

Diseño y propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos de transporte a granel en plantas de concentrados fabricados por la empresa GS Ingeniería S.A.S.

Fredy Alexi Luna Anaya

Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

Pedro José Díaz Guerrero

Magíster en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2018

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco de referencia de la empresa	13
1.1. Datos de la empresa	14
1.2. Misión	16
1.3. Visión.....	17
2. Justificación de la solución	17
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo general.....	18
3.2. Objetivos específicos	18
4. Marco teórico	19
4.1. Tipos de mantenimiento.....	19
4.1.1 Mantenimiento correctivo	19
4.1.2. Mantenimiento preventivo	20
4.1.3. Mantenimiento predictivo.....	21
4.2. Confiabilidad de equipos	21
4.3. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM).....	24
4.3.1. Las 7 preguntas clave del RCM	25

4.3.2. Las 10 fases del RCM.....	26
4.4. Herramientas para implementar el RCM.....	28
4.4.1. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).....	28
4.4.2. RBI (Risk Based Inspection)	35
4.4.3. Análisis Crítico	35
4.4.4. Diagrama de árbol lógico de decisión.....	38
5. Diseño y propuesta para la implementación del RCM	41
5.1. Selección, formación y objetivos del equipo de trabajo	42
5.1.1. Criterios para definir prioridades	44
5.2. Selección de equipos y contexto operacional	45
5.2.1 Elevador de cangilones	46
5.2.2. Bandas transportadoras	48
5.2.3. Tornillos sin fin.....	49
5.2.4. Transportador de arrastre	51
5.3. Criticidad de equipos	52
5.4. Gestión y desarrollo del plan de mantenimiento.....	54
5.4.1. Codificación de equipos.....	54
5.5. Componentes y funciones de los equipos	56
5.6. Análisis de modos y efectos de falla.....	65
5.6.1. Causas inmediatas	65
5.6.2. Causas básicas.....	66
5.6.3. Causa Raíz	66
5.7. Análisis de criticidad para componente de los equipos	75

5.8. Tareas a programar y prevención.....	78
6. Conclusiones	84
Referencias bibliográficas.....	86

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Logo de la empresa.....	13
<i>Figura 2.</i> Ubicación GS INGENIERÍA.....	15
<i>Figura 3.</i> Zona de interés (GS INGENIERÍA).....	16
<i>Figura 4.</i> Aporte de técnicas y metodologías a la confiabilidad. A	23
<i>Figura 5.</i> Diagrama para determinar consecuencias de los modos de fallo	31
<i>Figura 6.</i> Gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente.....	33
<i>Figura 7.</i> Clasificación de la frecuencia en que se produce el modo de fallo.	34
<i>Figura 8.</i> Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo.	34
<i>Figura 9.</i> Matriz de criticidad (representación genérica)	36
<i>Figura 10.</i> Matriz de criticidad del RCM.	38
<i>Figura 11.</i> Árbol lógico de decisión.	40
<i>Figura 12.</i> Proceso para implementación del RCM en la empresa GS INGENIERÍA	41
<i>Figura 13.</i> Elevador de cangilones.	47
<i>Figura 14.</i> Partes principales del elevador de cangilones.....	47
<i>Figura 15.</i> Banda transportadora.	48
<i>Figura 16.</i> Partes de la banda transportadora	49
<i>Figura 17.</i> Tornillo Sin Fin.....	50

Figura 18. Partes del tornillo sin fin..... 50

Figura 19. Transportador de arrastre..... 51

Figura 20. Partes del transportador de arrastre..... 52

Figura 21. Codificación de equipos..... 55

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Análisis general de criticidad de equipos</i>	53
Tabla 2. <i>Componentes y funciones del elevador de cangilones</i>	56
Tabla 3. <i>Componentes y funciones de la banda transportadora</i>	59
Tabla 4. <i>Componentes y funciones del tornillo sin fin</i>	61
Tabla 5. <i>Componentes y funciones del transportador de arrastre</i>	63
Tabla 6. <i>Modos y efectos de falla del elevador de cangilones</i>	67
Tabla 7. <i>Modos y efectos de falla de la banda transportadora</i>	70
Tabla 8. <i>Modos y efectos de falla del tornillo sin fin</i>	71
Tabla 9. <i>Modos y efectos de falla del transportador de arrastre</i>	73
Tabla 10. <i>Análisis de criticidad del elevador de cangilones</i>	75
Tabla 11. <i>Análisis de criticidad de la banda transportadora</i>	76
Tabla 12. <i>Análisis de criticidad del tornillo sin fin</i>	76
Tabla 13. <i>Análisis de criticidad del transportador de arrastre</i>	77
Tabla 14. <i>Mantenimiento preventivo a realizar para el Elevador de cangilones.</i>	79
Tabla 15. <i>Mantenimiento preventivo a realizar para la Banda Transportadora</i>	80
Tabla 16. <i>Mantenimiento preventivo a realizar para el tornillo sin fin</i>	81
Tabla 17. <i>Mantenimiento preventivo a realizar para el transportador de arrastre</i>	83

Resumen

Título: Diseño y propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos de transporte a granel en plantas de concentrados fabricados por la empresa GS Ingeniería S.A.S.*

Autor: Fredy Alexi Luna Anaya**

Palabras Clave: Mantenimiento, Implementación, Propuesta, Confiabilidad, Criticidad, RCM.

Descripción:

En este trabajo de grado se muestra el proceso de diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos de transporte a granel fabricados por la empresa G.S. INGENIERÍA, con lo cual se ganaría un espacio más en el mercado al tener disponible el programa de mantenimiento post-venta de sus productos.

El RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) busca aumentar la fiabilidad en las instalaciones, disminuyendo los tiempos muertos por averías imprevistas. Con el apoyo de diversas herramientas como el FMEA (Análisis de modos y efecto de falla), Análisis de criticidad, y el árbol lógico de decisión.

Es fundamental conocer con qué tipo de activos físicos se va a trabajar y para asegurar que todos los puntos de vista estarán contemplados a la hora de hacer el estudio, es importante que haya personas de diferentes departamentos y conformar grupos multidisciplinarios

Con la posibilidad de implementar el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM se espera mejorar la productividad de los clientes a través de la reducción de costos y optimización de procesos prolongando la vida útil de los equipos, evitando los tiempos muertos y logrando que desempeñen satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseñan, durante un periodo de tiempo específico y bajo unas condiciones normales de operación lo que se convierte en un aumento satisfactorio de la rentabilidad en sus operaciones.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero, Magíster en Ingeniería Mecánica

Abstract

Title: Design and proposal for the implementation of a maintenance plan based on the RCM methodology for bulk transport equipment in concentrate plants manufactured by GS Ingeniería.*

Author: Fredy Alexi Luna Anaya*

Keywords: Maintenance, Implementation, Proposal, Reliability, Criticality, RCM

Description:

In this paper grade is shown, the design and proposal process for the implementation of a maintenance plan based on the RCM methodology for bulk transport equipment manufactured by G.S. INGENIERIA, it would gain another space in the market by having available the program of post-sale maintenance of their products.

The RCM (Reliability Centred Maintenance) seeks to increase reliability in the company reducing “dead-time” to unexpected failures. With the support of various tools such as the FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), criticality analysis, and the logical decision tree.

It is essential to take account what kind of physical assets will work with and to ensure that all possibilities will be contemplated during the study, it is important that there are people from different departments and the creation of multidisciplinary teams.

With the possibility of implementing the maintenance plan based on the RCM methodology, it is expected to improve customer productivity through cost reduction and process optimization, prolonging the useful life of the equipment, avoiding down time and achieving satisfactory performance of the functions for which it is designed, during a specific period of time and under normal operating conditions, which becomes a satisfactory increase in the profitability of its operations.

* Grade Work

* Faculty of Physical – Mechanics Engineering. Mechanical Engineering School. Director: Pedro Jose Diaz Guerrero, Master in Mechanical Engineering

Introducción

La escasez de información acerca del registro de reparaciones de los productos fabricados y comercializados por GS INGENIERÍA, la elevada cantidad de tiempos muertos en la industria, la ausencia de un procedimiento adecuado de respuesta ante una falla y la necesidad de aumentar la calidad de los servicios y productos ofrecidos para ser más competitivos, hace evidente la falta de un plan de mantenimiento preventivo post-venta con el fin aumentar la confiabilidad en los productos adquiridos por los clientes.

Una parada en la planta de concentrados tiene un impacto operacional bastante crítico, pues las maquinas que conforman la línea de proceso generalmente dependen una de la otra, en donde las principales fallas que se generan en los equipos son debido a daños en rodamientos, tensores, fatiga en los ejes, desgaste de piñones, entre otros.

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo es el primer paso para mejorar la competitividad, ya que de este modo se contara con un paquete de información básico donde se podría disponer de: la hoja de vida de las máquinas, las piezas de cambio, los arreglos o correcciones realizadas, los cambios de lubricantes, un plan de respuesta adecuado ante una falla y una metodología de inspección visual con su respectiva documentación para constatar las anomalías que se presenten durante la operación normal y así mejorar la disponibilidad de las máquinas.

De este modo el personal de trabajo estará mucho más capacitado e informado de los procesos de mantenimiento ayudando a reducir tiempos muertos logrando una mayor producción y de esta

forma la empresa GS INGENIERÍA ganaría un espacio más en el mercado con el programa de mantenimiento de sus productos.

1. Marco de referencia de la empresa

GS INGENIERÍA es una empresa Santandereana ubicada en la ciudad de Bucaramanga dedicada al diseño y fabricación de equipos para procesos agroindustriales que involucren transporte, almacenamiento y transformación de materias primas. Contando con un excelente personal capacitado y especializado en diferentes áreas de la ingeniería para cubrir todas las necesidades y expectativas del cliente brindando soluciones efectivas a los procesos y presupuestos.



Figura 1. Logo de la empresa Adaptado de: GS Ingeniería. (sf). Disponible en: <http://www.gsingenieria.co>. Se accedió: 7 de Abril de 2017

Entre los servicios ofrecidos por la empresa GS INGENIERÍA se destaca el diseño, fabricación y montaje de:

- Graneleros, sistemas de recepción y almacenamiento de granos
- Estructuras metálicas para galpones
- Encerramientos y techos.
- Piscinas de almacenamiento.
- Empacadoras dúplex.
- Subestaciones y redes de baja tensión.
- Bandas transportadoras.
- Elevadores de cangilones.

1.1. Datos de la empresa

- **Nombre:** GS INGENIERÍA S.A.S.
- **NIT:** 900.679.838-4
- **Dirección:** Calle 15 # 14 - 20 Bucaramanga
- **Atención al Cliente:** 313 456 34566 - 6713970
- **Gerente:** Eduardo Gómez Sarmiento
- **Clasificación de la empresa:** Mediana empresa (Mas de 15 empleados)

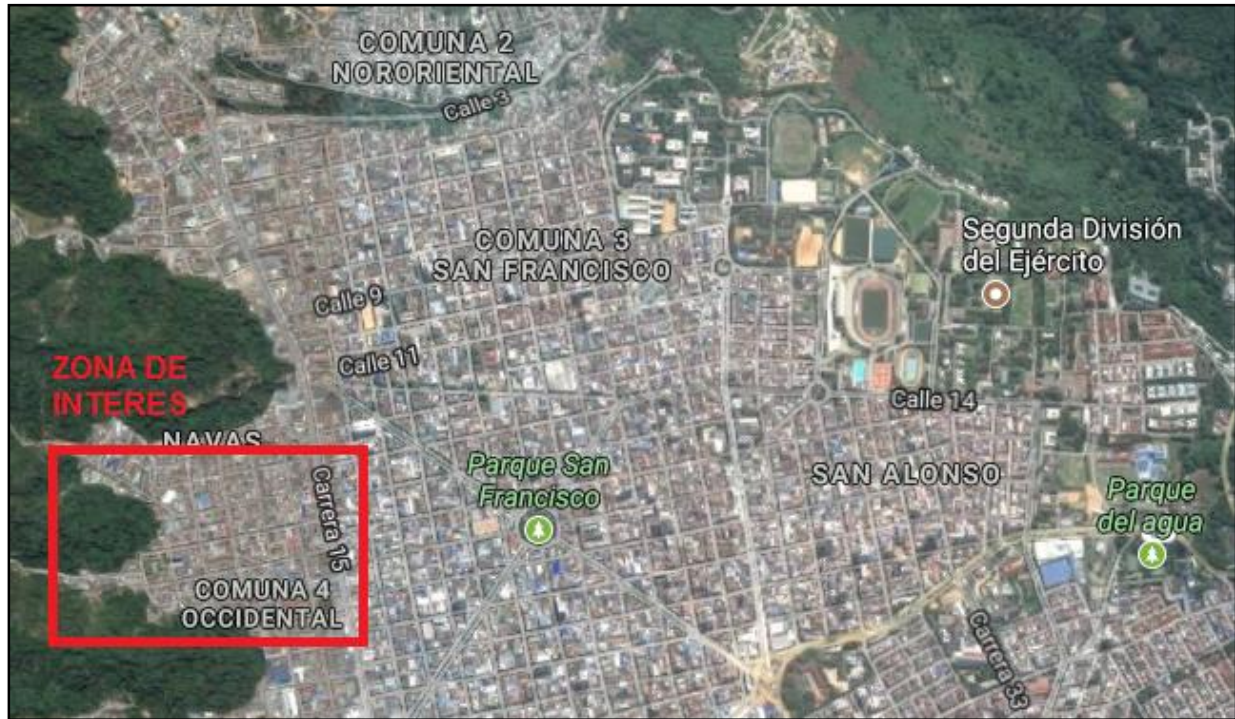


Figura 2. Ubicación GS INGENIERÍA. Adaptada de: Google. (sf). Bucaramanga, Santander.

Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/Bucaramanga,+Santander>. Se accedió: 7 de Abril de 2017

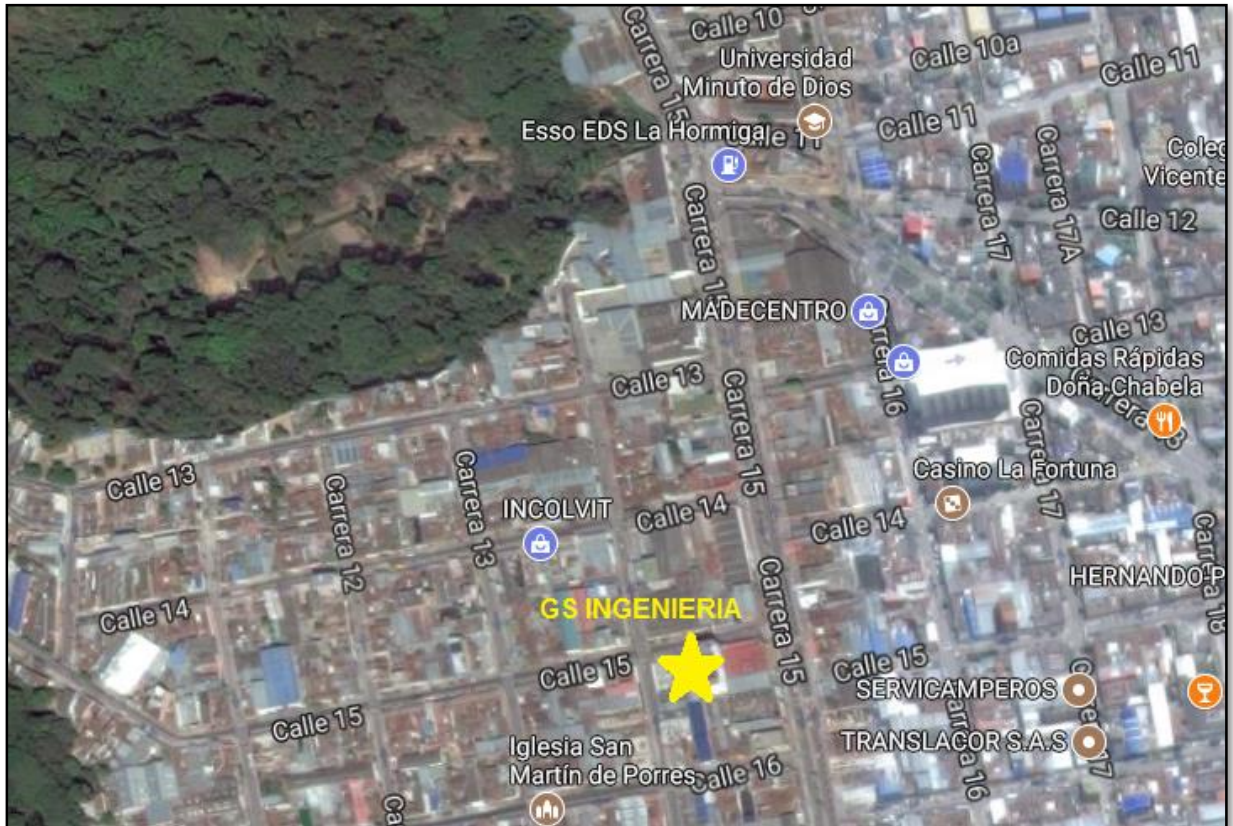


Figura 3. Zona de interés (GS INGENIERÍA). Adaptada de: Google. (sf). Bucaramanga, Santander. Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/Bucaramanga,+Santander>. Se accedió: 7 de Abril de 2017

1.2. Misión

GS INGENIERÍA busca dar soporte técnico y soluciones integrales en el campo de las ingenierías mecánica, eléctrica, mecatrónica y automatización a la industria de concentrado, extracción de aceite de palma, fabricación de espuma de poliuretano, minería y procesos agroindustriales que involucren transporte, almacenamiento y transformación de materias primas. Brindando un servicio eficiente y a tiempo a nuestros clientes.

1.3. Visión

GS INGENIERÍA pretende ser reconocida como una de las mejores empresas a nivel nacional, siendo líder en soluciones integrales y desarrollos mecatrónicas para la agroindustria, consolidándose como la primera empresa santandereana en diseño y montaje de plantas de concentrado, convirtiéndose en un aliado estratégico de sus clientes.

2. Justificación de la solución

La necesidad de una alta disponibilidad de los equipos de producción, ha generado la organización de actividades de mantenimiento en GS INGENIERÍA, incorporando programas preventivos y correctivos, sin embargo la empresa en búsqueda de su crecimiento y mejora continua, ha visto la oportunidad de abrir las puertas a un nuevo mercado, ofreciendo a sus clientes un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los equipos de transporte a granel para plantas de concentrado lo que permitirá a la empresa alcanzar estándares altos de competitividad dentro de la industria local.

Con este trabajo se pretende obtener una propuesta de mantenimiento a los productos por parte de la misma empresa fabricante, iniciando con los equipos de mayor salida y comercialización en el mercado centrandó la atención en las bandas transportadoras, transportadores sin fin y elevadores de cangilones, con el propósito de mantener la disponibilidad de los activos del cliente y obtener métodos que ayuden a prevenir fallas potenciales.

Se busca mejorar la productividad de los clientes a través de la reducción de costos y optimización de procesos con la capacidad de prolongar la vida útil de los equipos, minimizando costos y evitando los tiempos muertos en todos sus departamentos lo que se refleja en un aumento satisfactorio de la rentabilidad en sus operaciones.

3.Objetivos

3.1. Objetivo general

Generar valor agregado a los productos fabricados por la empresa GS INGENIERÍA basado en el diseño de un servicio de mantenimiento para los equipos de transporte de materia prima a granel.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la criticidad de los equipos de transporte a granel mediante análisis de modos y efectos de falla.
- Realizar un análisis de condiciones óptimas de operación y proponer estrategias de control.
- Diseñar y proponer la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para los equipos de transporte a granel fabricados por la empresa GS INGENIERÍA.

4. Marco teórico

Como objetivo general de la división de mantenimiento de toda compañía es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones, contribuyendo directamente en la mejora continua de los sistemas productivos de bienes y servicios.

4.1. Tipos de mantenimiento

Con el fin de restaurar o preservar un equipo, maquina o cualquier otro activo de una empresa se cuenta principalmente con 3 tipos de mantenimiento los cuales incluyen acciones técnicas y administrativas, estableciendo rutinas necesarias para garantizar las condiciones adecuadas que permitan el uso de los equipos de forma eficiente.

4.1.1 Mantenimiento correctivo. Como su nombre lo indica tiene como objetivo reparar las fallas que se presenten en determinado momento poniendo el equipo en marcha lo más pronto posible. Fue uno de los primeros tipos de mantenimiento implementados en la industria, siendo los equipos o maquinas quienes determinan las paradas.

Es uno de los tipos de mantenimiento más usados en las pequeñas empresas presentando las siguientes desventajas:

- Desgaste progresivo de los equipos

- Al no prevenir fallas pequeñas, puede conllevar a una reacción en cadena generando una reparación mayor.

- Tiempos muertos por fallas repentinas
- Los repuestos requeridos generalmente no se encuentran disponibles inmediatamente.

4.1.2. Mantenimiento preventivo. Este tipo de mantenimiento busca evitar las fallas en los equipos a máquinas de la línea de proceso, su éxito se basa en programas establecidos, procesos de reingeniería y estricto cumplimiento de las actividades programadas con el fin de anticiparse a las anomalías.

Se presenta entonces para el mantenimiento preventivo generalmente las siguientes actividades:

- **Mantenimiento periódico:** Consiste en efectuar grandes paradas con el respaldo del departamento de la planeación de la producción, con el fin de realizar reparaciones totales.

- **Mantenimiento programado:** Consiste en operaciones programadas con determinada frecuencia (intervalos fijos), para realizar cambios en los equipos o máquinas según las especificaciones del fabricante.

- **Mantenimiento de mejora:** Se hace con el fin de implementar mejoras en los procesos, en este caso no se tiene una frecuencia establecida.

- **Mantenimiento autónomo:** Se lleva a cabo por el operador del proceso pues no consiste en tareas especializadas.

- **Mantenimiento rutinario:** Se basa en rutinas generalmente sugeridas por la experiencia del operario, personal de mantenimiento o manuales teniendo en cuenta el contexto operacional del equipo.

4.1.3. Mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento se encuentra en un nivel superior a los anteriores, pues requiere de inversiones considerables en tecnología con el fin de conocer el estado actual de los equipos o maquinas mediante mediciones no estructuradas.

Su objetivo consiste en anticiparse a la ocurrencia de fallas, en donde entre las técnicas más comunes se encuentran:

- Termografías
- Análisis de vibraciones
- Análisis de espesores (Mediante ultrasonido)
- Análisis de lubricantes

4.2. Confiabilidad de equipos

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo unas condiciones normales de operación. (MORA, 2014, págs. 79-80)

Tenemos entonces 4 factores que deben ser tenidos en cuenta:

- **Probabilidad:** Es el resultado de dividir el número de casos que se estudian (que cuentan con una característica similar, favorables, desfavorables, etc.) entre el total de casos que se presentan.

- **Desempeño satisfactorio:** Se define como los valores, ya sean cuantitativos o cualitativos (o ambos simultáneamente) con que se puede referenciar que un equipo cumple con las expectativas de funcionamiento, operación y desempeño.
- **Período:** Se define como la duración del funcionamiento del equipo. Puede expresarse en términos de tiempo (segundos, horas, etc.) o de ciclos de funcionamiento.
- **Condiciones de operación:** Se definen como las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione (Condiciones climáticas, altura sobre el nivel del mar, temperatura, humedad, porcentaje de carga, entre otras).

La confiabilidad de los equipos es el resultado de las estrategias implementadas para la realización de las actividades de mantenimiento con lo que se busca evitar el deterioro, los modos de falla y extender el tiempo medio entre fallas (MTBF), lo que se traduce en beneficios para la organización.

Dicha confiabilidad depende de varios factores, tanto de los insumos de entrada, como del proceso de transformación y lo que se pretende entregar como producto. Sin dejar de lado el personal que está inmerso en cada etapa y que manejan su propio nivel de confiabilidad. (Silva & Orrego, págs. 51-52)

Para implementar estrategias que cumplan con los objetivos de la división de mantenimiento, es posible usar múltiples herramientas, metodologías, filosofías y hasta normas con el fin de lograrlo. En la siguiente tabla se muestra dichas técnicas y metodologías con su respectivo nivel de

aporte dependiendo de las expectativas del mantenimiento, según el manual de Pistarelli. (Pistarelli, 2012)

TÉCNICA \ OBJETIVO	FORMULAR ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	AUMENTAR CONFIABILIDAD	AUMENTAR MANTENIBILIDAD	REDUCIR GASTOS DE MANTENIMIENTO
RCM	●	●	●	●
TPM o PMO	●	●	●	●
RCA	●	●	●	●
RBI	●	●	●	●
FMEA y FMEAC	●	●	●	●
PARETO, LLUVIA DE IDEAS, DIAGRAMA CAUSA EFECTO, 5W + 1H	●	●	●	●
ANALISIS P - M, BENCHMARKING	●	●	●	●
ARBOL DE FALLAS	●	●	●	●
SIX SIGMA	●	●	●	●
HAZOP	●	●	●	●

APORTE ALTO	●
APORTE MEDIO	●
APORTE BAJO	●

Figura 4. Aporte de técnicas y metodologías a la confiabilidad. Adaptado de: PISTARELLI, A. (sf). Manual de mantenimiento

Con la información de la tabla anterior se puede inferir que la metodología llamada RCM (Retiability Centred Maintenance), o en español conocida como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es la metodología que mejor se adapta con el fin de lograr los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto.

4.3. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)

La norma SAE JA1011 lo define de la siguiente manera: "*Proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo deseen en el presente contexto operativo*" (SAE JA1011, 1999)

Mientras que John Moubray en su libro lo define como: "*RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional*" (Moubray, pág. 11)

Podemos decir entonces que el objetivo fundamental del RCM (*Reliability Centred Maintenance*), es aumentar la fiabilidad en las instalaciones, disminuyendo los tiempos muertos por averías imprevistas.

