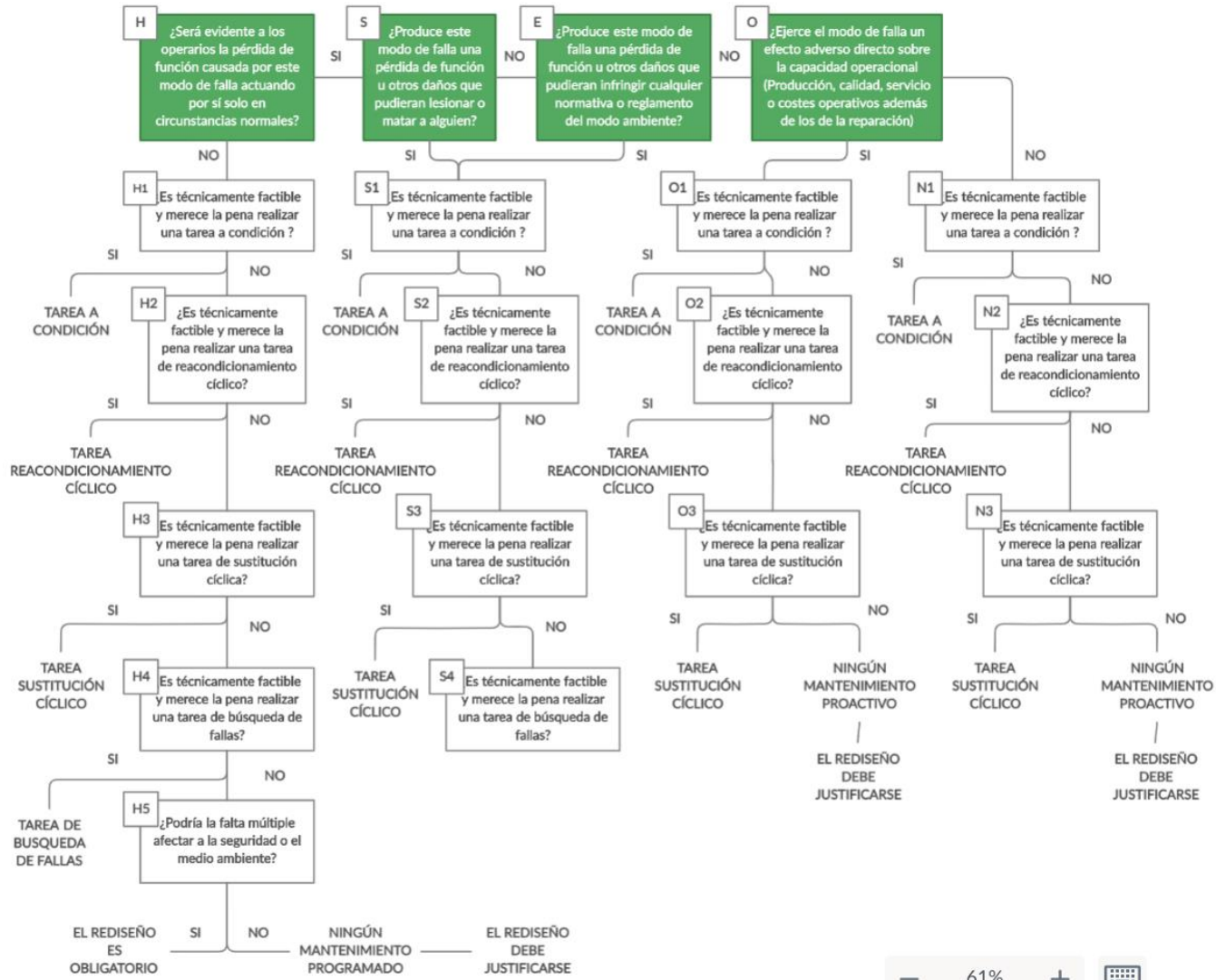
como una condición operativa que tiene el equipo para garantizar un porcentaje de humedad a la salida de los módulos de secado; una vez se ve afectada la eficiencia de secado, el equipo automáticamente regula la velocidad hasta conseguir la humedad deseada²².

²² Ibid., p. 09.

