

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZAR EL INDICE DE FALLAS EN LA  
MAQUINA CORTADORA MCKAY DE LA COMPAÑÍA SIGMASTEEL SAS  
IMPLEMENTANDO TECNICAS BASADAS EN CONFIABILIDAD (RCM)**

**LARRY JOSE ATENCIO URBINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2020**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZAR EL INDICE DE FALLAS EN LA  
MAQUINA CORTADORA MCKAY DE LA COMPAÑÍA SIGMASTEEL SAS  
IMPLEMENTANDO TECNICAS BASADAS EN CONFIABILIDAD (RCM)**

**Monografía de grado**

**Presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de mantenimiento**

**Director: José David Lleras Valencia  
Ingeniero Mecánico  
Especialista Gerencia en Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2020**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, dar gracias a Dios por darme vida, salud y poder realizar esta especialización.

A mis padres por su apoyo incondicional para realizar este proyecto académico dándome fortalezas.

A mi hija Alejandra por ser el motor de mi vida sacrificando tiempo por ella para la realización de este objetivo.

A mis compañeros y amigos gracias por su apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

**LARRY JOSE**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. MARCO CONCEPTUAL .....	19
4.1 MARCO TEORICO.....	19
4.1.1 Funciones y Parámetros de Funcionamiento .....	20
4.1.1.1 Funciones primarias: .....	20
4.1.1.2 Funciones secundarias:.....	20
4.1.2 Modos de Falla.....	21
4.1.3 Efectos de Falla.....	21
4.1.4 Consecuencias de la Falla .....	21
4.1.4.1 Consecuencias de fallas ocultas. ....	22
4.1.4.2 Consecuencias ambientales y para la seguridad: .....	22
4.1.4.3 Consecuencias Operacionales.....	22
4.1.4.4 Consecuencias No-Operacionales.....	22

4.1.5 El Proceso de Selección de Tareas de RCM .....	22
4.1.6 Tareas proactivas del RCM .....	22
4.1.6.1 Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas .....	23
4.1.6.2 Tareas a condición .....	23
4.1.7 Logros de un RCM.....	24
4.1.8 Análisis de Modos y Efectos de Falla, (FMEA) [1].....	26
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	33
4.2.1 Descripción General Maquina cortadora al vuelo.[3].....	33
4.2.2 Cortadoras por fricción estacionarias. ....	35
4.2.3 Descripción de las partes de la cortadora .....	35
4.2.3.1 Rueda de medición (Tracking Wheel). ....	35
4.2.3.2 Cortadora al vuelo .....	36
4.2.4. Procedimientos de ajustes. ....	37
4.2.4.1. Rueda de medida. ....	37
4.2.4.2 Cortadora. ....	38
4.2.5. Operación del corte. ....	38
4.2.5.5. Especificaciones Técnicas de la cortadora.....	46
5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	50
5.1 METODOLOGÍA .....	50
5.1.1 Paso 1. Selección del sistema y recopilación de información. ....	50
5.1.2 Paso 2. Definición de límites del sistema .....	58
5.1.3 Paso 3. Descripción del sistema y diagrama de bloques funcional. ....	59

5.1.3.1 Descripción del sistema.....	59
5.1.4 Paso 4. Función del sistema y fallas funcionales. ....	62
5.1.5 Paso 5. Modos de fallas y análisis de efecto. ....	65
5.1.5.3 Normas para implementar el análisis de modos de falla, efectos y criticidad- FMECA [5].....	65
5.1.5.4 Criterios para la elaboración de la matriz de criticidad [4]. ....	67
5.1.5.5 Definición del valor numérico de la severidad por categorías: .....	68
5.1.5.6 Definición del valor numérico de la frecuencia. ....	69
5.1.5.7 Definición del valor numérico de la probabilidad de detección del modo de falla. .....	70
5.1.5.8 Definición de códigos de colores para las prioridades .....	70
5.1.5.9 Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad (FMECA) [7].....	71
5.1.5.10 Valoración de los modos de falla. Historial desde 2018 a 2019. ....	75
5.1.6 Paso 6. Selección de tareas [6].....	77
5.1.7. Paso 7. Determinación de tareas y frecuencia de mantenimiento.....	79
6. CONCLUSIONES .....	83
7. RECOMENDACIONES .....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formato de FMEA (Modos de Fallas y Efectos de Análisis) .....	31
Tabla 2. Taxonomía Cortadora al vuelo MCKAY empresa SIGMASTEEL SAS, según ISO-14224:2016 (2).....	51
Tabla 3. Fallas asociadas a la unidad cortadora al vuelo .....	53
Tabla 5. Numero fallas Sobre los ítems mantenibles.....	56
Tabla 6. Estructura de descomposición SWBS para cortadora Mckay.....	61
Tabla 7. Función del sistema y falla funcional.....	63
Tabla 8. FMEA Para los componentes de la cortadora Mckay .....	72
Tabla 9. Valoración de los modos de Falla .....	75

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Circuito de iluminación.....	32
Figura 3. Límite del sistema Cortadora. Procesos Entrada y Salidas .....	58
Figura 4. Diagrama de bloques sistema cortadora al vuelo. ....	61
Figura 5. Matriz de los equipos fallas funcionales.....	71

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZAR EL INDICE DE FALLAS EN LA MAQUINA CORTADORA MCKAY DE LA COMPAÑÍA SIGMASTEEL SAS IMPLEMENTANDO TECNICAS BASADAS EN CONFIABILIDAD (RCM) <sup>1</sup>

**AUTOR:** LARRY JOSE ATENCIO URBINA <sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** Disponibilidad, confiabilidad, Análisis de FMECA, modos de falla, criticidad.

### DESCRIPCION.

SIGMASTEEL SAS dentro de sus planes estratégicos está el ser reconocida como una empresa del sector metalúrgico a nivel mundial con capital humano nacional, para la fabricación de productos de acero utilizados en la construcción.

Dentro del sistema de gestión integral de la compañía, el departamento de mantenimiento tiene como objetivo estratégico garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos e infraestructura que intervienen en la operación de la organización, por lo que debemos establecer técnicas en mantenimiento que nos minimizan las fallas en los equipos haciéndolos más confiables durante su operatividad.

El desarrollo de esta monografía tiene como objetivo elaborar un modelo para minimizar las fallas en una de la sección de la maquina formadora de tubo, implementando técnicas de mantenimiento basadas en confiabilidad (RCM) bajo herramientas de análisis, modos y efectos de fallas FMECA. Inicialmente se realizó una selección del sistema en general de la formadora MCKAY para recopilar información pertinente a las fallas presentadas y realizar un análisis de Pareto para determinar que equipos o sistemas son más críticos.

Posteriormente se revisa las diferentes normas para la realización de los modos y efectos de fallas, así como su análisis crítico, se selecciona una y en base a esta se desarrolla una matriz de criticidad que será la base para la selección de las tareas de mantenimiento.

Finalmente seleccionamos las tareas basadas en la criticidad calculada del sistema y establecemos una frecuencia óptima para realizar el mantenimiento al sistema analizado.

Finalmente seleccionamos las tareas basadas en la criticidad calculada del sistema y establecemos una frecuencia óptima para realizar el mantenimiento al sistema analizado.

---

<sup>1</sup> Monografía de Grado

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento

## SUMMARY

**TITLE:** DESIGN OF SYSTEM TO MINIMIZE THE FAILURE INDEX IN THE MCKAY CUTOFF MACHINE OF THE SIGMASTEEL SAS COMPANY IMPLEMENTING RELIABILITY-BASED TECHNIQUES (RCM) <sup>3</sup>

**AUTHOR:** LARRY JOSE ATENCIO URBINA<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** Availability, reliability, FMECA analysis, failure modes, criticality.

### DESCRIPTION.

SIGMASTEEL SAS, within its strategic plans, is to be recognized as a worldwide metal sector company with national human capital, for the manufacture of steel products used in construction.