Con lo cual se aumenta la disponibilidad disminuyendo costos de mantenimiento analizando fallos potenciales en la instalación, obteniendo los siguientes resultados:

- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.
- Se analizan todas las posibilidades de fallo de un sistema, desarrollando métodos para evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- Mejoras y modificaciones en la instalación.
- Determinación del inventario de repuesto que debe permanecer en la planta, como una de las medidas paliativas de las consecuencias de un fallo.

4.3.1. Las 7 preguntas clave del RCM. De lo anterior podemos decir entonces que el RCM se basa en el manifiesto de todas las fallas potenciales, identificar las causas y determinar las medidas preventivas junto con el impacto que puede tener el realizarlas o no. Con lo cual durante el desarrollo de este proceso se plantea la siguiente serie de preguntas clave:

- **Pregunta 1: ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?**

El objetivo de esta primera pregunta es determinar la función que cumple el equipo, el sistema, subsistema o componente, con el fin de conocer cuál es el punto óptimo de trabajo y cuando se considera que se encuentra fuera de rango o tiene pérdida de funcionalidad.

- **Pregunta 2: ¿Cómo falla cada equipo?**

En este caso se busca que el grupo de mantenimiento y producción establezcan en qué momento un equipo no está cumpliendo su función en el contexto operacional (tarea para la cual fue diseñado o por la que fue adquirido).

- **Pregunta 3: ¿Cuál es la causa de cada fallo?**

Se busca la razón por la cual el equipo no está cumpliendo con las expectativas operacionales y cuál es el orden de acontecimientos que generan la anomalía o falla inminente.

- **Pregunta 4: ¿Qué parámetros monitorizan o alertan de un fallo?**

Se establecen los indicadores que muestra el equipo al fallar y se determina si afecta la operación global o solo parcial del sistema de producción.

- **Pregunta 5: ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?**

Al producirse la falla del equipo, se busca mirar cómo afecta la línea de producción o que dependen de este, si es un equipo en una producción en serie o paralelo, si se tiene un equipo en "Back Up", si puede ser reemplazado con otro o no y su impacto económico.

- **Pregunta 6: ¿Cómo puede evitarse cada fallo?**

Se establecen las actividades de mantenimiento que pueden realizarse antes de que la falla ocurra, que cambios o mejoras contribuyen a reducción en los riesgos de falla y todas las posibilidades que se puedan dar para evitarlas.

- **Pregunta 7: ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?**

Como última medida para la situación en que no exista una tarea preventiva mínima para evitar una falla se deben evaluar qué acciones podrían dar solución al problema. Si una falla no es contemplada o no existe una forma fácil de solucionarla se puede intentar realizar mejoras al equipo, un rediseño o cambio de un sistema siempre en función de la relación costo beneficio.

La respuesta a estas preguntas en cada sistema nos lleva a cumplir con los objetivos del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM. Sin embargo, es importante contar con ciertas herramientas o ayudas que permitan dar una mayor versatilidad a la solución de problemas.

4.3.2. Las 10 fases del RCM. Una vez obtenida la respuesta a cada una de las 7 preguntas anteriores se comienza con las siguientes fases:

- **Fase 1:** Definición clara de lo que se pretende implantando RCM. Determinación de indicadores, y valoración de éstos antes de iniciar el proceso.

- **Fase 2:** Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta. Para ello es necesario recopilar esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

- **Fase 3:** Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Determinación de las especificaciones del sistema Listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto. Listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema.

- **Fase 4:** Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.

- **Fase 5:** Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

- **Fase 6:** Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, significativos, tolerables o insignificantes en función de esas consecuencias.

- **Fase 7:** Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

- **Fase 8:** Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.
- **Fase 9:** Puesta en marcha de las medidas preventivas.
- **Fase 10:** Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 1.

4.4. Herramientas para implementar el RCM

Como toda actividad que se desea implementar y desarrollar en una compañía se debe contar con las herramientas o ayudas que den mayor fluidez a la solución del problema, entre las que encontramos:

4.4.1. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). El análisis de modos y efectos de falla o por sus siglas en ingles FMEA es una de las herramientas de gran ayuda para la implementación del RCM. Consiste básicamente en un proceso estructurado para el análisis del funcionamiento de una planta, una maquina o un equipo con el propósito de identificar las fallas que pudieran presentarse, para ser evaluadas y determinar las actividades proactivas que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla.

Un FMEA debe iniciar en el momento en que la empresa implementa nuevos sistemas, procesos o diseña nuevos productos. Igualmente, cuando uno de estos ha de ser cambiado por razones de seguridad industrial, ambiental o de calidad y también si ha ocurrido una falla desconocida, pero se ha podido dar solución a esta, con el fin de evitar que vuelva a ocurrir y se desconozca la razón del inconveniente.

Para desarrollar un FMEA que cumpla con todas nuestras expectativas, se debe primero conformar un grupo multidisciplinario el cual sea integrado no solo por el área de mantenimiento, pues se debe incluir personal del área de operación, del área de diseño, del área de producción y de ser necesario personal de compras y personal especializado en el producto o proceso, con el fin de establecer correctamente los modos y efectos de falla de una máquina.

El operador y el área de producción son aquellos que en todo momento interactúan con la máquina o los equipos implicados en el análisis, por eso son los primeros en sentir que le ocurre a la máquina, luego se encuentra el personal de mantenimiento que cuenta con los conocimientos y técnicas necesarias para poder diagnosticar una falla y dar solución a la misma, otros agentes como lo son diseño, calidad, compras y terceros son importantes puesto que dependiendo de la misión, visión y objetivos estratégicos de la empresa el consumidor final es quien determinara si el producto, maquina o equipo está cumpliendo con las expectativas y necesidades de compra.

Una de las principales características del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en sí, sino evitar o reducir las consecuencias que estas traen. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes grupos:

- **Consecuencias de fallas ocultas:** Estas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas).

- **Consecuencias medioambientales y de seguridad:** Una falla tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional. Por otro lado, trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar, lesionar o causar la muerte.

- **Consecuencias operacionales:** Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta directamente el rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación. En cortas palabras afecta la producción.

- **Consecuencias no operacionales:** En este caso se consideran las fallas que solo implican el costo de reparación, no tienen consecuencias de seguridad ni de protección.

Las consecuencias de los modos de fallo se pueden determinar apoyándonos en la siguiente adaptación de un fragmento del árbol lógico de decisión de John Moubray, como se observa en el siguiente diagrama (figura 5):

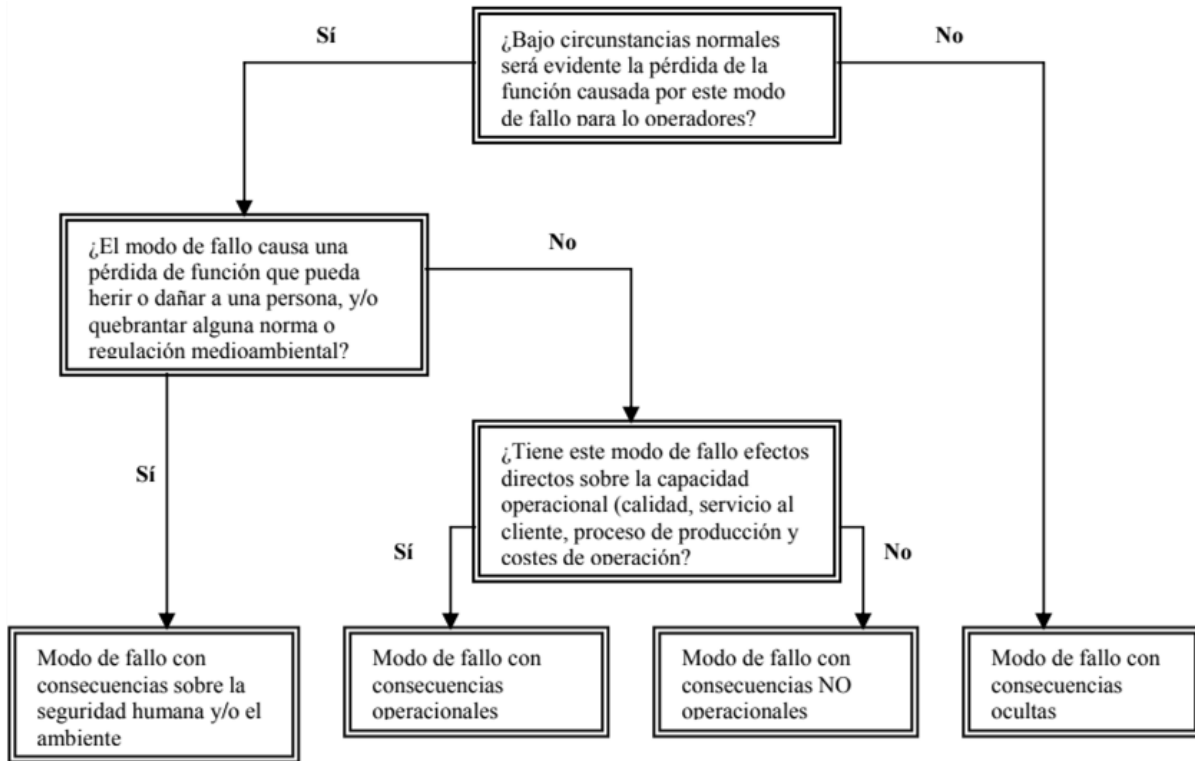


Figura 5. Diagrama para determinar consecuencias de los modos de fallo

El proceso de evaluación de consecuencias rompe con el paradigma de que todas las fallas son malas y deben ser prevenidas, con lo cual enfoca la atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la organización, y no desgasta energía en aquellas que tienen un menor o ningún efecto.

De igual forma se considera como una ayuda importante para ampliar la visión sobre los diferentes modos de manejar las fallas, en lugar de solo concentrarse en la prevención. Podemos decir entonces que las técnicas del manejo de fallas se dividen en dos categorías:

- **Tareas Proactivas:** Son todos los trabajos realizados con el objetivo de prevenir que el equipo llegue a un estado de falla. Esto abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento "predictivo" o "preventivo". Aunque veremos más adelante que el RCM utiliza los términos restauración programada, descarte programado o mantenimiento en condición.

- **Acciones de omisión:** Cuando no es posible identificar una consigna proactiva efectiva estas se encargan del estado de falla. Las acciones de omisión incluyen búsqueda de la falla, rediseño, y acudir a la falla.

Las entradas y salidas de la máquina, sistema o componente se deben identificar con el fin de evaluar la probabilidad de ocurrencia de una falla en función de las consecuencias de esta misma. De este modo se pueden optimizar las inspecciones teniendo en cuenta aquellos equipos que por el nivel de ocurrencia, impacto económico, salud, seguridad y medio ambiente puedan afectar en mayor o menor medida la rigurosidad de los mantenimientos como se analizara en la inspección basada en el riesgo (RBI por sus siglas en ingles) que se presenta más adelante.

Por ahora se presentan a continuación las medidas de ensayo y control previstas en la mayoría de los FMEA.

- **Gravedad:** Valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el costo de la reparación. En pocas palabras determina la importancia del efecto del modo de fallo potencial para el cliente. Este índice sólo es posible mejorarlo mediante un proceso de rediseño y no deberían afectarlo los controles derivados de la propia aplicación del FMEA o de revisiones periódicas de calidad.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	3
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	4
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	5

Figura 6. Gravedad del modo de fallo según la repercusión en el cliente. Adaptado de: Gobierno de España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. (sf). Fichas técnicas. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf. Se accedió: 7 de Junio de 2017

- **Frecuencia:** Es la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo. Se trata de una evaluación subjetiva, con lo que se recomienda utilizar datos históricos o estadísticos (si se dispone de información).

Si en la empresa existe un Control Estadístico de Procesos es de gran ayuda. No obstante, la experiencia es esencial. La frecuencia de los modos de fallo de un producto final con funciones clave de seguridad, adquirido a un proveedor, debería ser suministrada al usuario, como punto de partida, por dicho proveedor.

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos , ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos . Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o pre vios al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	3
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	4
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	5

Figura 7. Clasificación de la frecuencia en que se produce el modo de fallo. Adaptado de: Gobierno de España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. (sf). Fichas técnicas. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf. Se accedió: 7 de Junio de 2017

- **Detectabilidad:** Este índice muestra la probabilidad de que la causa o modo de fallo, sea detectado con tiempo suficiente para evitar daños, a través de los "controles actuales" existentes para tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al cliente final.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	3
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	4
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	5

Figura 8. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo. Adaptado de: Gobierno de España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. (sf). Fichas técnicas. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf. Se accedió: 7 de Junio de 2017

Teniendo todos los puntos anteriores formados, podemos empezar a construir el FMEA para desarrollar nuestro plan de mantenimiento bajo la técnica de RCM.

4.4.2. RBI (Risk Based Inspection). La inspección basada en el riesgo o por sus siglas en inglés RBI, es un proceso de mantenimiento comúnmente usado en equipos estacionario como las tuberías, intercambiadores de calor, calderas y recipientes a presión de la industria del aceite y Gas, examinando todo el sistema de seguridad, salud y medio ambiente (HSE Health, Safety and Enviroment), el riesgo del activo y la ocurrencia de la falla, con el ánimo de ponderar en la matriz de riesgo cualitativo la probabilidad de falla vs las consecuencias para la organización.