Tabla 4. Hoja de información RCM sistema extractor de borras.

Función (F)	Falla funcional (FF)	Modo de falla (MF)	Efecto de falla (EF)
1 Desplazar barredor a lo largo del filtro	A El barredor no se desplaza	(i) Rodamiento frenado por lubricación deficiente	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(ii) Rodamiento desgastado por vida útil	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(iii) Rodajas atascadas	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(iv) Motoreductor inoperativo por vida útil	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(v) Buje sin fin desgastado por vida útil	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(vi) Buje sin fin desgastado por lubricación deficiente	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
2 Transportar fibras de algodón hacia el ducto de extracción	B Ducto no contiene el material	(i) Ducto roto	Contaminación de área con partículas de fibra en el ambiente.
	C Barredor no aspira la fibra	(i) Ventilador inoperativo por vida útil.	Disminución de velocidad de producción por incremento de humedad.
		(ii) Filtro roto	Tejido manchado por quema de fibras
3 Cambiar la dirección de desplazamiento para barredor	D Final de carrera no emite señal	(i) Contactos aislados por presencia de fibra	Choque de barredor con estructura del módulo
		(ii) Cable roto	Choque de barredor con estructura del módulo
	E Final de carrera no hace contacto con el barredor	(i) Palanca de accionamiento fuera de posición	Choque de barredor con estructura del módulo

Figura 9. Diagrama de decisión RCM



5.7 DIAGRAMA DE DECISIÓN

El diagrama de decisión es el elemento que permite decidir las acciones que deban ser implementadas analizando los modos de fallo que se presentan en la hoja de información.

Este diagrama se compone por cuatro módulos relacionados mediante una serie de preguntas que guían a los analistas hasta llegar a una decisión final, como se observa en la figura 9.

5.8 HOJA DE DECISIÓN RCM

La hoja de decisión que se propone en el cuadro 1, permite comparar los modos de falla presentados en la hoja de información, con los interrogantes que plantea el diagrama de decisión RCM y las consecuencias que puede tener la ocurrencia de la falla.

Para representar la evaluación de consecuencias en la hoja de decisión RCM, los criterios fueron abreviados de la siguiente manera:

- Falla oculta (H): Sugiere considerar si la falla es fácilmente perceptible por el operador del equipo, de no ser así la falla o pérdida de la función podría ocasionar el deterioro de otro componente perteneciente al mismo sistema y convertirse entonces en una falla múltiple.
- Consecuencias en la seguridad o medio ambiente (S): La metodología RCM considera en primer lugar las implicaciones en materia de seguridad que puedan presentarse como consecuencia de una falla. Esta metodología contempla también las afectaciones que dicha falla pueda representar para el medio ambiente

- Consecuencias de tipo económico (E): Evalúa el impacto económico de la falla.
- Consecuencias a la operación (O): Se considera si la falla afecta de manera directa la capacidad productiva de un equipo o de la línea de producción. El impacto de la falla se puede evidenciar en pérdida de la calidad del producto, productividad, atención al cliente, imagen de la compañía, entre otros.

Una vez se llega a una decisión sobre cada uno de los modos de falla, se definen las tareas a realizar, la periodicidad con la que se deben ejecutar y el responsable de llevarla a cabo. En definitiva se define la estrategia de mantenimiento para el sistema objeto de estudio.

5.9 CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE RIESGO

La evaluación de riesgo utilizada para la selección del objeto a ser estudiado en este proyecto se realizó teniendo en cuenta la matriz de valoración de riesgo con la que cuenta la empresa Industrias Cannon de Colombia S.A. Esta matriz propone evaluar las consecuencias para la seguridad, costos de la operación, productividad y/o afectaciones al medio ambiente que puedan darse como consecuencia de un evento no deseado.

Para la evaluación de cada consecuencia, se evalúa la severidad podría que llegar a tener el evento y la probabilidad de ocurrencia del mismo. Sin embargo, si alguna de las consecuencias evaluadas se encuentra en la zona definida como crítica, entonces se considerará el componente como crítico.