Within the company's comprehensive management system, the maintenance department has the strategic objective of guaranteeing the availability and reliability of the equipment and infrastructure involved in the operation of the organization, so we must establish maintenance techniques that minimize failures. in the equipment making them more reliable during their operation.

The development of this monograph aims to develop a model to minimize failures in one of the section of the tube forming machine, implementing reliability-based maintenance techniques (RCM) under analysis tools, modes and effects of FMECA failures.

Initially, a selection of the overall system of the MCKAY trainer was made to gather information relevant to the failures presented and to perform a Pareto analysis to determine which equipment or systems are more critical.

Subsequently, the different standards for the realization of failure modes and effects are reviewed, as well as their critical analysis, one is selected and based on this a criticality matrix is developed that will be the basis for the selection of maintenance tasks.

Finally, we select the tasks based on the calculated criticality of the system and establish an optimal frequency to perform maintenance on the analyzed system.

---

<sup>3</sup> Grade Monograph

<sup>4</sup> Universidad Industrial de Santander, Faculty of Mechanical Engineering, Specialization in Maintenance Management

## INTRODUCCION

La fabricación de tuberías es una de las actividades más importantes, sobre todo porque son elementos claves para diferentes sectores, especialmente para la construcción. Para lograr conformar este tipo de conductos, es necesario llevar a cabo una serie de procesos que van desde la obtención de la materia prima, hasta la consecución del producto final. Uno de los pasos más importantes para cumplir con las características de los tubos, es pasar atreves de la cortadora de tubos y otras herramientas que permiten confeccionarlos tal y como se ofrecen en el mercado.

En este sentido y dentro de todos los procesos que implica la fabricación de tubería, nos interesa destacar el método de corte y la importancia que tiene este dentro de la maquina general formadora de tubos.

Durante el desarrollo de la monografía se propone un diseño para minimizar el indicador de gestión, basados en los efectos y modos de fallas de los equipos críticos en la cortadora, manteniendo la confiabilidad y disponibilidad de los equipos originando una mejora en los planes de mantenimiento.

Se identificarán los elementos y equipos críticos de la cortadora, determinando los que generan mayor impacto en fallas, para establecer las actividades de mantenimiento a realizar.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

SIGMASTEEL SAS es una empresa del sector metalúrgico ubicada dentro de la Zona Franca la Cayena del área metropolitana de barranquilla vía Juan Mina, que presta sus servicios de corte de bobina de acero y la transformación de esta en productos de acero estructural tales como: tubería redonda, cuadrada, rectangular, perfilada abierta, cerrada y grafiá; para el sector de la construcción.

La planta cuenta con un área de producción de 42.000m<sup>2</sup> y capacidad de almacenamiento de producto terminado para 6.000 toneladas.

Para la fabricación de los productos de acero estructural SIGMASTEEL SAS cuenta con 12 líneas de producción que se inician desde el proceso recepción de materia prima, servicio de corte, transformación del acero en productos, entrega APT y despacho.

Una de las máquinas que genera mayor impacto en el proceso de fabricación de la tubería de acero estructural por su capacidad de formación en grandes diámetros (hasta 7" diámetro exterior) y espesores (7,11mm) es la formadora MCKAY, que cuenta con varias secciones como: Equipo entrada, sección formadora, sección calibrado, soldador alta frecuencia, máquina cortadora, mesas de salida y empaque.

Dentro de las secciones mencionadas anteriormente, la máquina cortadora MCKAY es una de las más críticas dentro de toda la formadora por su alto índice de fallas que ha presentado a través de años anteriores, por lo que se requiere implementar un sistema basado en RCM con el objetivo de minimizar este indicador (fallas) al 2%. Actualmente este indicador se encuentra en un 5%

El índice de falla que la cortadora MCKAY ha presentado durante los últimos tres años (2016 – 2017 – 2018) en promedio es de un 15%, siendo ese valor muy alto en relación

al 3%, que es un valor aceptable tomado como referencia de otras máquinas cortadoras similares.

El indicador establecido para esta máquina está definido de la siguiente manera:

Índice falla (%) = (Duración tiempo falla de maquina / Tiempo maquina produciendo) x 100.

La cortadora MCKAY está conformada por varias partes como son: unidad hidráulica, sistema husillo, sistema bancada, sistema medida tracking Wheel, tablero eléctrico fuerza y control.

Para nuestro caso debemos analizar la cortadora que es la sección más crítica dentro de la formadora de tubo por su impacto en el índice de fallas de la maquina en general.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema para disminuir el indicador de fallas al 2% en la cortadora MCKAY utilizando técnicas basadas en confiabilidad (RCM).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Identificar cada una de las partes críticas de la cortadora, dividir en componentes y subcomponentes.

Realizar el análisis funcional, modos de fallas y efectos de falla de las partes que conforman sistema cortadora MCKAY.

Determinar las actividades preventivas y correctivas a realizar en el sistema.

Implementar los niveles de falla y efectos de fallas en la matriz de criticidad para determinar su impacto al sistema de la cortadora e implementar tareas de mantenimiento.

Determinar un stock de repuestos críticos mediante una matriz reducida para la cortadora MCKAY.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las plantas del sector metalúrgico y metalmeccánica son de alta resistencia lo que significa que existen grandes demandas en consumo de material, diseño y controles de proceso. Las fallas y eventos que se presentan en este tipo de sectores generan altos costos por pérdidas en producción que incurren en el material, además desde el punto de vista de la confiabilidad, seguridad y medio ambiente, que son factores considerados para la toma de decisiones costo-efectivas en la operación de cualquier industria, independientemente del desarrollo continuo y la constante optimización durante la fase del diseño.

La exigente competencia en este campo y un mercado limitado, hace a los usuarios de este tipo de plantas buscar un aprovechamiento óptimo de las instalaciones, mejorando la calidad del producto que presupone una alta disponibilidad en sus procesos evitando fallas imprevistas. Además, las complejidades de los sistemas de automatización constantemente aumentan el costo del mantenimiento respecto al personal, los stocks de los repuestos deben reducirse al mínimo para seguir siendo competitivos.

En los últimos años se vienen presentando un alto índices de paradas en las maquinas utilizadas en SIGMASTEEL SAS para la fabricación de sus productos, afectando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos al proceso productivo e incumplimiento en las metas de producción. Entre ellas está la formadora MCKAY que presenta un alto índice de fallas promedio anual de 15% por paradas de mantenimiento siendo la sección de la cortadora la que genera mayor impacto en tiempo de paradas aumentando así su indicador.

Según lo anterior, se requiere una herramienta de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para minimizar el índice de falla al 2% de la cortadora MCKAY utilizando una metodología de análisis racional, estructural y sistemática que defina las

tareas optimas de mantenimiento necesarias para eliminar los riesgos de los modos de falla.

## 4. MARCO CONCEPTUAL

### 4.1 MARCO TEORICO

El RCM se puede definir como un proceso utilizado para determinar requerimientos de mantenimiento de cualquier activo fijo para cumplir su función para la cual fue diseñado basado en su contexto operacional. Su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad del personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo beneficio. [1]

En pocas palabras, la metodología del RCM se fundamenta de las siguientes características:

- 1) Evaluar los componentes, su función y su estado del activo fijo.
- 2) Identificar los componentes críticos (modos de falla) que afecten su funcionalidad.
- 3) Chequear en sitio y en operación estado físico y funcional de los elementos mediante constante revisión y análisis.
- 4) Seleccionar tareas de mantenimiento aplicables y efectivas de mantenimiento proactivo y predictivo.

El proceso de RCM formula siete preguntas tradicionales [2] acerca del activo o sistema que se intenta revisar las cuales son:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño deseados del equipo en su contexto operacional (Funciones)?
2. ¿De qué forma puede fallar y no cumplir con sus funciones (Fallas Funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (Modos de Falla)?