En nuestro caso que se trabaja con equipos de transporte a granel el proceso busca identificar, evalúa y realiza un mapeo de los riesgos industriales (debido a corrosión y grietas por esfuerzo), los cuales pueden comprometer la integridad del equipo como de los elementos estructurales, por lo cual se busca diseñar estrategias de inspección (qué, cuándo y cómo inspeccionar) que coinciden de la manera más eficiente con los mecanismos de degradación proyectado u observados mediante un análisis crítico.

4.4.3. Análisis Crítico. Esta herramienta permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). La criticidad depende de la probabilidad de que se produzca un modo de fallo y su severidad, por lo que se considera como una medida del riesgo en la operación de un equipo.

Los resultados de este análisis se muestran en la matriz de criticidad, que se divide en tramos dependiendo de la ponderación de factores realizados en el análisis como se muestra en la siguiente representación genérica:

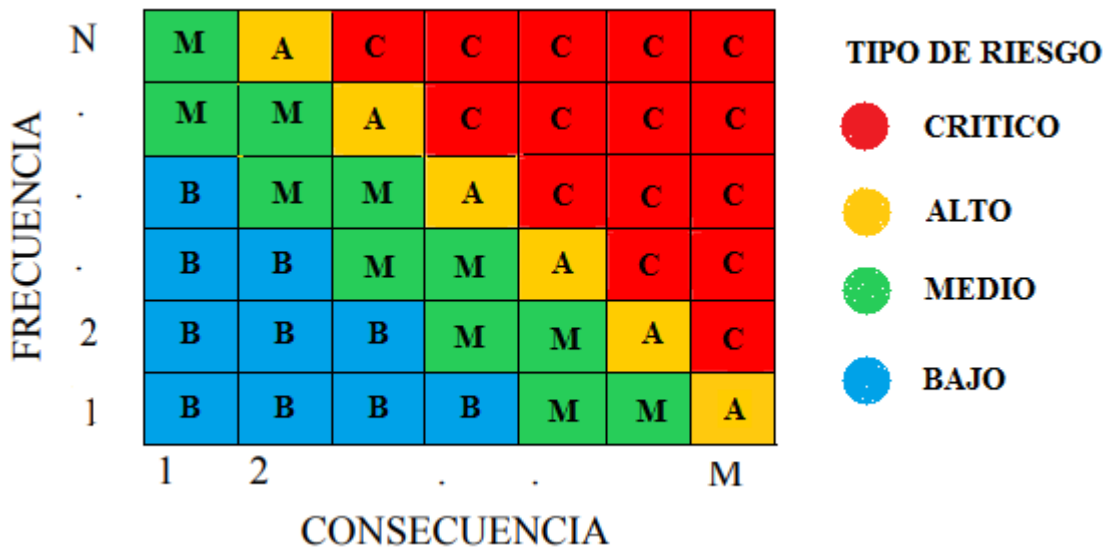


Figura 9. Matriz de criticidad (representación genérica)

Tenemos entonces que para realizar el respectivo análisis de criticidad el equipo de implementación del RCM debe establecer la importancia de un activo en la cadena de producción o funcionamiento de la maquina definiendo si el activo es de riesgo crítico, alto, medio o bajo. Este es un paso crucial y sin dudas será el primer desafío para obtener el consenso del grupo de trabajo.

Si están disponibles las reparaciones de datos históricas del sistema de gestión de mantenimiento computarizado y la información de la eficiencia general de operaciones (OOE, por sus siglas en inglés), estas ayudarán a guiar el análisis y resolver el problema de opiniones divergentes.

Es importante establecer que los activos que tienen un repuesto generalmente no se definen como críticos y podrían ser quitados de la lista inicial para ser examinados más tarde.

La matriz de criticidad o riesgo crítico (Tabla 5) propuesta por Mike Johnston*, en su publicación "Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada" incluye tanto el costo de mantenimiento como el costo asociado con la pérdida de producción. Siendo bastante completa y un buen ejemplo para este caso, de igual forma es una herramienta especialmente útil para evaluar, categorizar y priorizar la necesidad de un activo.

En el ejemplo de la Tabla 5, podremos observar entonces el tipo de riesgo que se podrían presentar en los equipos o maquinaria de interés:

- Crítico (Rojo): Cualquier cosa que tenga un puntaje de 15 o más
- Alto (Amarillo): Las puntuaciones entre 10 y 12
- Medio (Verde): Las puntuaciones medias de entre 5 y 9
- Bajo (Azul): Cualquier puntaje entre 1 y 4 siendo los más bajos.

Teniendo los respectivos rangos de gravedad, su clasificación y la probabilidad de falla, podemos observar la definición de cada una de las consecuencias según su rango específico de gravedad.

* JOHNSTON, Mike. Consultor Sénior en T.A. Cook Consultants, con más de 30 años de experiencia en consultoría profesional a través de Norteamérica y el Reino Unido

Gravedad	CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD				
	Clasificación	Seguridad	Costo de Equipo/ Mantenimiento	Producción	Medioambiental	1	2	3	4	5
						< 1%	1% - 5%	5% - 25%	25% - 50%	> 50%
						Remota	Extremadamente Improbable	Muy Poco Probable	Poco Probable	Probable
5	Desastrosa	Múltiples fatalidades, más de 5. Efectos extensos externos en zonas habitadas y con varias fatalidades.	Daños extensos de más de \$8 millones de dólares.	Pérdida grave, no recuperable. Más de 3 días de producción perdidos.	Contaminación grave con consecuencias ambientales prolongadas externas al sitio.	5	10	15	20	25
4	Catastrófica	Efecto letal en varias personas (varias fatalidades). Efecto letal externo: una fatalidad, varias lesiones físicas.	Daño grave de entre \$6 a \$8 millones de dólares.	Pérdida grave. Hasta un 50% no recuperable. Hasta 3 días de producción perdidos.	Contaminación grave externa al sitio. Evacuación de personas.	4	8	12	16	20
3	Grave	Efecto letal en una persona y/o varias discapacidades permanentes. Efectos externos permanentes.	Daño localizado de entre \$2 a \$6 millones de dólares.	Pérdida media, no completamente recuperable mediante producción normal. Menos de 24 horas de producción perdidas.	Contaminación moderada, dentro de los límites del sitio. Reclamaciones de responsabilidad civil por productos.	3	6	9	12	15
2	Sería	Lesión permanente, accidente con pérdida de tiempo. No hay efectos externos permanentes.	Daño menor de entre \$200 mil a \$2 millones de dólares.	Pérdida menor, recuperable mediante producción normal. De 2 a 8 horas de producción perdidas.	Derrame o emisión de contaminante que requiere una declaración ante las autoridades, pero sin consecuencias ambientales.	2	4	6	8	10
1	Moderada	No hay lesiones permanentes, se registra sin tiempo perdido ni tratamiento médico. No hay efecto externo.	Daño leve de menos de \$200 mil dólares.	Entre poca y ninguna consecuencia. Producción fácilmente recuperada. Menos de 2 horas de producción perdidas.	Derrame o emisión de contaminante menor que no requiere una declaración.	1	2	3	4	5

Figura 10. Matriz de criticidad del RCM. Adaptada de: JOHNSTON, M. (sf). Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada.

4.4.4. Diagrama de árbol lógico de decisión. La aplicación de un árbol lógico de decisión es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada con el propósito de impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo en un componente del sistema objeto del análisis.

Para la construcción de un árbol lógico de decisiones (ALD) se debe definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. Así, por ejemplo, se podrá dar prioridad

a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas de mantenimiento o considerar aspectos tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dicho fallos ocurran.

Con esto se busca conocer el conjunto de actividades de mantenimiento recomendado para cada equipo (actividades específicas que deben realizarse y su frecuencia de ejecución). Esto puede resultar de utilidad para la elaboración de plantillas en la que se recoja toda la información disponible sobre el mantenimiento de los equipos, en función de aspecto como la actividad del equipo, su frecuencia de uso o las específicas condiciones ambientales de su entorno operativo, entre otros.

El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes. A continuación, se presenta un ejemplo de árbol lógico de decisión bastante completo.

5. Diseño y propuesta para la implementación del RCM

Antes de comenzar el análisis de las necesidades de mantenimiento de los activos en cualquier organización, es fundamental conocer qué tipo de activos físicos existen y decidir cuáles son los que deben someterse a este, que para nuestro caso serán los equipos de transporte a granel.

Se debe entonces realizar un registro completo de los equipos, si no existiera, aunque generalmente en la mayoría de las industrias se cuenta con esta clase de registro, con lo cual es posible comenzar con la planificación de los pasos a seguir. La figura 12 ilustra el orden que se propone en el desarrollo de este proyecto para la implementación del RCM:

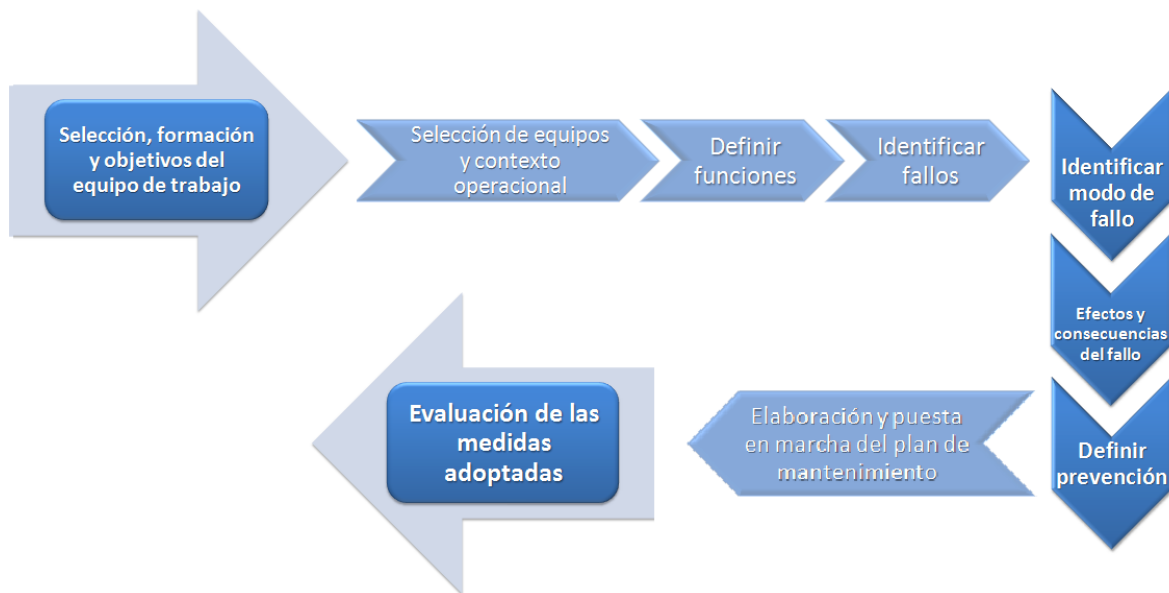


Figura 12. Proceso para implementación del RCM en la empresa GS INGENIERÍA

La implementación del RCM debe contar con un Director de Proyecto y un líder de proceso que estarán involucrados directamente como supervisores del avance del programa y el equipo de trabajo como se explicara más adelante.

5.1. Selección, formación y objetivos del equipo de trabajo

Para asegurar que todos los puntos de vista estarán contemplados a la hora de hacer el estudio, es importante que haya personas de diferentes departamentos y conformar grupos multidisciplinarios. En general lo ideal sería formar grupos de entre 5 o 6 personas.

Lo ideal y según lo propuesto por Moubray el equipo de trabajo debería estar conformado por personal de las siguientes aéreas:

- Personal de operación
- Personal de mantenimiento
- Ingenieros de procesos
- Programadores
- Asesores externos (Especialistas en un área específica)
- Facilitadores (Director de proyecto, líder de proyecto o expertos en RCM)

El objetivo general de cada grupo de trabajo será garantizar que el equipo, maquina o producto final cumpla con las expectativas y necesidades de compra del consumidor.

Los equipos de trabajo usaran la metodología RCM para determinar las necesidades de mantenimiento de un activo específico estableciendo correctamente los modos y efectos de falla del mismo.

Una de las pautas principales para el éxito de todo este proceso es obtener el consenso del grupo de trabajo, razón por la cual se debe facilitar la interacción y participación de todos los miembros pues estos darán sus aportes en cada etapa del proceso. En lo posible se debe una atmosfera informal donde cualquier desacuerdo sea ampliamente discutido con el fin de resolverlo y ninguna decisión deberá ser tomada sin que haya sido aceptada por todo el grupo.

En este punto es importante reconocer que una de las tareas del facilitador es intervenir cuando sea necesario en las discusiones y debates del grupo de trabajo, pues es su deber guiar el proceso asegurando que la implantación del RCM se dé en forma ordenada y efectiva.