Figura 10. Matriz valoración de riesgo Industrias Cannon de Colombia. S.A

Severidad	Consecuencia				Probabilidad					
	Clasificación	Seguridad	Costo producción + Costo mantenimiento	Producción	Medio ambiente	1	2	3	4	5
						>10 años <1%	< 5 años 1% - 5%	< 2 años < 25% - 25%	< 6 meses 25% - 50%	± 1 mes >50%
					Remoto	Muy poco probable	Poco probable	Moderado	Probable	
5	Catastrófico	Múltiples fatalidades.	> \$128M	<ul style="list-style-type: none"> Más de 3 días de producción. > 80% Capacidad línea de producción 	Cotaminación mayor con consecuencias significativas para el medio ambiente. Impacto a nivel externo	5	10	15	20	25
4	Crítico	Efecto letal en varias personas, una fatalidad o lesiones físicas severas.	\$127M - \$86M	<ul style="list-style-type: none"> Hasta 3 días de producción. 50% - 80 % Capacidad línea de producción. 	Contaminación mayor a exterior, evacuación de personas	4	8	12	16	20
3	Marginal	Efecto letal en una persona o lesiones permanentes, invalidez.	\$86M - \$44M	<ul style="list-style-type: none"> > 24 horas de producción. 30% - 50% Capacidad línea de producción. 	Contaminación moderada dentro de los límites de propiedad.	3	6	9	12	15
2	Significativo	Incapacidad temporal sin efectos permanentes.	\$43M - \$11M	<ul style="list-style-type: none"> De 2 a 8 horas pérdida de producción. 10% - 30% Capacidad línea de producción. 	Derrame o liberación de contaminante que requiera declaración, pero sin consecuencias ambientales.	2	4	6	8	10
1	Moderado	Lesión leve no incapacitante.	< \$10M	<ul style="list-style-type: none"> < 2 horas de pérdida. 10% Capacidad línea de producción. 	Derrame menor o liberación de contaminante, no requiere una declaración.	1	2	3	4	5

Fuente: Sistema de gestión Industrias Cannon de Colombia S.A

Cuadro 1. Hoja de decisión RCM sistema extractor de borras.

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tipo de decisión	Descripción tarea	Frec. (días)	Responsable
							S1	S2	S3								
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
1	A	(i)	N	N	S	S	N	S	-	-	-	-	Lubricación	Lubricación de rodamiento por grasera.	20	Lubricador	
1	A	(ii)	N	N	S	S	N	N	S	-	-	-	Recambio	Cambio de rodamiento a soporte.	180	Técnico mecánico	
1	A	(iii)	N	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Recambio	Cambio de rodamientos a rodajas.	360	Técnico mecánico	
1	A	(iv)	N	N	N	S	S	-	-	-	-	-	Inspección	Monitoreo de vibraciones y temperatura.	7	Técnico mecánico	
1	A	(v)	N	N	N	S	S	-	-	-	-	-	Inspección	Cambio de buje sin fin.	240	Técnico mecánico	
1	A	(vi)	N	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Lubricación	Lubricación de rosca con lubricante sólido.	20	Lubricador	
2	B	(i)	N	S	N	N	N	N	N	N	N	-	Correr a fallo	Ninguna acción de mantenimiento.	-	-	
2	C	(i)	N	N	N	S	S	-	-	-	-	-	Inspección	Monitoreo de vibraciones y temperatura.	7	Técnico mecánico	
2	C	(ii)	N	N	S	S	S	-	-	-	-	-	Inspección	Inspección de condición a malla de filtro.	2	Operador	
2	C	(iii)	N	N	S	S	N	S	-	-	-	-	Limpieza	Limpieza periódica de ducto extracción.	30	Operador	
3	D	(i)	N	N	S	S	N	N	N	N	S	-	Rediseño	Propuesta rediseño por sistema redundante	-	Equipo RCM	
3	D	(ii)	N	N	S	S	N	N	N	N	S	-	Rediseño	Propuesta de rediseño protección cable.	-	Equipo RCM	

Fuente: elaboración propia.