4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (Efecto de Falla)?
5. ¿En qué forma afecta cada falla (Consecuencia de la Falla)?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla (Tareas Proactivas y sus Intervalos)?
7. ¿Qué debemos hacer si una tarea proactiva no previene la falla (Acciones por Omisión)?

**4.1.1 Funciones y Parámetros de Funcionamiento.** La función es todo lo que el usuario espera que el activo realice, dentro de sus estándares de diseño. La descripción de una función debe consistir de un verbo, objeto y un parámetro de funcionamiento deseado.

**4.1.1.1 Funciones primarias:** Las funciones primarias hacen referencia al porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de la función relaciona temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

**4.1.1.2 Funciones secundarias:** Son funciones complementarias que deben darse en un activo para poder cumplir sus funciones primarias.

En RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona, pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantenerlos niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Entendiendo como falla la incapacidad de cualquier activo en hacer lo que su usuario quieren que haga (capacidad inicial, funcionamiento deseado, margen de deterioro).

**4.1.2 Modos de Falla.** Son hechos que de manera razonable posiblemente puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla "razonablemente posibles" incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido, pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

**4.1.3 Efectos de Falla.** Es el cuarto paso en el proceso de RCM y tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla.

Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (sí la representa)
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla
- Qué debe hacerse para reparar la falla

**4.1.4 Consecuencias de la Falla.** Un punto vital del RCM, es el reconocimiento de las consecuencias de las fallas, que son más importantes que sus características técnicas. De hecho, reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas sino eliminar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

**4.1.4.1 Consecuencias de fallas ocultas.** Una falla oculta es una falla funcional no evidente por sí mismo al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación. Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).

**4.1.4.2 Consecuencias ambientales y para la seguridad.** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

**4.1.4.3 Consecuencias Operacionales.** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales. No al costo directo de la reparación).

**4.1.4.4 Consecuencias No-Operacionales.** Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

**4.1.5 El Proceso de Selección de Tareas de RCM.** EL RCM dentro de sus objetivos, está la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto operacional dado (si existe alguna), y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia.

**4.1.6 Tareas proactivas del RCM.** Las tareas corresponden a la lista de acciones necesarias, para completar una operación, realizadas en un cierto orden. El RCM divide a las tareas proactivas en tres categorías:

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas
- Tareas de sustitución cíclicas
- Tareas a condición

**4.1.6.1 Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas.** El reacondicionamiento cíclico implica re fabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento. De manera parecida, las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento. En conjunto estos dos tipos de tareas son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo.

**4.1.6.2 Tareas a condición.** El crecimiento de nuevos tipos de manejo de falla se debe a la continua necesidad de prevenir ciertos tipos de falla, y la creciente ineficacia de las técnicas clásicas para hacerlo. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y permitir actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformaran en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados. (El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición)

Si son utilizadas correctamente las tareas a condición son una muy buena manera de manejar las fallas, pero a la vez pueden ser una pérdida de tiempo costosa.

RCM permite tomar decisiones en esta área con certeza particular.

#### 4.1.7 Logros de un RCM. Se relacionan los más importantes.

- ✓ *Mayor seguridad e integridad ambiental:* RCM considera las implicancias ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones. Esto significa que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, el RCM también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.
  
- ✓ *Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente):* RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, y que se tomarán las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo de ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere.
  
- ✓ *Mayor costo-eficacia del mantenimiento:* RCM continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener los mejores resultados. Además, si es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras, las tareas de mantenimiento hechas cíclicamente) de cada período, habitualmente entre un 40 y un 70%. Por otro lado, si RCM se utiliza para desarrollar un programa de mantenimiento nuevo, la carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales.

- ✓ *Mayor vida útil de componentes costosos:* debido al cuidadoso énfasis en el uso de las técnicas de mantenimiento a condición.
- ✓ *Una base de datos global:* una revisión de RCM finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización. Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes (como cambios de modelos o aparición de nuevas tecnologías) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde un comienzo. También permite a quienes utilizan el equipo demostrar que sus programas de mantenimiento están contruidos sobre una base racional (la traza de auditoría requerida por cada vez más organismos de regulación). Finalmente, la información almacenada en las hojas de trabajo de RCM reduce los efectos de la rotación de personal y la pérdida de experiencia que esto provoca.

Una revisión RCM sobre los requerimientos de mantenimiento de cada activo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir qué repuestos deben tenerse en stock. Un producto secundario valioso es la mejora de planos y manuales.

- ✓ *Mayor motivación del personal:* especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un “sentido de pertenencia” más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También aumenta la probabilidad de que las soluciones perduren.
- ✓ *Mejor trabajo de equipo:* RCM provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al personal de mantenimiento y de operaciones un mejor

entendimiento de lo que el mantenimiento puede (y de lo que no puede) lograr, y qué debe hacerse para lograrlo.

Todos estos temas son parte central de la administración del mantenimiento y muchos ya son los objetivos de los programas de mejora. Un rasgo importante en RCM es que provee un encuadre efectivo y paso a paso para tratar a todos ellos al mismo tiempo, y para involucrar a todos aquellos que tengan relación con el equipo y con el proceso del que forman parte. RCM da resultados rápidamente, de hecho, si son enfocadas y aplicadas correctamente, las revisiones de RCM se repagan en cuestión de meses y hasta semanas, estas revisiones transforman tanto la percepción de los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos utilizados por la organización y la manera en que es percibida la función de mantenimiento como un todo. El resultado es un mantenimiento más costo-eficaz, más armonioso y más exitoso.

RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diseñar los programas de mantenimiento para nuevos tipos de aeronaves antes que entraran en servicio. Por lo tanto, resulta ser una manera ideal de desarrollar programas de este tipo para nuevos activos físicos especialmente equipos complejos para los que no existe información histórica disponible. Esto ahorra mucho de la prueba y error que tan frecuentemente forma parte del desarrollo de nuevos programas de mantenimiento; pruebas que son frustrantes, demandan tiempo y producen errores que pueden ser muy costosos

**4.1.8 Análisis de Modos y Efectos de Falla, (FMEA) [1].** El FMEA generalmente se reconoce como la herramienta fundamentalmente más utilizada en la ingeniería de confiabilidad. Debido a su enfoque práctico y cualitativo, también es la forma de análisis de confiabilidad más ampliamente comprendida y aplicada que encontramos en toda la industria. Además, el FMEA forma la cabecera de prácticamente todos los análisis y evaluaciones posteriores de confiabilidad porque obliga a una organización a evaluar

sistemáticamente las debilidades de los equipos y sistemas, y sus interrelaciones que pueden conducir a la falta de fiabilidad del producto.

Pero antes de proceder a analizar el proceso FMEA, creemos que es importante abordar una cuestión de semántica que a menudo se plantea en esta discusión.

Hasta donde podemos recordar, ha habido diversos grados de confusión sobre lo que las personas quieren decir cuando usan la terminología que implica la palabra "falla". La falla es una palabra desagradable, y a menudo usamos palabras sustitutas como anomalía, defecto, discrepancia, irregularidad, etc., ya que suenan menos amenazantes o menos graves.

El espectro de interpretaciones para las fallas va desde un fallo insignificante a una catástrofe. Podríamos sugerir que el significado es realmente bastante simple: La falla es la incapacidad de un equipo, un sistema o una planta para cumplir con su operación para la cual fue diseñado. Esta expectativa siempre se detalla en una especificación en nuestro mundo de la ingeniería y, cuando se escribe correctamente, no deja lugar a dudas sobre dónde exactamente residen los límites del rendimiento satisfactorio. Entonces, la falla es la incapacidad de cumplir con las especificaciones. Bastante simple, creemos, para evitar gran parte de la confusión inicial. Además, hay varias frases importantes y de uso frecuente que incluye la palabra falla: síntoma de falla, modo de falla, causa de falla y efecto de falla.