Entre las funciones que debe cumplir el facilitador dentro del grupo de trabajo se tienen las siguientes:

- Ayudar a identificar los activos que deben ser analizados bajo la metodología RCM.
- Guiar al equipo de trabajo en la realización del análisis de los modos, efectos de fallos (FMEA) y actividades de mantenimiento.
- Ayudar a decidir a qué nivel debe ser realizado el análisis de modos y efectos de fallos.
- Verificar que las reuniones de trabajo se lleven a cabo con fluidez, normalidad y de forma profesional.
- Motivar al equipo de trabajo y asegurar un verdadero consenso en las decisiones.
- Garantizar que toda la documentación registrada durante la implantación del RCM sea conducida correctamente.

Finalmente, el perfil y las habilidades del facilitador se encuentran entre los factores de mayor relevancia en la calidad final del análisis, ya que influye tanto en la técnica como la actitud de los participantes hacia el RCM. Es importante entonces que el facilitador cuente con una amplia capacidad de análisis, alto nivel técnico y cualidades personales de liderazgo, seguridad, confianza y credibilidad.

5.1.1. Criterios para definir prioridades. En el proceso de establecer un plan de mantenimiento se deben definir las prioridades sobre las que se va a trabajar, que a grandes rasgos podrían ser de tres tipos.

- **Criterios productivos:** Establece la relación entre la importancia del equipo y la función principal que debe cumplir, dependiendo de su capacidad, influencia en el proceso productivo, rentabilidad y riesgos.

- **Criterios de mantenimiento:** Define las necesidades particulares de mantenimiento de los equipos, estableciendo la importancia de cada uno, donde tendremos los siguientes factores:

- Disponibilidad de mano de obra
- Costo de hacer o no hacer el trabajo
- Gravedad y velocidad del deterioro
- Riesgos de aplazar labores de mantenimiento

- **Criterios de autoridad:** Cuando los criterios productivos y de mantenimiento no determinan claramente la prioridad, se establece entonces por el grado de autoridad de la persona con el poder de decisión, por lo cual las necesidades en procesos productivos y comerciales pre-establecidos se definirán en última instancia según los criterios de autoridad

5.2. Selección de equipos y contexto operacional

El siguiente paso a seguir en la implantación del RCM es la selección de los sistemas o equipos a los que se va a aplicar esta metodología. Se debe determinar los sistemas a analizar y los elementos que quedarán excluidos de ese estudio y una vez delimitados los objetos de estudio, determinar su composición, los elementos de nivel inmediatamente inferior que lo constituyen y así sucesivamente, siguiendo con una estructura de árbol hasta el nivel que ya se considere como un todo indivisible desde el punto de vista del mantenimiento.

En el contexto comercial GS INGENIERÍA cuenta con los siguientes servicios de diseño, fabricación y montaje:

- Estructuras metálicas, cerramientos y techos.
- Plantas de alimento balanceado.
- Subestaciones y redes de baja tensión.
- Sistemas de transporte a granel de alimento balanceado.

Siendo los sistemas de transporte a granel como se ha establecido anteriormente los productos de interés para el desarrollo de este proyecto, entre los que se encuentran:

- Elevadores de cangilones
- Bandas transportadoras
- Tornillos sin fin
- Transportadores de arrastre

5.2.1 Elevador de cangilones. Los elevadores de cangilones son transportadores continuos, diseñados para el transporte vertical de materiales a granel de todo tipo con lo cual han demostrado su eficacia durante décadas, con la posibilidad de ser utilizados en zonas donde se dispone de poco espacio en planta.

En función del ancho de la estructura, la capacidad de los recipientes y la altura de transporte, los elevadores de cangilones requieren una potencia de accionamiento relativamente alta. Las alturas de transporte están limitadas por el peso propio de los recipientes y las cadenas; siendo rentables en alturas comprendidas entre 7 y 25 metros, aunque pueden llegar hasta los 30 metros, se pueden combinar con transportadores continuos horizontales.

La alimentación o carga se hace de forma que el material caiga en los cangilones, los cuales una vez llenos son elevados hasta la parte superior, donde se produce la descarga aprovechando la fuerza centrífuga en una rampa o tolva instalada.

Los cangilones suben con una carga parcial, y a una velocidad determinada, en algunos casos es conveniente dar al aparato una velocidad superior a la requerida con el fin de facilitar la descarga, puesto a mayor velocidad mayor proyección.



Figura 13. Elevador de cangilones. Adaptada de: Galería GS Ingeniería S.A.S (sf). Disponible en: <http://www.gsingenieria.co/gallery>. Se accedió: 7 de Abril de 2017

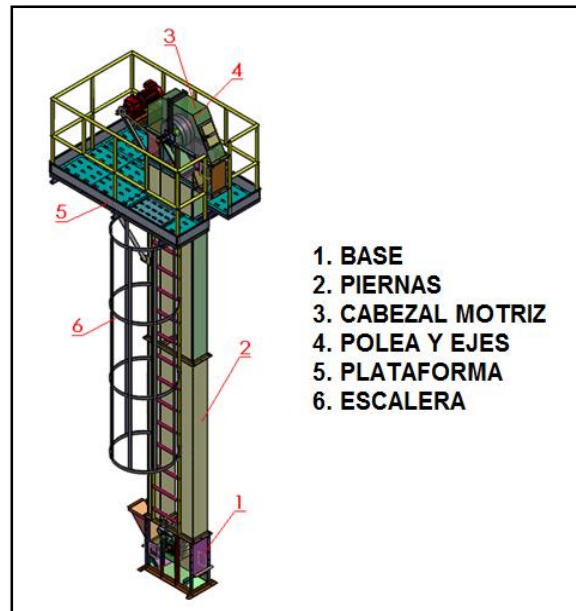


Figura 14. Partes principales del elevador de cangilones

5.2.2. Bandas transportadoras. Las bandas transportadoras son ideales cuando se trata de cubrir terrenos intransitables, para desplazar material en cortas, medianas y largas distancias (se puede utilizar para el transporte de producto en forma horizontal y también inclinada). En donde el transporte de mercancías, en camión, por ejemplo, resulta muy aparatoso e implica costos elevados.

La utilización de bandas transportadoras busca un ahorro económico, de tiempo y energía, al mismo tiempo que contribuye a proteger el medio ambiente debido a las bajas emisiones de CO₂.

El enorme potencial de ahorro gracias a los componentes de alta calidad, de poco mantenimiento y desgaste, minimizan la carga de la instalación aumentando por consiguiente su vida útil reduciendo las labores de mantenimiento.



Figura 15. Banda transportadora. Adaptada de Galería GS Ingeniería S.A.S (sf). Disponible en: <http://www.gsingenieria.co/gallery>. Se accedió: 7 de Abril de 2017

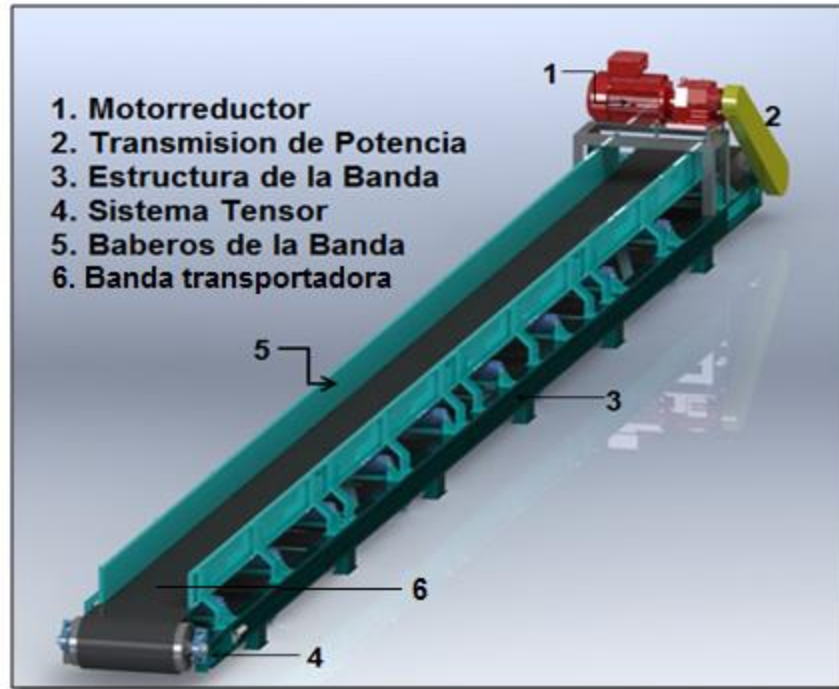


Figura 16. Partes de la banda transportadora

5.2.3. Tornillos sin fin. Los transportadores de tornillo sin fin se basan en el principio de funcionamiento del tornillo de Arquímedes. El elemento transportador es un metal plano moldeado en forma de hélice (hélice de tornillo sin fin), la cual rota alrededor del eje longitudinal y transporta el material a granel en un tubo en reposo en dirección axial, que a su vez sirve como guía de transporte. Es posible transportar el material en horizontal, vertical o en un plano inclinado según la necesidad de la planta (uso recomendado para polvos, granos y partículas medias, igualmente usado como dosificador en distancias cortas y medias).

La estructura del transportador sin fin es sencilla, pero debido al rozamiento del material a granel en la artesa del tornillo, la potencia necesaria de un transportador de tornillo sin fin es considerablemente superior que la de una banda transportadora o un elevador de cangilones.



Figura 17. Tornillo Sin Fin. Adaptada de: Dismet. (sf). Disponible en: <http://www.dismet.com>. Se accedió: 15 de Mayo de 2017

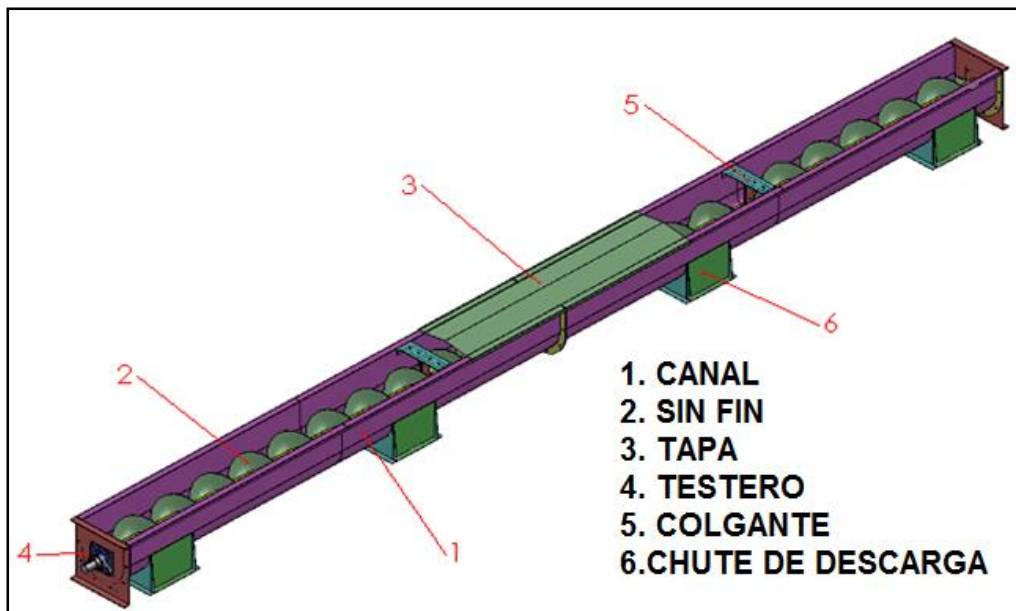


Figura 18. Partes del tornillo sin fin

5.2.4. Transportador de arrastre. Es un transportador continuo para material a granel, en el cual una cadena equipada con arrastradores circula en un tubo y empuja el material hacia adelante. También se conoce como transportador tubular por cadena y puede transportar tanto material a granel en polvo como en granos finos y también material fibroso (generalmente está completamente cubierto para evitar la contaminación del producto).

Estos transportadores pueden utilizarse tanto para el transporte en horizontal, como también en vertical. Es posible integrar la entrada y la salida de producto en diferentes puntos. Su principal ventaja es el desgaste reducido y un menor consumo de energía específico.

El uso está limitado por un recorrido de transporte relativamente corto, que está limitado por la fuerza de tracción de la cadena transportadora, aunque se destaca su capacidad para trabajar largos periodos de tiempo sin paradas.