6 PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

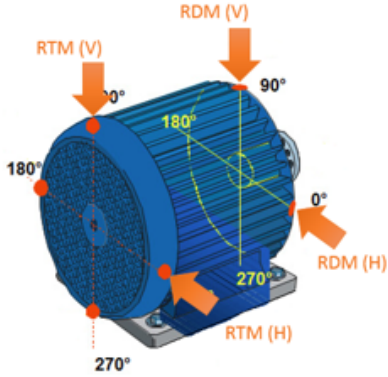
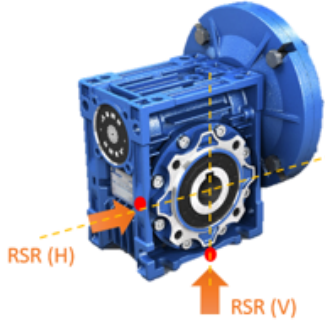
Luego de analizar individualmente las fallas y evaluar sus consecuencias considerando el diagrama de decisión, la metodología de RCM finalmente busca definir las actividades de mantenimiento necesarias para mantener la función del activo siempre que sea justificada en términos del impacto que tienen las fallas según la evaluación de criticidad que se realizó.

Cuadro 2. Propuesta de mantenimiento para extractor de borras.

Componente	Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable	Documento de referencia
Soporte de rodamiento	Lubricación	Lubricar soporte para rodamiento por las boquillas graseras.	20	Lubricador	Carta de lubricación
Soporte de rodamiento	Recambio	Cambio de rodamiento y soporte para chumacera	540	Técnico mecánico	-
Rodajas de barredor	Recambio	Cambio de rodamientos para las rodajas del barredor.	360	Técnico mecánico	-
Motoreductor barredor	Inspección	Realizar monitoreo de vibraciones y temperatura para motor reductor de tracción barredor	7	Técnico mecánico	Monitoreo condición de equipos
Buje roscado sinfín	Inspección	Revisar estado de hilos de rosca para bujes y cambiar si es necesario.	240	Técnico mecánico	-
Tornillo sinfín	Lubricación	Realizar lubricación de tornillo sin fín	20	Lubricador	Carta de lubricación
Motor blower extractor	Inspección	Realizar monitoreo de vibraciones y temperatura para motor blower extractor	7	Técnico mecánico	Monitoreo condición de equipos
Filtro de borras	Inspección	Desmontar filtro e inspeccionar condición. Cambiar si es necesario.	2	Operador	-
Ducto de extracción	Limpieza	Realizar limpieza interna a ducto a través de la escotilla.	30	Operador	-
Finales de carrera	Inspección	Realizar medición de conductividad a los finales de carrera, en caso de encontrar contactos aislados, realizar desmontaje y limpieza de los bornes.	-	Equipo rcm	-

Figura 11. Formato de monitoreo puntual de vibraciones y temperatura.

		MONITOREO CONDICIÓN DE OPERACIÓN EQUIPOS				
FECHA DE INSPECCIÓN:		EQUIPO:				
1. MOTOR VENTILADOR CENTRÍFUGO.						
CLASE ENVOLVENTE DE ACCELERACIÓN		CL3				
GRUPO DE MÁQUINAS ISO		G2&4R				
PARÁMETROS DE OBJETO		V. rms (mm/s)	ALARMA	ENVOLVENTE (gE)	ALARMA	TEMP.
BP - RDM(V)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (V)					
BP - RDM(H)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (H)					
BP - RTM(V)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (V)					
BP - RTM(H)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (H)					
2. MOTOR TRANSMISIÓN BARREDOR.						
CLASE ENVOLVENTE DE ACCELERACIÓN		CL3				
GRUPO DE MÁQUINAS ISO		G2&4R				
PARÁMETROS DE OBJETO		V. rms (mm/s)	ALARMA	ENVOLVENTE (gE)	ALARMA	TEMP.
BD - RDM(V)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (V)					
BD - RDM(H)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (H)					
BD - RTM(V)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (V)					
BD - RTM(H)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (H)					
3. REDUCTOR TRANSMISIÓN BARREDOR.						
CLASE ENVOLVENTE DE ACCELERACIÓN		CL3				
GRUPO DE MÁQUINAS ISO		G2&4F				
PARÁMETROS DE OBJETO		V. rms (mm/s)	ALARMA	ENVOLVENTE (gE)	ALARMA	TEMP.
RR - RDM(V)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (V)					
RR - RDM(H)	RODAMIENTO DELANTERO MOTOR (H)					
RR - RTM(V)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (V)					
RR - RTM(H)	RODAMIENTO TRASERO MOTOR (H)					
RR - RSR(V)	EJE DE SALIDA REDUCTOR (V)					
RR - RSR(H)	EJE DE SALIDA REDUCTOR (H)					
COMENTARIOS:						