*Síntoma de falla.* Este es un indicador revelador que nos alerta (generalmente el operador) sobre el hecho de que una falla está a punto de existir. Nuestros sentidos o instrumentos son la fuente primaria para tal indicación. Los síntomas de falla pueden o no indicarnos exactamente dónde se encuentra la falla pendiente o cuán cerca de la condición de falla podríamos estar. En muchos casos, no hay ningún síntoma de falla (o

advertencia) en absoluto. Una vez que la falla ha ocurrido, cualquier indicación de su presencia ya no es un síntoma; ahora observamos su efecto.

*Modo de fallo.* Esta es una breve descripción de lo que está mal. Es extremadamente importante para nosotros entender esta definición simple porque, en el mundo del mantenimiento, es el modo de falla el que tratamos de prevenir o, en su defecto, lo que tenemos que arreglar físicamente. Hay cientos de palabras simples que utilizamos para desarrollar descripciones apropiadas del modo de falla: atascado, desgastado, deshilachado, agrietado, doblado, mellado, con fugas, obstruido, esquilado, rayado, roto, erosionado, cortocircuitado, dividido, abierto, rasgado, etc. La principal confusión aquí es claramente distinguir entre el modo de falla y la causa de la falla, y comprender que el modo de falla es lo que debemos evitar o corregir.

Como ilustración simple, una válvula de compuerta se atasca "cerrada" (modo de falla), pero ¿por qué sucedió esto? Digamos que esta válvula se encuentra en un ambiente muy húmedo, por lo que la causa de la falla es la "corrosión inducida por la humedad". Podríamos optar por reemplazar la válvula con un modelo de acero inoxidable de alta calidad que resistiría (tal vez detendría) la corrosión (una solución de diseño), o, desde el punto de vista del mantenimiento, podríamos lubricar y operar periódicamente la válvula para mitigar el efecto corrosivo, pero no hay nada que podamos hacer para eliminar el ambiente húmedo natural. Por lo tanto, las tareas de PM no pueden corregir la causa; solo pueden abordar el modo. Esta es una distinción importante que hacer, y muchas personas no entienden claramente esta distinción.

*Efecto de falla.* Finalmente, describimos brevemente la consecuencia del modo de falla en caso de que ocurra. Para completar, esto generalmente se realiza en tres niveles de ensamblaje: local, sistema y planta. Al describir el efecto de esta manera, vemos claramente la acumulación de consecuencias. Con nuestra válvula de compuerta atascada, el efecto local en la válvula es "detiene todo el flujo". A nivel del sistema,

"ningún fluido pasa al siguiente paso en el proceso" Y finalmente, a nivel de la planta, "la producción del producto cesa (tiempo de inactividad) hasta que la válvula pueda volver a funcionar".

Por lo tanto, sin una comprensión clara de la terminología de falla, los análisis de confiabilidad no solo se vuelven confusos, sino que también pueden conducir a decisiones incorrectas.

El FMEA incorpora un proceso que intenta identificar los modos de falla del equipo, sus causas y, finalmente, los efectos que pueden producirse si estos modos de falla se producen durante el funcionamiento de una máquina. Tradicionalmente, se considera que el FMEA es una herramienta de diseño que se utiliza ampliamente para asegurar el reconocimiento y la comprensión de las debilidades (es decir, modos de falla) que son inherentes a un diseño dado tanto en su concepto como en su formulación detallada. Con esta información, el personal de diseño y gestión está mejor preparado para determinar qué, en todo caso, podría y debería hacerse para evitar o mitigar los modos de falla. Además, esta información también proporciona la entrada básica a un modelo de confiabilidad bien estructurado que puede usarse para predecir y medir el rendimiento de confiabilidad del producto contra objetivos y requisitos específicos.

La delineación de las tareas de PM también se basa en el conocimiento de los modos de falla del equipo y sus causas. Es en este nivel de definición que debemos identificar las acciones adecuadas de PM que pueden prevenir, mitigar o detectar el inicio de una condición de falla. Especificar tareas de PM sin una buena comprensión del modo de falla y la información de causa es, en el mejor de los casos, nada más que un juego de adivinanzas. Por lo tanto, el FMEA desempeñará un papel vital en el proceso de RCM,

¿Cómo realizamos el FMEA? En primer lugar, debemos tener claro una comprensión bastante buena del diseño y la operación del equipo como punto de partida esencial. El

propio proceso de FMEA procede de forma ordenada para considerar cualitativamente las formas en que pueden fallar las piezas o conjuntos individuales del equipo.

Estos son los modos de falla que deseamos enumerar, y son los estados físicos en los que se puede encontrar el equipo. Por ejemplo, un interruptor puede estar en un estado donde no se puede abrir o cerrar. Los modos de falla describen los estados necesarios dentro de las funciones del dispositivo que se han perdido. Alternativamente, cuando hay suficientes conocimientos o detalles disponibles, los modos de falla se pueden describir en terminología más específica, como "bloqueo atascado" o "resorte de accionamiento roto". Claramente, cuanto más precisa es la descripción del modo de falla, más comprensión tenemos para decidir cómo puede eliminarse, mitigarse o adaptarse. Aunque puede ser difícil evaluar con precisión, también intentamos definir una causa de falla creíble para cada modo de falla (tal vez más de uno si se considera apropiado hacerlo). Por ejemplo, el modo de falla "bloqueo atascado" podría ser causado por contaminación (suciedad) y el "resorte roto" podría ser el resultado de una incompatibilidad de carga de material (un diseño deficiente) o fatiga cíclica (una situación de fin de vida útil).

Cada modo de falla se evalúa por su efecto. Esto generalmente se hace considerando no solo su efecto local en el dispositivo directamente involucrado, sino también su efecto en el siguiente nivel más alto de ensamblaje (por ejemplo, subsistema) y, finalmente, en el nivel superior de ensamblaje o nivel de producto (por ejemplo, sistema o planta). Por lo general, es más conveniente definir dos o tres niveles de ensamblaje en los cuales se evaluará el efecto de falla para obtener una comprensión completa de cuán significativo podría ser el modo de falla si ocurriera. De esta forma, el analista obtiene una visión de abajo hacia arriba de qué dispositivos y modos de falla son importantes para los objetivos funcionales del sistema o producto general. Un formato FMEA típico es:

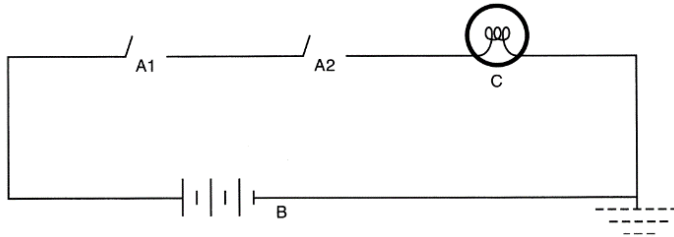
**Tabla 1. Formato de FMEA (Modos de Fallas y Efectos de Análisis)**

Component	Mode	Effect	Comment
1. Switch A1	1.1 Fails open 1.2 Fails closed	1.1 System fails 1.2 None	1.1 Cannot turn on light. 1.2 If A2 also fails closed, then system fails by premature battery depletion.
2. Switch A2	(same as A1)	(same as A1)	(same as A1)
3. Light Bulb C	3.1 Open filament 3.2 Shorted base	3.1 System fails 3.2 System fails; possible fire hazard	3.1 Cannot turn on light. 3.2 Cannot turn on light. May cause secondary damage to rest of system.
4. Battery B	4.1 Low charge  4.2 No charge 4.3 Over-voltage charge	4.1 System degraded; dim light bulb 4.2 System fails 4.3 System fails by secondary damage to Light Bulb C	4.1 May be precursor to "no charge." 4.2 Cannot turn on light. 4.3 Secondary damage to Light Bulb C caused by over-current.