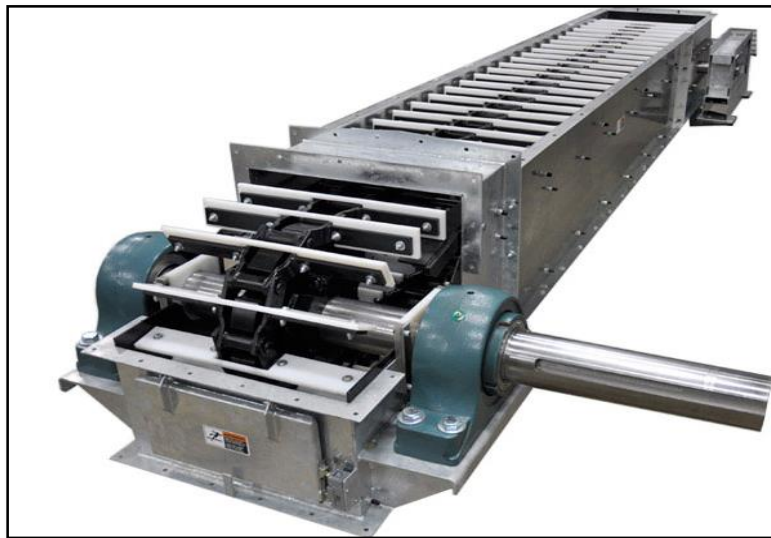


Figura 19. Transportador de arrastre. Adaptada de: Drag Conveyor. (sf). Disponible en: <http://rnc-co.com/products/conveyors/>. Se accedió: 15 de Mayo de 2017

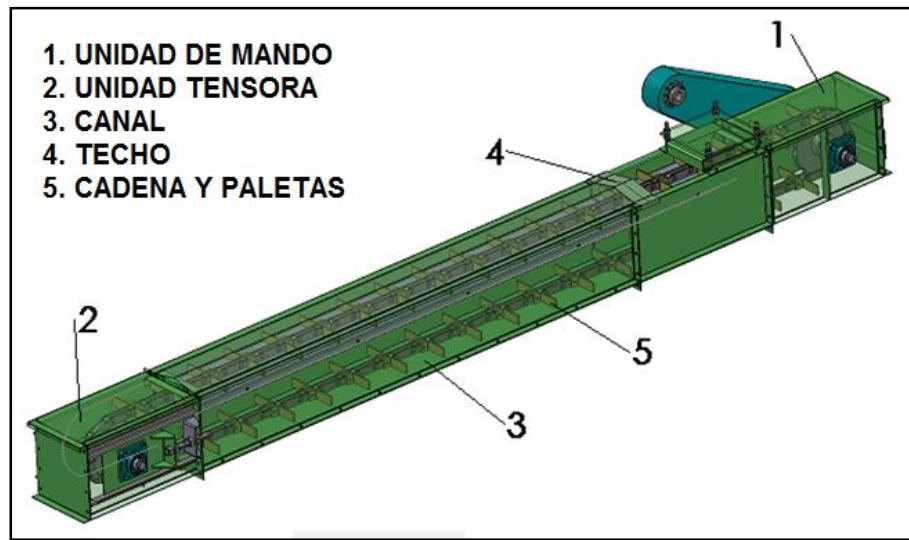


Figura 20. Partes del transportador de arrastre

5.3. Criticidad de equipos

Para iniciar el proceso de análisis general de criticidad de equipos se usará el modelo basado en factores ponderados, el cual es bastante sencillo y práctico.

Basado en el análisis de riesgos en función de la ocurrencia de un evento o fallas no deseado, llevando los esfuerzos de mantenimiento de la empresa en la dirección correcta y desarrollado por “The Woodhouse Partnership Limited” (Grupo de consultoría Ingles, 1994)

$$\text{CRITICIDAD}_{\text{TOTAL}} = \text{FRECUENCIA}_{\text{FALLA}} \cdot \text{CONSECUENCIA}_{\text{FALLA}}$$

$$\text{CRITICIDAD} = \text{PF} \cdot (\text{P} + \text{CEM} + \text{S} + \text{MA})$$

Teniendo definidos los rangos de gravedad, clasificación y probabilidad de falla, según la tabla 5 se procede con el respectivo análisis de cada equipo recordando que tendremos lo siguiente

- Probabilidad de falla (PF)
- Seguridad (S)
- Costo de Equipo y mantenimiento(CEM)
- Producción (P)
- Medioambiental (MA)

Es importante aclarar la necesidad de evaluar los factores anteriores en reuniones de trabajo con los grupos establecidos para la implementación del RCM, donde se cuenta con la participación de representantes del personal involucrado en el contexto operacional. Tras este proceso se logran unificar criterios dejando claro cuál activo sería el más crítico tras los respectivos análisis.

Tabla 1.

Análisis general de criticidad de equipos

Análisis de criticidad							
Equipo	PF	S	CEM	P	MA	Total	Criticidad
Elevador de cangilones	5	4	3	4	1	60	C
Banda transportadora	4	2	2	3	1	36	A
Tornillo sin fin	3	2	1	3	3	27	A
Transportador de arrastre	5	3	3	3	2	55	C

Del análisis anterior se tiene un concepto inicial sobre cuales equipos tendrían mayor ventaja en el mercado, respecto al proceso de diseño y probabilidad de implementación del servicio de mantenimiento.

5.4. Gestión y desarrollo del plan de mantenimiento

Una vez definidos los objetos de estudio del RCM se procede diferenciar cada sistema, subsistema o componentes del equipo, estableciendo los respectivos códigos para su identificación tras lo cual se analizarán los siguientes pasos:

- Componentes y funciones
- Identificar fallos
- Identificar modo de fallo
- Efectos y consecuencias de fallo
- Definir prevención
- Evaluar las medidas adoptadas

5.4.1. Codificación de equipos. El proceso de codificación de los equipos de interés busca mejorar la organización de la información con la que se pretende trabajar en las labores de mantenimiento.

Para ellos se usa como base la taxonomía propuesta por la norma ISO 14224, la cual indica el uso de 8 caracteres alfanuméricos de la forma que se presenta en la siguiente figura y referenciados de la siguiente forma:

- **Primeras tres siglas:** Zona de trabajo del equipo, que para nuestro caso hace referencia al equipo con el que se trabajara.
- **Segundas tres siglas:** Nombre del equipo abreviado, que en nuestro caso serán los sistemas o componentes del equipo.
- **Últimos dos dígitos:** Consecutivo del equipo y para este trabajo específico el consecutivo del sistema o componente de interés



Figura 21. Codificación de equipos

Establecido lo anterior podremos caracterizar los equipos de interés definiendo las funciones y características técnicas de cada sistema o componente.

5.5. Componentes y funciones de los equipos

A continuación, se presenta cada uno de los equipos con la descripción de sus componentes principales y otros de interés que hacen parte del funcionamiento de cada uno de estos.

Tabla 2.

Componentes y funciones del elevador de cangilones

Elevador de cangilones			
Código	Componente	Función	Características técnicas
EDC BAS 01	Base	Donde se ubica la tolva de alimentación, ventana de inspección, el conjunto tensor y las cuchillas de limpieza para facilitar el mantenimiento.	Fabricado en chapa plegada y soldada Sus dimensiones están en función de la banda y los cangilones(debe garantizar la holgura)
EDC PIE 01	Piernas	Conforman la estructura del elevador, siendo por donde suben y bajan los cangilones. Normalmente de construcción modular, cada cuerpo une al siguiente con bulones.	Fabricado en chapa plegada y soldada. Sus dimensiones están en función de la banda y los cangilones. (Debe garantizar el paso con holgura)

Tabla 2. *Continuación*

Elevador de cangilones			
Código	Componente	Función	Características técnicas
EDC CAB 01	Cabezal motriz	Ubicado en la parte superior del elevador, es una estructura metálica que contiene el tambor de accionamiento, freno, ventana de inspección y boca de descarga del elevador	Fabricado en chapa plegada y soldada Sus dimensiones están en función de la banda y los cangilones(debe garantizar el paso de la holgura
EDC TAC 01	Tambor de Accionamiento	Encargado de transmitir el movimiento a la banda. Puede tener una pequeña biconicidad a los efectos de centrar la banda. Siempre y cuando el cangilón lo permita,	Fabricado en: Fundición o chapa de acero. Diámetro va relacionado a la cantidad del producto a transportar
EDC TRE 01	Tambor de Reenvió	Se localiza en la parte inferior del elevador, sobre el eje del mismo se encuentra montado normalmente el dispositivo tensor.	Fabricado en: Fundición o chapa de acero. Diámetro va relacionado a la cantidad del producto a transportar
EDC PYE 01	Poleas y ejes	Ubicados tanto en el extremo superior como inferior de la máquina y encargados de transmitir el movimiento.	Correa tipo B, es lo más comercial en el mercado Transmisión de potencia por piñonería

Tabla 2. *Continuación*

Elevador de cangilones			
Código	Componente	Función	Características técnicas
EDC BAN 01	Banda	Están perforadas para la fijación de cangilones a través de la tornillería. Permite grandes velocidades empleando una banda fina y cangilones ligeros, como los utilizados para la elevación del trigo	Generalmente de Algodón, goma o plástico termoestable. Alta resistencia transversal
EDC CAN 01	Cangilones	Alojan a la carga en su carrera ascendente, según su construcción cada fabricante de elevadores cuenta con un diseño particular.	Posibilidad de fabricación en: chapa soldada, material plástico de fibra, acero inoxidable o fundición.
EDC PM 01	Plataforma de mantenimiento	Cuenta con los guardapiés reglamentarios para la seguridad de operarios y personal de mantenimiento facilitando su ingreso	Construida con láminas perforadas. Patrón antideslizante y escotilla (Puede ser cerrada sobre el punto de acceso de las escaleras)

Tabla 2. *Continuación*

Elevador de cangilones			
Código	Componente	Función	Características técnicas
EDC ESC 01	Escalera de servicio	Dispuesta para las labores de mantenimiento a un costado de la máquina, la cual es tipo gato que cuenta con guarda de cuerpo amplio.	Construida regularmente en: Acero, hierro forjado.
			Distancia entre escalones $300 \geq t \geq 230$ mm Cuerpo amplio de 760mm aproximadamente, en algodón y poliamida

Tabla 3.

Componentes y funciones de la banda transportadora

Banda transportadora			
Código	Componente	Función	Características técnicas
BTR MOT 01	Motorreductor	Amortiguar las vibraciones y sobrecargas.	Fabricación de la caja en hierro i piñones en acero
		Asegurar un arranque progresivo. Capacidad de generar tracción	La capacidad depende de la cantidad de materia a transportar y ubicación del equipo

Tabla 3. *Continuación*

Banda transportadora			
Código	Componente	Función	Características técnicas
BTR TRP 01	Sistema de Transmisión de potencia	Poner en movimiento la banda transportadora.	Fabricado en acero o bronce, el número de dientes depende de la relación de trabajo
		Transmitir fuerza tangencial a la banda con ayuda del tambor motriz	
BTR TEN 01	Tensor	Necesarios para tensionar las bandas y evitar fugas.	Fabricado generalmente en acero grado 2 o grado 5
		Asegurar el adecuado contacto entre la banda y tambor motriz.	
		Compensar variación de longitud en la banda	
BTR RDA 01	Rodillos de apoyo	Soportar el propio peso de la banda y del material a transportar.	Fabricado en polietileno, teflón o acero al carbón, las características depende del
		Contribuir al centrado de la banda.	trabajo a ejecutar tipo liviano o pesado

Tabla 3. *Continuación*

Banda transportadora			
Código	Componente	Función	Características técnicas
BTR EBB 01	Estructura de la banda y baberos	Soportar las cargas de material, rodillos, banda y demás componentes del sistema	Fabricado en chapa plegada y soldada, sus dimensiones están en función de la banda
		Hacen parte de la estructura de la banda, protegiendo el material transportado del viento.	Debe garantizar el paso de holgura
BTR BTR 01	Banda Transportadora	Soportar y transportar el producto desde el sitio de origen al sitio de destino	Tejido superpuesto Caras libres con superficie protectora

Tabla 4.

Componentes y funciones del tornillo sin fin

Tornillo sin fin			
Código	Componente	Función	Características técnicas
TSF CAN 01	Canal	Conforma la estructura del transportador	Construida en acero laminado (según el caso con recubrimiento antiabrasivo)
		Protege el tornillo sin fin del exterior, recibiendo en la parte superior una cubierta desmontable	Sección rectangular y fondo circular.
		Lleva incorporados los chutes o bocas de carga y descarga	Módulos de aproximadamente 3[m] de longitud

Tabla 4. *Continuación*

Tornillo sin fin			
Código	Componente	Función	Características técnicas
			Construido en acero al carbono
TSF SFN 01	Sin fin	Encargado de transportar el material, bajo el principio del tornillo de Arquímedes.	o galvanizado Para transporte de alimentos en acero inoxidable.
TSF TAP 01	Tapa	Su función principal es impedir el ingreso de suciedad o material externo al producto transportado	Fabricada en chapa plegada y soldada. Sus dimensiones están en función del ancho del cuerpo
		Protegen los extremos del canal y soporta los rodamientos de los extremos.	Rodamiento cónico en el lado del empuje
TSF TES 01	Testero	Protege los rodamientos del polvo y salida de material mediante prensaestopas	Rodamiento de bolas en el lado opuesto
		Reducir la flexión en el eje	Necesarios en longitudes superiores a los 5 [m]
TSF COL 01	Colgante	Se deben instalar en el mínimo número posible, por las repercusiones en el sistema	Formados por rodamientos estancos en barcaza de acero maleable

Tabla 4. *Continuación*

Tornillo sin fin			
Código	Componente	Función	Características técnicas
TSF CDD 01	Chute de carga y descarga	Realiza la carga y descarga del material en el sistema De ser necesario se ubicaran apoyos intermedios	Fabricado en chapa plegada y soldada. sus dimensiones están en función del área transversal de descarga de la materia prima a evacuar
TSF UDA 01	Unidad de accionamiento	Transmite el movimiento al eje de la hélice. Para mayor potencia uso de acople hidráulico entre el motor y reductor.	Ubicado sobre una bancada solidaria a el canal

Tabla 5.