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Formato de lubricación para extractor de borras

CANNON SINCE 1982		CARTA DE LUBRICACIÓN PARA EQUIPOS LÍNEA (TMS)/MÓDULO DE SECADO/SISTEMA EXTRACCIÓN DE BORRAS				
		SHELL OMALA S4 GX 320				
		GRADO DE VISCOSIDAD ISO	320			
		INDICE DE VISCOSIDAD	159			
		VISCOSIDAD DEL ACEITE a 40°C, cSt a 100°C, cSt (ISO 2979)	335 40			
		SKF LGHP 2				
		GRADOS NLGI	02			
		VISCOSIDAD ISO ACEITE BASE	110			
		VISCOSIDAD DEL ACEITE a 40°C, cSt a 100°C, cSt	96 10,5 DIUREA			
		MOLYKOMBIN UMF T4				
		COLOR	NEGRO			
		TEMPERATURA DE SERVICIO	-40 a 750°C			
		LUBRICANTE SÓLIDO AGLUTINANTE SOLVENTE	MoS2 ORGANIC ACETONE DIMETHYLETHER			
FRECUENCIA	COMPONENTE	PUNTOS DE INTERVENCIÓN	LUBRICANTE	REF. RODAMIENTO	CANTIDAD	ACTIVIDAD A REALIZAR
20	TORNILLO SIN FIN	2	MOLYKOMBIN UMF T4	-	100 ml	LUBRICAR LOS HILOS DEL TORNILLO SIN FIN
30	SÓPORTE DE RODAMIENTO	3	SKF LGHP 2	UC-205	0.25g x 1	ENGRASAR MEDIANTE LAS GRASERAS CORRESPONDIENTES
30	REDUCTOR TRACCIÓN	1	ACEITE OMALA S4 GX 320	-	-	INSPECCIÓN DE NIVEL DE ACEITE Y REPONER SI ES NECESARIO.
240	REDUCTOR TRACCIÓN	1	OKS 484	-	-	REALIZAR CAMBIO DE ACEITE.