**Fuentes** A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, RCM--Gateway to World Class Maintenance: Universidad Industrial de Santander. Amsterdam : Butterworth-Heinemann., 2004.

A modo de ejemplo, se muestra un FMEA, basado en un circuito de iluminación sencillo que se muestra en la Figura 1. En este caso, el FMEA se lleva a cabo a nivel del sistema debido a su simplicidad, y simplemente nos movemos por el circuito del sistema, dispositivo por dispositivo. En un análisis más complejo, podríamos dedicar un FMEA completo a un solo dispositivo y dividirlo en sus partes principales y ensamblajes para su análisis. Una bomba o un transformador son ejemplos de dónde esto podría hacerse.

**Figura 1. Circuito de iluminación.**



Con frecuencia, los FMEA se amplían para incluir otra información para cada modo de falla, especialmente cuando el FMEA se realiza para respaldar un esfuerzo de diseño. Estos elementos adicionales de información podrían incluir:

- Síntomas de falla
- Pasos de detección y aislamiento de fallas
- Datos de mecanismos de falla (es decir, datos microscópicos en el modo de falla y / o causa de falla)
- Datos de tasa de falla en el modo de falla (no siempre disponible con la precisión requerida)
- Acciones correctivas / de mitigación recomendadas

Cuando se logra un FMEA bien ejecutado, se genera una gran cantidad de información útil para ayudar a lograr la confiabilidad esperada del producto.

## 4.2 MARCO CONCEPTUAL

**4.2.1 Descripción General Maquina cortadora al vuelo.[3].** Las máquinas cortadoras al vuelo por fricción, son dispositivos utilizados para cortar barras de material o tipos de placas de materia prima. Las herramientas de corte para este tipo de máquinas pueden ser discos metálicos delgados, cuchillas metálicas o bandas flexibles. Dichas herramientas se usan para corte real, rectificado o fusión.

Su funcionamiento es de gran utilidad en líneas de producción de tuberías, detectando la velocidad de la línea y la longitud para realizar su corte a la medida requerida, siguiendo la forma del tubo (cuadrado o redondo), una vez que se completa el proceso de formación.

Durante el proceso está trabaja de la siguiente forma: para el movimiento de la cortadora se utiliza un dispositivo sujeto a un carro que hace el movimiento de seguimiento. Cuando las velocidades del carro y la de la tubería están sincronizadas en ese momento se realiza el corte.

En la operación se pueden lograr hacer varios cortes de tubos mientras la línea está en movimiento. El sistema de control en este tipo de máquinas es multi-ejes.

La característica de la maquina cortadora para la cual se realizará su estudio para darle confiabilidad es de alto rendimiento con una unidad autónoma que permite cortar tubo redondo o en forma variable, a longitud de corte preestablecidas como es entregada en funcionamiento continuo de la formadora. La operación de la cortadora es automática y requiere poca o sin intervención del operador durante su operación normal.

La cortadora está diseñada para operar a altas velocidades de corte incrementando la velocidad de superficie de corte y optimizar los elementos individuales del ciclo para minimizar los tiempos de dicho ciclo.

El desempeño de la cortadora depende del tipo de cuchilla utilizada, el tamaño de tubo a cortar y la dureza del tubo comparada con la del disco de corte. El tiempo requerido para cortar el tubo depende de la variedad del área. Este tiempo es crítico para el tiempo total de la cortadora y es sin embargo un factor importante para determinar el rendimiento global de la cortadora.

Las visualizaciones del ajuste para la cortadora están ubicadas sobre un panel de operador, permitiendo al operario optimizar las condiciones del corte. El operario ingresa el tamaño del tubo, su perfil (redondo, cuadrado o rectangular), diámetro de la cuchilla y la velocidad de alimentación para el corte. El software ajusta la velocidad de alimentación para que el tiempo de corte sea óptimo. La incidencia al diámetro de las cuchillas y el tamaño del tubo permite controlar la posición previa al cierre de las cuchillas en el tubo durante la igualdad de velocidades del carro con el tubo, por lo que no se perdería tiempo durante el ciclo.

Este sistema de alimentación es servo controlado por medio de la posición de retroalimentación.

El tiempo de corte es mayor para tubos largos y espesores grandes. En tamaños de tubo pequeño, alta velocidad y longitudes más corta se pueden presentar.

Atraves del requerimiento del diseño de la cuchilla, aplicación de enfriamiento y control de velocidad de alimentación, el extremo del tubo deja mínima rebaba.

Los tiempos de la mordaza y el corte se han reducido cuando se tiene altas velocidades en la máquina.

Una característica importante de diseño en la cortadora es la aceleración del carro y el control. La posición del carro de la cortadora es controlada a través del alto rendimiento,

alto torque en el motor para la aceleración y retroceso y un sistema piñón – cremallera conectada al carro para una posición de control precisa.

El controlador genera alta velocidades, regulación de la posición y secuencia de las funciones de corte. El software de control suministra muchas características que no estaban previamente disponibles.

**4.2.2 Cortadoras por fricción estacionarias.** Este tipo de cortadoras son altas, poseen posiciones verticales, grandes poleas de por encima y por abajo de la mesa para mover una banda continua de dientes para cortar el material.

Las sierras de cintas son especiales para cortar tubos y tuberías PVC, siendo este tipo muy limitada por la profundidad de corte de unas cuantas pulgadas.

#### **4.2.3 Descripción de las partes de la cortadora**

**4.2.3.1 Rueda de medición (Tracking Wheel).** Esta unidad es localizada e instalada por el cliente y consiste de una base de acero soldada, carcasa de rueda de medición, rueda de medida y un generador de pulsos (encoder). La base está compuesta por un cilindro neumático y cuatro (4) bases soporte.

La carcasa de la rueda de medición esta sujeta sobre los cuatro soportes y contiene la rueda de medida montada sobre un eje de rodamientos de bola. Este eje gira, el encoder suministra una señal para emparejar la velocidad y controla la posición de la cortadora. Atraves de este sistema, se obtiene la tolerancia de la longitud requerida.

Esta tolerancia se ve afectada por transientes de ruido eléctrico, inestabilidad en la velocidad del material, condiciones de superficie del material, limpieza de la rueda de medida, velocidad de la máquina y la longitud del tubo que está siendo cortado.

#### **4.2.3.2 Cortadora al vuelo.** Principales componentes son:

- a. El carro de la cortadora es de fabricación mecanizada montada en un ensamble de abrazadera hidráulica de alta velocidad, conjunto husillo con 48" de sierra de corte, manejador para husillo, guías de entrada y salida para el tubo, guarda de la sierra con un sistema de enfriamiento por boquillas a alta presión, cilindro de alimentación servo, válvulas de control y rodillos de leva ubicados a lo largo del carro.
- b. La base de la sierra es de fabricación de acero mecanizado montada sobre acero endurecido. Esta base soporta el carro de la cortadora y es autónoma.
- c. El sistema husillo está montado sobre una base deslizante la cual es accionada hidráulicamente de manera que la sierra atraviese el producto a ser cortado.

El husillo de la sierra está montado sobre rodamientos de rodillos cónicos instalados en una carcasa acero soldada. Sobre el husillo se monta una sierra de 48" de diámetro fijándose con una tuerca hidráulica.

Los rodamientos del husillo son lubricados por un sistema de lubricación forzada que consiste de bomba y motor, filtro, intercambiador de calor (para enfriamiento del aceite del husillo), temperatura de aceite, presión, switches de flujo y presión, las cuales son todos instalados sobre del sistema husillo y utiliza la carcasa de este como reserva de aceite.

Además, los rodamientos y la carcasa del husillo son también enfriados forzosamente por la maquina a través de la carcasa del husillo. El enfriamiento es suministrado por el sistema de refrigeración de la máquina. La misma fuente de enfriamiento además de ser utilizada para refrigerar se usa para remover las

partículas de metal acumulados en los dientes de la sierra originadas por el proceso de corte.