Componentes y funciones del transportador de arrastre

Transportador de arrastre			
Código	Componente	Función	Características técnicas
TDA UDM 01	Unidad de mando	Encargado de poner en movimiento el sistema, junto con el sistema de transmisión de potencia. Generar la tracción necesaria para el arrate del material.	Ubicado en el extremo del transportador

Tabla 5. Continuación

Transportador de arrastre			
Código	Componente	Función	Características técnicas
TDA UNT 01	Unidad Tensora	Garantizar la tensión de la cadena, según las exigencias del producto a transportar.	Fabricada en segmentos, tratados térmicamente para brindar un fácil mantenimiento y durabilidad.
		Mantener alineado el sistema durante su tiempo de servicio	
TDA CAN 01	Canal	Conforma la estructura del transportador, protegiendo el material transportado.	Fabricado en chapa plegada y soldada
		Garantizar transporte horizontal, inclinado y vertical.	Sus dimensiones están sujetas a la cadena de arrastre y paletas
TDA TEC 01	Techo	Posibilidad de integrar la entrada y la salida de producto en diferentes puntos, para una descarga forzada.	
		Garantizar un transporte ttransporte hermético al polvo, al gas y a la presión de materiales a granel	Fabricado en chapa plegada y soldada sus dimensiones esta sujetas al ancho largo del cuerpo

Tabla 5. *Continuación*

Transportador de arrastre			
Código	Componente	Función	Características técnicas
		Alto nivel de vaciado de restos, que permite un cambio de producto.	Fundidas o forjadas en sistema de platina o eslabonadas.
TDA CYP 01	Cadena y paletas	Ttransporte de materiales a granel altamente abrasivos, tóxicos, explosivos, pegajosos o también químicamente agresivos.	Paletas en acero para garantizar alta resistencia mecánica y al desgaste.

5.6. Análisis de modos y efectos de falla

Una vez definidas las características y funciones de cada equipo se deben identificar los modos de falla que se podrían presentar y sus posibles causas como se define a continuación:

5.6.1. Causas inmediatas. Se dividen en seis áreas y cada una tiene sus posibles causas, de la siguiente forma.

- **Área Mecánica:** Fuga, vibración, desalineamiento, deformación, pegado y suelto
- **Área Eléctrica:** Corto circuito, circuito abierto, falla de energía, falla de aislamiento.
- **Área de Materiales:** Cavitación, corrosión, desgaste, fractura, fatiga, sobrecalentamiento
- **Área Instrumentos:** Control, Señal (No alarma o alarma incorrecta), Software

- **Área Influencia externa:** Bloqueado, taponado o contaminado

5.6.2. Causas básicas. Similar a lo presentado en las causas inmediatas, tenemos cinco áreas como se define a continuación.

- **Área de Diseño:** Capacidad inadecuada, material inadecuado y diseño inadecuado.
- **Área de fabricación e instalación:** Error de fabricación e instalación.
- **Área de operación o mantenimiento:** Error de operación, error de mantenimiento, servicios fuera de diseño, desgaste o rotura esperada.
- **Área de administración:** Error administrativo y de documentación.

5.6.3. Causa Raíz. La falta de control se considera como la causa raíz de toda falla, la cual se puede dividir en:

- Organización inadecuada pues no existen las funciones necesarias para mantener el control administrativo.
- Procedimientos, estándares o normas inadecuadas
- Cumplimiento inadecuado de las normas

Tabla 6.

Modos y efectos de falla del elevador de cangilones

Elevador de cangilones			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
EDC BAS 01	Interrupción en la alimentación del sistema	Tolva de alimentación obstruida	Línea de proceso detenida
	Vibración y ruido excesivo	Corrosión de las superficies de anclaje	Riesgo de accidente laboral
			Obstrucción del sistema
EDC PIE 01	Vibración excesiva	Desajuste de bulones	Aumento en los requerimientos de capacidad del motor
	Probabilidad de contacto con los cangilones	Superficies de anclaje afectadas	Cangilones en contacto inminente con el cuerpo del elevador
			Reducción de la capacidad de carga
EDC CAB 01	Elevador no arranca	Banda golpea dentro de la caja	Vibración en el elevador
	Velocidad de funcionamiento incorrecta	Problema eléctrico	Represamiento de material
			Sobrecarga del sistema
			Problema con el sistema de frenado

Tabla 6. *Continuación*

Elevador de cangilones			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
		Fallo del reductor	Vibración en el elevador
EDC TAC 01	Elevador no arranca Velocidad de descarga incorrecta	Desalineación de rodamientos	Cangilones golpean la lengüeta
		Desalineación entre el eje de la cabeza y la bota	Rodamientos de piso se calientan
		Obstrucción en la bota	Vibración en el elevador
EDC TRE 01	Elevador no arranca	Banda de transmisión rota. Daño en la tuerca de fijación del tensor	Cangilones golpean la lengüeta
		Ejes desalineados en la base	Rodamientos de piso se calientan
			Desgaste de recubrimiento de la polea
EDC PYE 01	Banda patina sobre la polea Transmisión irregular del movimiento	Desgaste excesivo en la polea Eje de rodillos o polea descentrada Rodillos frenados Desajuste del cuñero y tornillos prisioneros	Acumulación de material entre polea y banda Tracción insuficiente Ruido y vibración

Tabla 6. *Continuación*

Elevador de cangilones			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
EDC BAN 01	Tensión incorrecta en la banda.	Elongación de la banda Desgaste y ruptura de la banda.	Desgaste de recubrimiento de la polea Acumulación de material entre polea y banda
EDC CAN 01	Cangilón suelto o flojo	Desalineación Golpea la lengüeta de descarga	Vibración en el elevador Obstrucción en la descarga
EDC PM 01	Superficie lisa	Descarga incorrecta y desgaste del babero Desgaste del patrón antideslizante	Represamiento de material Dificultad para realizar labores de mantenimiento. Riesgo de accidente laboral
EDC ESC 01	Superficie Corroída Rebabas metálicas o astillas Contacto directo con líneas eléctricas	Ruptura parcial o total del escalón Desprendimiento de la superficie de anclaje Riesgo de choque eléctrico	Dificultad para realizar labores de mantenimiento. Riesgo de accidente laboral

Tabla 7.

Modos y efectos de falla de la banda transportadora

BANDA TRANSPORTADORA			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
BTR MOT 01	Deficiente transmisión de velocidad y potencia producida por el motor.	Bajo nivel de aceite para lubricación.	Ruidos y recalentamientos.
		Fugas de aceite.	Consumo anormal de potencia
BTR TRP 01	Transmisión de movimiento y tracción anormal	Desgaste excesivo en la polea.	Desgaste de recubrimiento de la polea.
		Rodillos frenados. Desajuste del cuñero y tornillos prisioneros	Ruido y vibración
BTR TEN 01	Banda transportadora desalineada	Contacto inadecuado entre la banda y tambor motriz	Posibilidad de fugas de material
		No se compensa la elongación de la banda	Desgaste acelerado de rodillos. Recalentamiento de rodamientos
BTR RDA 01	Flexión de la banda y desalineación durante su trayecto.	Elongación de la banda	Perdida o fuga de material durante el trayecto
		Capacidad de transporte reducida	Aumento en el consumo de potencia

Tabla 7. *Continuación*

Banda Transportadora			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
BTR EBB 01	Ruido y vibración	Ruptura parcial de las uniones y acoples	Riesgo de accidente laboral
	Superficie corroída	Desprendimiento de superficies de anclaje	Exposición del material transportado a posibles fugas o contaminación.
			Riesgo de accidente laboral.
BTR BTR 01	Ruptura por desgaste de la banda transportadora	Incapacidad del sistema de funcionar al 100% de su capacidad	Parada de la línea de trabajo. Cambio inmediato de la banda por una nueva.

Tabla 8.

Modos y efectos de falla del tornillo sin fin

Tornillo sin fin			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
TSF CAN 01	Fallo prematuro del canal o artesa	Corrosión de la superficie del transportador	Contaminación del producto transportado
	Exposición del mecanismo del sistema con el exterior	Ruptura o desajuste de los módulos que conforman la estructura	Vibración y ruido excesivo Perdida de producto transportado

Tabla 8. *Continuación*

Tornillo sin fin			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
			Obstrucción y sobrecarga del sistema
TSF SFN	Velocidad de trabajo y volumen	Deflexión del helicoidal	Bloqueo total del sistema
01	final de transporte incorrecto	Desgaste excesivo del eje	Probabilidad de quemar el motor
			Contaminación del producto transportado
TSF TAP	Contaminación del producto transportado	Desajuste en los acoples y tornillos de ajuste	Probabilidad de accidente laboral
			Obstrucción por material extraño
TSF TES	Obstrucción por material extraño	Alineamiento incorrecto	Rodamientos se calientan y pierden lubricación
01	Tracción insuficiente	Contaminación de material al rodamiento	
TSF COL	Desgaste en colgantes	Alineamiento incorrecto	Flexión en el eje
01			

Tabla 8. *Continuación*

Tornillo sin fin			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
		Perdida de producto transportado.	Parada del sistema.
TSF CDD 01	Admisión o descarga de producto obstruida o con fugas	Deterioro de las compuertas de carga y descarga	Reducción de capacidad de transporte
			Avería parcial o total de la unidad de accionamiento.
TSF UDA 01	Insuficiente capacidad de torque Consumo anormal de potencia	Acumulación de producto cerca del motoreductor y contaminación del mismo.	Retraso en la línea de producción. Incapacidad total o parcial de transportar el producto.

Tabla 9.

Modos y efectos de falla del transportador de arrastre

Transportador de arrastre			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
	Sistema no arranca.	Problemas eléctricos	Ruido y recalentamiento del sistema.
TDA UDM 01	Transmisión de movimiento irregular	Obstrucción del sistema por material extraño	Represamiento de material

Tabla 9. Continuación

Transportador de arrastre			
Código	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
			Aumento en el consumo de potencia
TDA	Sistema desalineado.	Contacto inadecuado entre los arrastradores y el canal.	Ruptura de la artesa, eje acoplado y desgaste acelerado de paletas
UNT 01	Insuficiente capacidad de torque.	Desgaste excesivo del eje y soportes	Ruido y vibración
	Corrosión o ruptura prematura del canal.	Ruptura o desajuste de los de más sistemas que conforman la estructura	Perdida de material durante el trayecto.
TDA	Exposición del sistema al ambiente exterior		Obstrucción por material extraño
TDA TEC	Contaminación de producto transportado	Desajuste en los tornillos o guías de ajuste	Material extraño en el producto transportado.
01			Probabilidad de accidente laboral.
TDA CYP	Capacidad de transporte reducida.	Desgaste o desajuste de paletas.	Aumento en el consumo de potencia.
01		Desgaste en los soportes de la cadena	Perdida de material durante el trayecto.

5.7. Análisis de criticidad para componente de los equipos

Al igual que el análisis general de criticidad de los equipos realizado inicialmente, se realiza ahora el respectivo análisis de criticidad para cada equipo, con el fin de establecer la importancia de cada componente en la cadena de productividad del equipo, donde se definirá el tipo de riesgo según lo establecido en la figura 5.

Que para este caso el tipo de criticidad será de la siguiente forma:

- Crítico (Rojo): Puntajes de 30 o más.
- Alto (Amarillo): Puntuaciones entre 20 y 29
- Medio (Verde): Puntuaciones entre 10 y 19
- Baja (Azul): Cualquier puntaje por debajo de 10

Tabla 10.

Análisis de criticidad del elevador de cangilones

Elevador de cangilones							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	Criticidad
EDC BAS 01	1	4	2	1	1	8	B
EDC PIE 01	2	3	2	1	1	14	M
EDC CAB 01	2	1	4	5	2	24	A
EDC TAC 01	3	1	3	5	1	30	C
EDC TRE 01	3	1	3	5	1	30	C
EDC PYE 01	4	1	2	4	1	32	C
EDC BAN 01	4	1	2	4	1	32	C

Tabla 10. *Continuación*

Elevador de cangilones							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	Criticidad
EDC CAN 01	2	2	3	3	3	20	A
EDC PM 01	1	3	1	2	1	7	B
EDC ESC 01	1	3	1	2	1	7	B

Tabla 11.

Análisis de criticidad de la banda transportadora

Banda transportadora							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	Criticidad
BTR MOT 01	2	1	5	5	2	26	A
BTR TRP 01	3	2	3	4	1	30	C
BTR TEN 01	2	2	2	2	1	14	M
BTR RDA 01	2	3	2	2	1	16	M
BTR EBB 01	1	4	3	3	1	11	M
BTR BTR 01	4	3	2	4	1	40	C

Tabla 12.

Análisis de criticidad del tornillo sin fin

Tornillo sin fin							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	criticidad
TSF CAN 01	1	1	3	2	2	8	B
TSF SFN 01	4	3	4	4	1	48	C
TSF TAP 01	1	1	1	1	2	5	B

Tabla 12. *Continuación*

Tornillo sin fin							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	criticidad
TSF TES 01	3	1	2	3	1	21	A
TSF COL 01	3	2	1	3	1	21	A
TSF CDD 01	2	1	1	2	2	12	M
TSF UDA 01	1	1	5	5	1	12	M

Tabla 13.