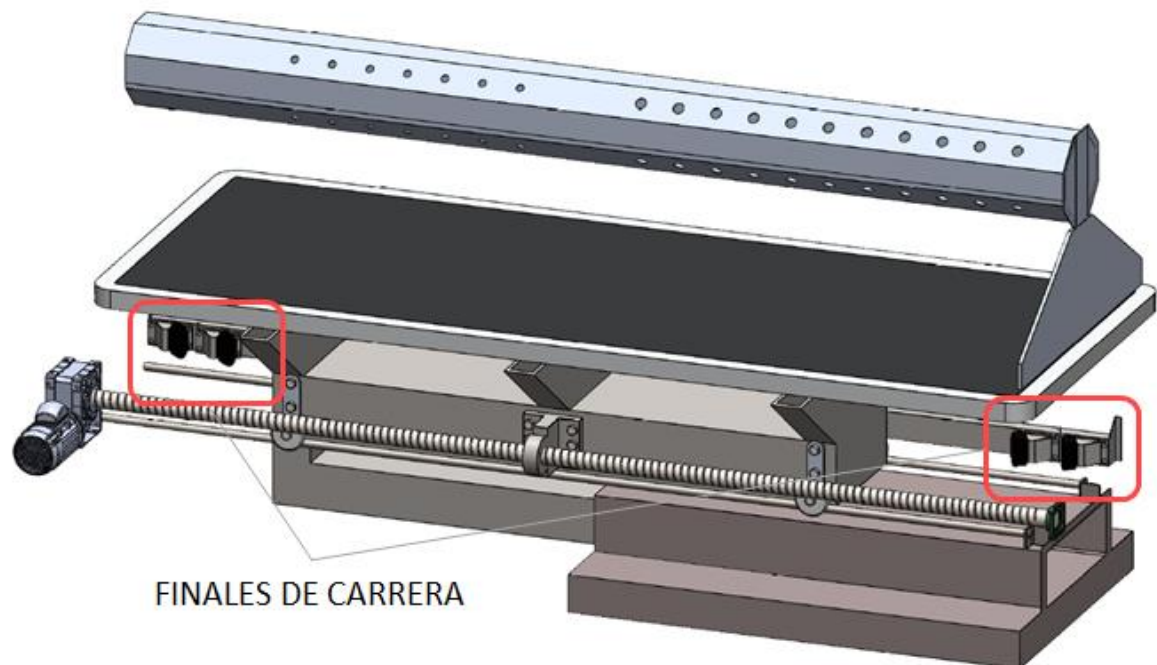
Fuente: elaboración propia

6.1 PROPUESTAS DE REDISEÑO

Luego de la evaluación realizada en la hoja de decisión RCM el equipo multidisciplinario concluyó que además de las rutinas presentadas, se hacía necesario el rediseño en tres puntos específicos para minimizar el impacto que supone la falla funcional del componente.

Propuesta rediseño por sistema redundante: En el mecanismo de inversión de giro activado por finales de carrera, el equipo de RCM concluyó que la mejor alternativa en costo eficiente para minimizar el impacto de la falla funcional era implementar un sistema redundante mediante la instalación de un segundo final de carrera. Esto sumado a una rutina de inspección en la que se realice una medición de continuidad para descartar la posibilidad de algún contacto aislado.

Figura 13. Propuesta sistema redundante final de carrera

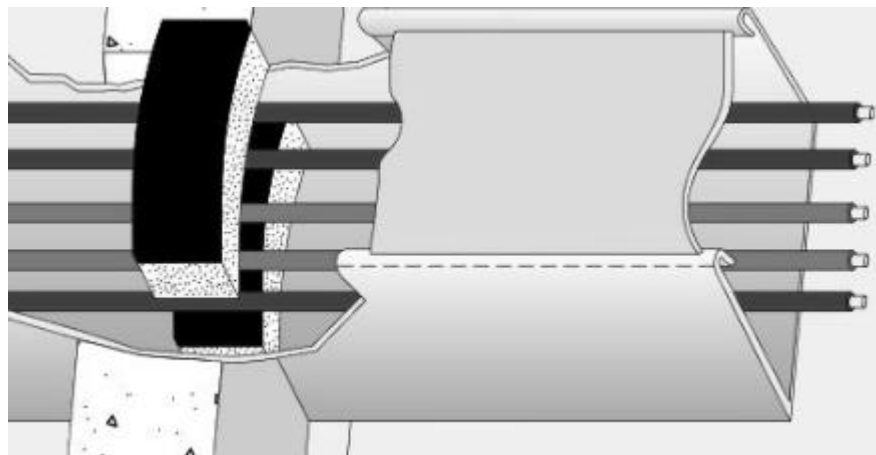


Fuente: elaboración propia

Con esta propuesta tenemos un componente de backup que reduce considerablemente la probabilidad de que el barredor continúe en movimiento más allá del límite deseado ocasionando múltiples fallos en componentes como buje roscado, tornillo sin fin y barredor por bloqueo mecánico.

Propuesta rediseño de protección cable: Adicionalmente al sistema redundante que apunta al problema de aislamiento en los contactos de los finales de carrera, el equipo de RCM identificó que una de las causas de falla presentadas estaba relacionada con el deterioro del cable utilizado para transmitir la señal. La temperatura al interior de los módulos afectaba el rendimiento del cable siliconado ocasionando que el material aislante se cristalice y deje expuestos los filamentos de cobre en su interior²³.

Figura 14. Ejemplo de canal aislado para cableado.



Fuente: Insulation Superstore

²³ INSULATION SUPERSTORE [Sitio web]. ROCKWOOL Multi-Cable Firestop, [Consulta: 03 de mayo 2020]. Disponible en: <https://www.insulationsuperstore.co.uk/product/rockwool-multicable-firestop-25-x-60-x-1000mm.html>

Para corregir este problema, se optó por diseñar una protección para el cable siliconado mediante un conducto fabricado en lámina de acero con un recubrimiento de fibra de vidrio en su interior para aislar el calor presente al interior del módulo.