- d. El conjunto piñón – cremallera del acelerador del carro de corte proporciona la posición del carro la cual es localizada al final de la salida de la cortadora.  
El conjunto piñón – cremallera consiste en un carro montado en una cremallera y acoplado a un reductor con un motor de torque variable. El engranaje del piñón es lubricado automáticamente a través de un sistema de lubricación instalado en la parte trasera de la cortadora.
- e. La cortadora está equipada con un sistema retráctil el cual lleva las conexiones eléctricas desde la caja de terminales eléctricas en piso que viajan a través del carro de la cortadora, las mangueras hidráulicas de la unidad principal y las mangueras de refrigeración de la máquina para la sierra de corte y la carcasa del husillo.
- f. La unidad hidráulica está instalada en piso, con la unidad intercambiadora de calor, que es necesaria para la operación del movimiento de la cortadora. La tubería para la interconexión hidráulica y de enfriamiento, utiliza el sistema retráctil para líneas de presión y retorno hacia y desde el manifold del carro para alimentando las mordazas y las válvulas hidráulica.

#### **4.2.4. Procedimientos de ajustes.**

**4.2.4.1. Rueda de medida.** El operador toca la rueda de medición cada vez que el tubo está presente. Para configurar, se proporciona un regulador de presión de aire y control de velocidad para subir y bajar la rueda. Las funciones de subir y bajar son realizadas por el operador a través de un selector de doble posición ubicado en la consola de la cortadora. No requiere de otro ajuste. La rueda de medida debe mantenerse **limpia si**

se desea mantener una longitud precisa. Esto es lo primero que debemos observar la variación de longitud en la tubería. Cualquier acumulación de suciedad en la rueda puede causar variación de medida.

**4.2.4.2 Cortadora.** Para cambios de tubería redonda, los únicos requisitos son colocar en línea el tamaño apropiado de las mordazas y ajustar las guías laterales antes y después de las abrazaderas. Para estructuras cuadradas y rectangulares, los rodillos soportes de entrada y salida deben también ser ajustado. Para redondos y perfiles, el punto en el cual las cuchillas de la cortadora entran al producto y la velocidad de alimentación debe ser ajustada para diferentes medidas. Esos ajustes son realizados desde el display de la consola de operación. Las presiones de las mordazas quizás pueden tener varios ajustes para distintas medidas para que tubos de espesores pequeños no sean aplastados o queden hendiduras. La velocidad en las mordazas también tenga que ser ajustado para un ciclo de tiempo óptimo.

#### **4.2.5. Operación del corte.**

##### **4.2.5.1 Componentes mecánicos principales.**

**4.2.5.1.1 Base de corte.** Esta es la superestructura principal de la cortadora que sostiene el carro de corte.

**4.2.5.1.2 Acelerador.** El piñón cremallera y drive del motor acelerador conforman el sistema acelerador. la cremallera se une al carro para acelerar a la velocidad de la línea como parte de la secuencia corte al vuelo.

**4.2.5.1.3 Carro de corte.** El carro es la sección móvil de corte que contiene todos los mecanismos de corte incluyendo la base deslizante y el conjunto de mordaza. El carro se mueve horizontalmente sobre dos rieles, llamados bancada, sobre la base de corte.

**4.2.5.1.4 Base deslizante.** La base deslizante está montada sobre el carro y contiene el conjunto del husillo, motor del husillo y la sierra de corte. La base deslizante es conducida hacia abajo, enviando la sierra hacia el tubo durante el corte. Un cilindro hidráulico es operado por un servo válvula que acciona la base deslizante.

**4.2.5.1.5 Unidad de potencia hidráulica sierra.** La unidad de potencia hidráulica suministra potencia fluida a los circuitos hidráulicos en la cortadora, incluyendo el cilindro de la base deslizante (alimentación) y los cilindros de las mordazas.

**4.2.5.1.6 Secuencia de corte.** Cuando la cortadora está lista para corte, la base deslizante se retraerá y las mordazas estarán abiertas. El carro acelera a la misma velocidad del tubo, las mordazas se enganchan para mantener el tubo en su lugar, luego la base deslizante se mueve hacia abajo (lo que impulsa la sierra hacia abajo), luego se retrae. Las mordazas se liberan, el carro se detiene, invierte su dirección y retorna a la posición de inicio.

#### **4.2.5.1.7 Sistema de lubricación**

- a. Conjunto husillo – Sistema de alimentación continua de aceite instalado en la carcasa del husillo. Para una mejor descripción ver pag.36, cortadora al vuelo ítem c.
- b.
- c. Piñón cremallera carro acelerador – Este es un sistema pulverizador de aceite que se dirige a los engranes del piñón. El reservorio, la válvula de accionamiento, bloque de mezcla de aceite y aire y su tubería están localizados en la parte de

atrás de la cortadora. La frecuencia de lubricación de aceite al engranaje del piñón y la cantidad de lubricante es ajustable.

- d. Base deslizante (sobre la cual se monta el conjunto husillo) – Este es un sistema de lubricación de grasa manual. Todos los puntos de lubricación se canalizan en un solo bloque adaptador localizado sobre el bastidor ubicado en la parte posterior de la cortadora.
- e. Roldanas desplazamiento del carro - Estos son lubricados con grasa a través de cuatro adaptadores individuales localizados en cada una de las cuatro esquinas del carro de la cortadora, dieciséis puntos de lubricación en total.
- f. Conjunto mordazas – Este es un sistema de lubricación manual. Todos los puntos del sistema de la mordaza son canalizados a través de un solo engrasador ubicado en la parte superior del conjunto de las mordazas. Para acceder a este la guarda de las mordazas deben abrirse.

#### **4.2.5.2 Principales componentes eléctricos.**

**4.2.5.2.1 Gabinete control de la cortadora.** El gabinete de control contiene todos los elementos de control eléctrico para la cortadora, incluyendo la unidad de potencia para el acelerador y el motor del husillo, controlador programable (PLC) y todas las protecciones necesarias para desconectar y energizar los circuitos.

**4.2.5.2.2 Consola de operación.** La consola de operación es un tablero de control tipo escritorio con los botones, switches, indicadores y display necesarios para operar la cortadora. También montado en la consola está el panel HMI (interface máquina humano). A través de este panel, el operador ingresa información del lote y otros parámetros de operación. La información de estado también se muestra al operador, como errores, fallas, posición de máquina, etc.

**4.2.5.2.3 Motor acelerador.** El motor acelerador está diseñado especialmente a baja inercia para aplicaciones de alto torque y velocidad de aceleración alta. Este motor impulsa al carro a través de piñón cremallera. Las capacidades de este motor permiten acelerar el carro desde una posición estática a la máxima velocidad de la línea muy rápidamente.

**4.2.5.2.4 Motor Husillo.** El motor del husillo es un motor estándar AC TEFC (Totally Enclosed, Fan – Cooled). Este motor impulsa la sierra y el husillo a través de poleas y correas.

#### **4.2.5.3 Control de estación de operador cortadora.**

**4.2.5.3.1 Paradas Emergencias.** El botón de parada de emergencia es tipo hogo, rojo e iluminado ubicado en la parte inferior derecha de la consola de operación. Este es botón de pánico que cuando se presiona inmediatamente detiene todos los movimientos de la cortadora y la línea también. Los siguientes eventos ocurren al presionar el botón de parada emergencia:

1. Para el drive del acelerador, deteniendo así el carro. En algunos casos, el carro puede detenerse y posiblemente golpear los límites finales de carrera o los amortiguadores dentro de la base de la cortadora.
2. Si hay un corte en progreso, se detendrá inmediatamente y la sierra se retraerá. (la posición de las mordazas sigue funcionando).
3. La unidad hidráulica permanecerá encendida.
4. El motor del husillo se detiene, permitiendo que la cuchilla se detenga.
5. La formadora de tubos se detiene.