Análisis de criticidad del transportador de arrastre

Transportador de arrastre							
Código	PF	S	CEM	P	MA	Total	Criticidad
TDA UDM 01	1	1	5	5	1	12	M
TDA UNT 01	3	2	3	2	1	24	A
TDA CAN 01	2	1	2	2	3	16	M
TDA TEC 01	2	1	2	1	2	12	M
TDA CYP 01	4	4	4	3	1	48	C

Podemos observar en la figura 17 que para cada uno de los equipos de interés se presentan sistemas o componentes críticos a los cuales se deberá prestar mayor atención durante las labores de mantenimiento; siendo los más críticos y con probabilidad de falla, los sistemas correspondientes al transportador de arrastre y tornillo sin fin, sin dejar de lado ni descuidar lo que se podría presentar durante el tiempo de servicio del elevador de cangilones y bandas transportadoras.

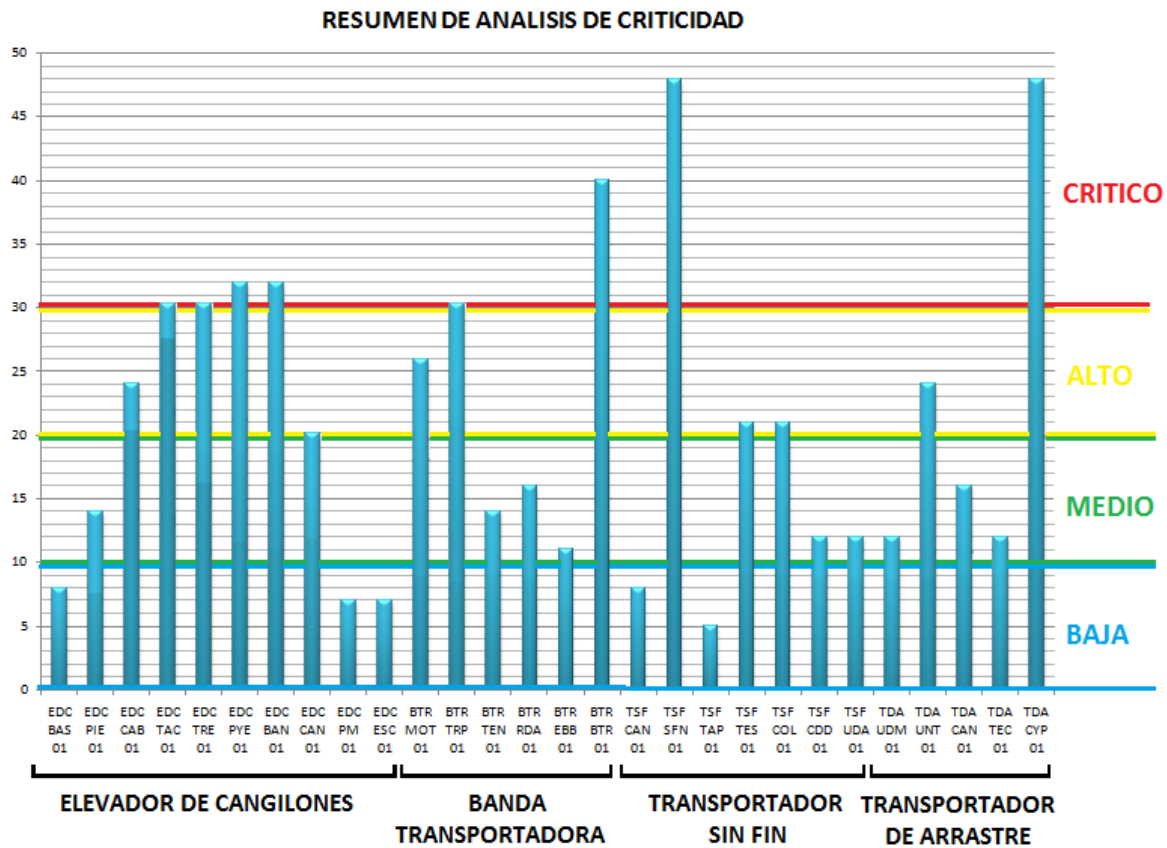


Figura 22. Criticidad de los equipos y componentes en estudio

Vale la pena aclarar que todos los equipos y sus componentes son importantes, por lo cual todos deben contar con una estrategia de mantenimiento. Sin embargo, la clasificación nos da el orden en que debemos priorizar la atención en cada sistema o componente.

5.8. Tareas a programar y prevención

En esta sección se debe tener en cuenta que una vez programado un trabajo, la atención es la misma para cualquier equipo o sistema, por lo cual todos los equipos deben ser evaluados dentro de una estrategia de mantenimiento.

Tabla 14.

Mantenimiento preventivo a realizar para el Elevador de cangilones.

Elevador de cangilones		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Eliminar residuos y obstrucción en la base del elevador y tolva de alimentación	Operario	Diario
Verificar tensión de la banda	Auxiliar Técnico	Mensual
Verificar estado, ajuste y tornillería de los cangilones	Operario Auxiliar Técnico	Semestral
Verificar el sistema eléctrico	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Verificar sistema de freno	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Verificar empalme de la banda	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Lubricación según recomendación del fabricante	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Alineación de rodamientos y ejes	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Revisar babero de descarga	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Verificar con galgas desgaste de las poleas	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Verificar alineación de poleas	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Revisar cuñeros y tornillos prisioneros	Auxiliar Técnico	Semanal

Tabla 14. *Continuación.*

Elevador de cangilones		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Revisar y limpiar plataforma de mantenimiento	Operario	Diario
Examinar cualquier indicio de corrosión en las plataforma y escaleras	Operario	Diario

Tabla 15.

Mantenimiento preventivo a realizar para la Banda Transportadora

Banda transportadora		
Tarea propuesta	Responsable	intervalo
Revisar el nivel de aceite del reductor y si es necesario reponerlo	Operario Auxiliar Técnico	Semanalmente
Revisar la alineación del grupo motor-reductor y detectar ruidos en rodamientos y engranajes	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Revisión general, ejes, engranes, piñones, conos bomba de aceite y demás.	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Anual
Graduar correctamente el sistema tensor y revisar los rodillos de carga y retorno	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Inspección visual de la banda en busca de desgastes o ruptura	Operario	Diariamente
Revisión del estado del aceite específicamente de su temperatura (<40°C).	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal

Tabla 15. *Continuación*

Banda transportadora		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Retirar el material que obstruye el motoreductor y de ser necesario crear ventilación forzada a fin de reducir la temperatura.	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Conocer el manual de operación y evitar exceso de carga en la banda, de ser necesario descargar la banda hasta eliminar la sobrecarga.	Operario	Diariamente
Verificar el desgaste o desajuste de las correas del sistema de transmisión de potencia de la banda transportadora.	Operario Auxiliar Técnico	Semanal
Verificar posibles fugas de lubricante lo que podría ser producto del deterioro del anillo de estanqueidad o de la pista giratoria, para lo cual debería chequearse u cambiar de ser necesario.	Operario Auxiliar Técnico	Diariamente

Tabla 16.

Mantenimiento preventivo a realizar para el tornillo sin fin

Tornillo sin fin		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Verificar la existencia de proceso de abrasión que podría romper el casco del transportador sinfín, por lo cual de ocurrir debería pararse para reforzar con platina.	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal

Tabla 16. *Continuación*

Tornillo sin fin		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Podría existir sobrecarga en la capacidad de transportador, por lo que debería revisarse las compuertas ingreso y salida verificando su estado.	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Revisar obstrucción en el moto reductor, por lo que se debía retirar el material que genera el problema obstruye y de ser necesario crear ventilación forzada a fin de reducir la temperatura.	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Revisar si existe contacto de las paletas del transportador sinfín con el casco del mismo generando fricción y consumo de potencia adicional.	Operario Auxiliar Técnico	Semanal
Revisar una posible rotura de la chaveta o el engranaje de transmisión completamente desgastado en caso de velocidad de giro o deseada	Operario Auxiliar Técnico	Semanal
Verificar estado de soportes colgantes y calibre del material transportado	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Verificar característica física del material a transportar, para que no se compacte	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	semanal
Lubricar adecuadamente rodamientos, cambiar sellos si es necesario cambio de rodamientos	Operario Auxiliar Técnico	Mensual

Tabla 17.

Mantenimiento preventivo a realizar para el transportador de arrastre

Transportador de arrastre		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Verificar espesor de material a transportar.	Operario	Diario
Apretar paletas, verificar estado si es necesario cambiar paletas y tornillería	Operario Auxiliar Técnico	Mensual
Retirar material extraño y verifique estado del sistema	Operario	Semanal
Verificar material de fabricación de paletas, ejes y estructura del sistema si es necesario cambiarlo, en las próximas labores de mantenimiento	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Cambiar a paletas más rígidas y resistentes a materiales abrasivos	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Aumentar capacidad de torque del sistema	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Verificar restado de la cadena si es necesario cambiar	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Realizar tensión de la cadena	Auxiliar Técnico	Mensual
Verificar alineación y simetría del eje, si es necesario cambiar	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Mensual
Revisar alimentación de carga y eliminar sobrecargas	Operario Auxiliar Técnico	Diario

Tabla 17. *Continuación*

Transportador de arrastre		
Tarea propuesta	Responsable	Intervalo
Estudiar característica física del material a transportar, para que no se compacte	Auxiliar Técnico Jefe de Mantenimiento	Semanal
Verificar velocidad de giro, si es necesario bajar velocidad	Operario Auxiliar Técnico	Diario

6. Conclusiones

Como parte inicial del proceso de diseño para la implementación y apertura del mercado a un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los equipos en venta de la empresa GS INGENIERÍA es necesario obtener la información completa de cada equipo, clasificando sus sistemas y componentes. Incluyendo de manera general las especificaciones técnicas y algunas condiciones de funcionamiento.

Es importante para asegurar que todos los puntos de vista estarán contemplados a la hora de hacer el estudio, que haya personas de diferentes departamentos y conformar grupos multidisciplinarios para el desarrollo de la metodología RCM, donde la tarea de los facilitadores era de vital importancia pues será el guía durante todo el proceso, como se indica en la sección 5.1.

Se establece la necesidad del uso de herramientas para la implementación del RCM tras el análisis de criticidad detallado de cada equipo obteniendo así cual componente se encuentra en

riesgo permanente, con el fin de establecer las acciones a tomar y comenzar la tarea de capacitación del personal del riesgo en que se encuentra la producción y la integridad de ellos mismo en caso de no ejecutar las acciones correctivas planteadas.

La posibilidad de establecer un plan de mantenimiento post-venta de los equipos brindara al usuario final mayor confiabilidad, pues el conocimiento de las funciones y capacidades de cada equipo permite evaluar hasta qué punto afectara una falla en cualquiera de sus componentes. Buscando al mismo tiempo involucrar al personal en contacto con el equipo en el proceso de adoptar medidas que ayuden al buen funcionamiento y cuidado del mismo.

Referencias bibliográficas

Diccionario técnico. (sf). Tornillo sin fin. Disponible <<https://www.schrage.de/es/schrage-informa/diccionario-tecnico /transportadores-de-tornillo-sin-fin.html>> Se accedió: 3 de Abril de 2017

GS Ingeniería. (sf). Diseño, fabricación y mantenimiento de maquinaria industrial. Disponible <<http://www.gsingeneria.co/>> Se accedió: 7 de Abril de 2017

Ingeniería industrial online. (sf). Mantenimiento industrial. Disponible <<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>> Se accedió: 15 de Mayo de 2017

Ingeniería Mantenimiento. (sf). Mantenimiento centrado en fiabilidad. Disponible <<http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>> Se accedió: 15 de Mayo de 2017

Johnston, M. (sf). Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada. Disponible <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Mantenimiento Industrial. (sf). Mantenimiento industrial. Tipos y modelos de mantenimiento.

Disponible <[https://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Tipos+de +mantenimiento](https://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Tipos+de+mantenimiento)> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Mantenimiento Petroquímica. (sf). ¿Qué es RCM?. Disponible <

<http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Mora, A. (2014). Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial Coldi. p. 79-80

Moubray, J. (2004). Reliability Centered Maintenance RCM II. Industrial Press Inc. Segunda Edición.

Pistarelli, Alejandro. (2012). Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización. Editorial Buenos Aires. Cap. 7.

RCM. (sf). Mantenimiento centrado en fiabilidad. Disponible

<<http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Renovetec. (sf). Plan de mantenimiento basado en RCM. Disponible

<<http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Schrage conveying system. (sf). Transportador de discos de arrastre. Disponible <<https://www.schrage.de/es/schrage-informa/diccionario-tecnico /transportador-de-discos-de-arrastre.html>> Se accedió: 7 de Junio de 2017

Silva, P. y Orrego, J. (2009). Confiabilidad en la práctica: Lo que un gerente de confiabilidad debe saber. p. 51-52