7 CONCLUSIONES

El desarrollo de la metodología RCM permitió identificar un sistema crítico a nivel operacional para la empresa Industrias Cannon de Colombia S.A, basándose en la información de operación y mantenimiento recopilada de las bases de datos e indicadores durante el período 2018.

El análisis permitió observar oportunidades de mejora en las acciones de mantenimiento que realiza la empresa actualmente puesto que las actividades programadas y sus frecuencias no permitían anticipar la degradación de los componentes y por secuencia sus efectos. Se puede notar en el historial de fallos que esas actividades no estaban teniendo resultados efectivos.

Se estableció la propuesta de un plan considerando los elementos del mantenimiento centrado en confiabilidad y se propusieron dos alternativas de rediseño en componentes que el equipo de RCM determinó como no mantenibles con tareas cíclicas.

Finalmente se consiguió definir la estructura de trabajo que se debe seguir para el desarrollo de la metodología; permitiendo su expansión a otros equipos relevantes para la compañía que permitan mejorar el plan de mantenimiento general.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPOS, Omar; TOLENTINO, Guilbaldo; TOLEDO, Miguel y TOLENTINO, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*. 2019, vol. 23, nro. 1, pp. 51-59.

DESHPANDE, V.S. y MODAK, J.P. Application of RCM to a medium scale industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 2002, nro 77, pp 31-43. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00011-X)

DESHPANDE, V.S. y MODAK, J.P. Maintenance strategy for tilting table of rolling mill based on reliability considerations. *Reliability Engineering and System Safety*. 2003, nro 80, pp 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00152-7)

DOCPLAYER [Sitio web]. Bogotá: Docplayer, Perfil de la compañía Industrias CANNON de Colombia S.A. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/90268302-Perfil-de-la-compania-industrias-cannon-de-colombia-s-a.html>

INDUSTRIAS CANNON DE COLOMBIA S.A. [Sitio web]. Barranquilla: CANNONCOL. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: <https://www.cannoncol.com>

INSULATION SUPERSTORE [Sitio web]. Uk: InsulationSuperstore, ROCKWOOL Multi-Cable Firestop, [Consulta: 03 de mayo 2020]. Disponible en: <https://www.insulationsuperstore.co.uk/product/rockwool-multicable-firestop-25-x-60-x-1000mm.html>

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Application guide - Reliability centred maintenance. Norma IEC 60300-3-11, International Standard. 2009, Ed. 2. <https://webstore.iec.ch/publication/1296>

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). IEC 60812, International Standard. 2006, Ed. 2. <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/iec?c=3571>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224, International Standard. 2016, **Ed. 3**. <https://www.iso.org/standard/64076.html>

ISI EMERGING MARKETS [Sitio web]. Bogotá: EMIS, Perfil de la compañía Industrias CANNON de Colombia S.A. [Consulta: 12 de julio 2020]. Disponible en: https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Industrias_Cannon_De_Colombia_SA_es_1198969.html

JAUME ANGLADA VIÑAS. Manual de operación y mantenimiento línea TMS. La Llagosta, Barcelona. 2013

MILITARY STANDARD. System Safety Program Requirements. MIL-STD-882C. 1993. http://sesam.smart-lab.se/arbetsgrupper/IG_Prgsak/Publikat/MIL-STD-882C.pdf

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance). Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 edición. Aladon Ltd, 2004, versión original en 1991. ISBN 09539603-2-3.

NOWLAN, F. Stanley and HEAP, Howard F. Reliability-Centered Maintenance. Report Number AD-A066579. United States Department of Defense: 1978.

ROMERO, Ever Enrique y DURAN, Luis Daniel. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para los precalentadores de aire regenerativo de la central termogujira, GECELCA S.A. E.S.P. Monografía de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (UIS). Escuela de Ingeniería Mecánica. Programa de Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2018.

SAE INTERNATIONAL. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SAE JA1012_201108, Aerospace Standard. United States:2011. https://doi.org/10.4271/JA1012_201108

SAE INTERNATIONAL. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Processes. SAE JA1011_199908, Aerospace Standard. United States: 1999.
https://doi.org/10.4271/JA1011_199908