**4.2.5.3.2 Sincronización del carro.** El botón de sincronización del carro inicia un proceso el cual sincroniza la posición de inicio del carro en relación con el sincronismo del interruptor límite. El interruptor de sincronización está ubicado de tal manera que se dispare cuando el carro este a pocas pulgadas del límite físico o posición de sincronismo. Cuando el botón de sincronización del carro es presionado, el carro se mueve lentamente hasta la dirección del límite home sea detectado, entonces el carro se detiene. Después que este proceso es finalizado, el control de la cortadora se restablece, estableciendo esta como la posición del carro o posición cero. El control ahora conoce la ubicación exacta del carro, relativa a cero. El botón de sincronismo del carro parpadea después que la sincronización es completada, indicando que se requiere un corte manual. Realizar un corte manual le indica al control de la cortadora la ubicación final del tubo en relación con la sierra de corte. Después del corte manual, a cortadora ahora se “recorta” y la luz del botón de sincronización del carro será continua (no parpadea). El modo de sincronización del carro se mantiene todo el tiempo al menos que los límites del carro o la energía del tablero de control se apaguen o exista una posición de falla de la cortadora.

**4.2.5.3.3 Acelerador automático.** Presionar el botón auto, es el paso final para que el corte quede listo. Cuando se cumplan todos los demás requisitos de corte, la cortadora se colocará en modo auto, y este botón permanecería iluminado continuamente. La luz de corte listo también se encenderá. En este punto, el operador de la formadora puede iniciar. Si la cortadora permanece en auto, la formadora puede parar y arrancar sin intervención o acción adicional del operador de la cortadora.

**4.2.5.3.4 Acelerador manual.** Cuando la cortadora no está en auto, este botón permanecerá iluminado y la cortadora siempre estaría en manual, independiente de la condición de la cortadora. Si la cortadora está en auto, presionando el botón manual esta se detiene, por lo tanto, es el principal medio para detener la máquina de manera controlada. Cuando la cortadora es detenida presionando manual, la formadora para

también. Este es una forma, que el operador puede parar la formadora o prevenir que esta se active.

**4.2.5.3.5 Corte Listo.** La luz de corte listo está encendida cuando la cortadora está en auto. Esta sirve como una señal del control para la formadora que la cortadora esta lista para arrancar.

**4.2.5.3.6 Modo de corte (configurar, ejecutar).** Este switch selecciona el estado del modo de operación del corte. Para operar el corte en auto, este switch debe estar primero en run. Para jugar la sierra, el switch debe estar en configurar.

**4.2.5.3.7 Carro jog (adelante, atrás).** El carro de la cortadora es jogado adelante o atrás usando este switch. La cortadora debe estar en manual.

**4.2.5.3.8 Bomba hidráulica cortadora (arranque, Parada).** Este es un botón verde, tipo hongo, iluminado. Para arranque de la bomba hale el interruptor y después se suelta. Para parar la bomba, presione el botón. Cuando la bomba está encendida, el botón se ilumina.

**4.2.5.3.9 Motor Husillo (arranque, parada).** Este es un botón verde, iluminado tipo hongo. Para arrancar el motor, hale el interruptor y después suéltelo. Para parar el motor, pulse el botón adentro. Cuando el motor arranca inicialmente, el botón parpadea para indicar que el motor ha arrancado, pero aún está aumentando a su velocidad deseada. Este tiempo varia, usualmente entre 30 y 60 segundos. Cuando el motor está listo y arranca a su máxima velocidad, la iluminación del motor de arranque permanece continua (no parpadea).

**4.2.5.3.10 Configuración de corte manual, Corte Manual.** Pulsador corte manual permite que el operador inicie un ciclo de corte en cualquier momento, a diferencia de un ciclo de corte automático por la cortadora. Hacer un corte manual, presione el pulsador configuración de corte manual. Este es un pulsador iluminado que parpadea después de presionado. (Presione es pulsador dos veces cancela el corte manual y la luz se apagaría. Después presione el pulsador corte manual. Si la formadora está en movimiento el carro de la cortadora aceleraría hasta alcanzar la velocidad del tubo, entonces la cortadora cortara y el carro regresa a casa. Si la formadora no está trabajando o si la cortadora está en manual, la cortadora cortaría mientras el carro permanece quieto. Cuando presiona el botón configuración corte manual, la cortadora se abstendrá de cortar hasta presionar el pulsador corte manual. Aun si la formadora está trabajando. Esto le permite al operario suspender el corte presionando el pulsador de configuración si desea evitar cortar cierta sección del tubo, como el que tiene costura abierta, defecto, etc. La cortadora no cortaría hasta que el operador libera el corte manual. Si se necesita un corte inmediato (sin suspender el corte) simplemente presione corte manual directamente después de presionar la configuración.

**4.2.5.3.11 Parada Línea.** Para conveniencia del operador, un pulsador de parada adicional es instalado en la consola del operador la cual detiene la formadora cuando es presionado. Este pulsador tiene la misma función que el pulsador parada línea ubicado en la consola de operación de la formadora. Cuando la línea es detenida de esta manera, la cortadora permanece en auto (esto es si la cortadora a estad siempre en auto).

**4.2.5.3.12 Alarmas de la formadora.** Algunas consolas de operación dela cortadora están equipadas con un pulsador de alarmas. Si está equipado, el cliente puede conectar una alarma sonora en el control de la formadora, el cual será accionado por este pulsador. Esto permite al operador de la formadora advertir a otros trabajadores antes de arrancar.

#### **4.2.5.4 Otros controles eléctricos**

**4.2.5.4.1 Controles mesa volteo.** La mesa de volteo puede ser operada manualmente presionando el pulsador volteador. El selector de volteo frontal y trasero selecciona la dirección del volteador. Para hacer que la mesa de volcado se incline en la dirección opuesta, presione el botón iluminado. El pulsador parpadea y la mesa se voltearía en la dirección opuesta la próxima vez que el pulsador de volteo sea presionado. Entonces la luz del pulsador se apagará y la mesa reanudará a su normal operación. El operador puede utilizar este pulsador para descartar tubos no deseados.

**4.2.5.4.2 Interruptores finales de carrera.** Si el carro se desliza demasiado hacia delante o hacia atrás durante jogeo o la línea arrancando, esto tocaría uno de los interruptores finales de carrera en la base de la cortadora. Esto causaría una condición de parada de emergencia el cual detendría la cortadora y la formadora. Para corregir esta situación el selector NORMAL/BYPASS debería estar en BYPASS, para que el operador pueda joguear el carro lejos del interruptor límite y restablecer el circuito de parada de emergencia. El selector NORMAL/BYPASS debe ser retornado a NORMAL. (la cortadora no arrancaría en auto cuando está en modo BYPASS).

El selector NORMAL/BYPASS está ubicado dentro al lado izquierdo del tablero control de la cortadora. Solamente un eléctrico calificado debería tener acceso a este selector. Si el selector es activado, aparecerá un mensaje “cortadora en Bypass” en la pantalla del panel de operador.

**4.2.5.4.3 Selector Run / Test.** Existe un selector adicional de dos posiciones ubicado dentro del tablero de control. Este selector es solo para fines de prueba y siempre debe estar en RUN durante la operación normal.

Cuando el selector está en TEST, la cortadora puede ser operada “solamente” sin tubo y sin la línea en movimiento. La rueda de medición es anulada por una señal interna

simulando la velocidad de línea. La simulación de la velocidad de línea es ajustada desde la configuración del carro en la pantalla del operador. La formadora no puede ser operada en línea cuando la cortadora está en TEST. Si este selector es activado, aparecerá un mensaje “Cortadora Test” en la pantalla del panel operador.

Solamente un eléctrico calificado debería tener acceso a este selector. Ya que es solo para fines de prueba, este debería siempre estar en posición RUN durante la operación normal.

#### **4.2.5.5. Especificaciones Técnicas de la cortadora.**

##### **CORTADORA**

Fuente Alimentación:	460/3/60
Dirección Formadora:	Izquierda a Derecha
Tipo Cuchilla Cortadora:	Fricción
Diámetro Cuchilla Cortadora:	48"
Velocidad Corte Cuchilla Cortadora:	28,952 SFM
Translación Carro:	Aprox. 15" - 0"
Máximo O.D Tubo:	8.625"
Mínimo O.D Tubo:	2.875"
Máximo Espesor:	0.375"
Mínimo Espesor:	0.109"
Máximo Tubo Cuadrado:	7" X 7"
Mínimo Tubo Cuadrado:	2-1/2 X 2-1/2
Máximo Tubo Rectangular:	10" X 4"
Mínimo Tubo Rectangular:	3" X 2"
Mínima Longitud de Corte:	10 ft (Reduciendo velocidad de la Formadora)
Limite Elástico (Max):	60,000 PSI
Máxima Velocidad Formadora:	10 FPM
Mínima Velocidad Formadora:	30 FPM

##### **MOTOR AC ACELERADOR CORTADORA**

Potencia (HP):	50	Frame:	L2100Z
Voltaje:	347	Fase:	3
Frecuencia (HZ):	35.07	Carcaza:	DPFV

Velocidad Base (RPM):	1000	Acoplamiento:	CPLD
Código Servicio:	CONT	Factor Servicio:	1.00
Tipo Rodamientos:	Bola	Clase Aislamiento:	H (40C)
Rotación:	Reversa	Termostato:	Si
Montaje Caja:	F2		
Ventilador:	Si		
Tacómetro:	TS-5016-N60-4096PPR	Línea Voltaje (V):	460
Diseño Eléctrico:	L0387A	Fase:	3
Unidad Potencia:	UV23037		

#### **MOTOR AC HUSILLO CORTADORA**

Potencia (HP):	150
Velocidad Base (RPM):	1800
Frame:	#445T
Ventilación:	TEFC-XE
Rotación:	No Reversa
Tipo Rodamientos:	Bola
Montaje Caja:	F2

#### **MOTOR AC BOMBA HIDRAULICA CORTADORA**

Potencia (HP):	50
Velocidad Base (RPM):	1800
Frame:	#326TC-EM
Ventilación:	Refrigerado por aspa
Tipo Rodamientos:	Bola
Montaje Caja:	F1
Fuente Alimentación:	460/3/60

#### **UNIDAD CARRO DE CORTE**

##### **REDUCTOR**

Foot Jones #1002 HLX - Reducción sencilla, Ejes paralelos, reductor de velocidad engranes helicoidal. Con las siguientes especificaciones:

Tamaño:	1002 HLX
Relación:	8.02:1
Calificación Catalogo:	100HP @ 1000 RPM Input
Carga Aplicación:	50HP @ 1000 RPM
Factor Servicio:	3.88

Calificación Térmica: 140HP @ 100°F Ambiente  
 Engranaje Helicoidal: Carcaza Endurecida Rectificada  
 Entrada a Salida Horz. C.D 17.000  
 Alojamiento: Hierro Fundido  
 Rodamientos: Anti - Fricción  
 Lubricación: Salpicaduras de aceite  
 Ensamble: No 4 (L- R)  
 Tamaño Estándar eje Entrada: 2.250/2.249 Diam. X 6" Longitud.  
 Tamaño Chaveta: 1/2" x 1/4" x 5-1/2 Longitud  
 Tamaño Especial eje Salida: 3.500/3.499 Diam X 11-1/4 Longitud  
 Tamaño Chaveta: 7/8" X 7/16" X 7-1/4" Longitud  
**Nota:** Longitud estándar Entrada, Longitud especial Salida  
 ( T= 28", W= 15-1/8")

**PIÑÓN - CREMALLERA**

Piñón: 12" P.D, 4 D.P, 48 Dientes  
 Cremallera: 18' - 9" Longitud Total

**ENGRANAJE**

$$\frac{1000 \times 12'' \times \pi}{8.02 \times 12} = 391.7 \text{ FPM}$$

**TABLA VELOCIDAD DEL CARRO**

<u>Velocidad Carro (FPM)</u>	<u>Motor RPM</u>
30 (Velocidad Jog)	77
100	256
150 (Max Velocidad Formadora)	383
391.7 (Max Vel. Retorno)	1000

**ACOPLAMIENTO - MOTOR REDUCTOR**

Modelo Rápido  
 Tamaño 2-1/2"  
 Acoplamiento Flexible Completo  
 Mitad Eje Diámetro 1 2.625 / 2.624  
 Eje Chaveta 5/8" x 5/16"

Mitad Eje Diámetro 2	2.250 / 2.249
Eje Chaveta	1/2" x 1/4"

**UNIDAD HUSILLO  
CORTADORA**

POLEA MOTOR	TB. Woods Ultra V6 ranura, Polea Tipo A2, Diam. Externo 16" (Balanceo dinámico), cojinete tipo J, 3.375/3.374", agujero en la chaveta 7/8" x 7/16"
-------------	--

POLEA CUCHILLA CORTE	TB. Woods Ultra V6 ranura, Polea Tipo A2, Diam. Externo 12.5" (Balanceo dinámico), cojinete tipo F, 3.249/3.248", agujero en la chaveta 3/4" x 3/8"
----------------------	---

CORREAS	TB. Woods 8V Ultra V dentada, 106" Longitud, juego combinado de 6 <b>Nota:</b> Distancia entre centro de las poleas y correas 30.63 Aprox.
---------	---

CUCHILLA DE CORTE	48" Diámetro x 5/16" Espesor.
-------------------	-------------------------------

RPM HUSILLO	1800 X 1.28 = 2304 RPM
-------------	------------------------

VELOCIDAD CORTE  
CUCHILLA

48" Diámetro Máximo	$\frac{48" \times \pi \times 1800 \times 1.28}{12} = 28,952 \text{ SFPM}$
---------------------	---

43.38" Diámetro Mínimo	$\frac{43.38" \times \pi \times 1800 \times 1.28}{12} = 26,163 \text{ SFPM}$
------------------------	--

**UNIDAD BOMBA HIDRAULICA CORTADORA**

Bomba Hidráulica	Bomba de pistón PARKER PVP100302R26AA (45 G.P.M)
------------------	---

Presión del Sistema	2500 PSI
---------------------	----------

---

## 5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

### 5.1 METODOLOGÍA

Con base a la formulación del problema y a la definición de los objetivos se determinó que el tipo de investigación que se realizara es un estudio analítico – descriptivo, donde se establecerán comparaciones y diferencias que nos proporcionaran bases para obtener conclusiones significativas que impacten en el resultado final del proyecto aplicadas a la maquina cortadora Mckay el cual tomamos como plan de estudio para la mejora.

Este proceso se basará en los siete pasos establecidos en el RCM para definir tareas optimas de mantenimiento necesarias para eliminar los riesgos asociados a la materialización de los modos de falla.

**5.1.1 Paso 1. Selección del sistema y recopilación de información.** El nivel de ensamblaje se puede identificar como parte (por ejemplo, engranajes), componente (por ejemplo, válvulas, bombas), sistema (por ejemplo, suministro de vapor, suministro de aire), planta.

El sistema se selecciona como un punto de partida para los procesos de RCM ya que esta tiene más modos de fallas para comparar los recursos del PM.

Varios factores tal como costos o actividades grandes de PM, costos o actividades de mantenimiento grandes, cuestiones de seguridad y ambiente son considerados para selección del sistema. Documentos tales como programas en el sistema, diagramas de bloque, historiales de quipos, manuales de máquinas, manuales de operación son necesarias para la recopilación de la información.

**Tabla 2. Taxonomía Cortadora al vuelo MCKAY empresa SIGMASTEEL SAS, según ISO-14224:2016 (2)**

INDUSTRIA	CATEGORÍA DEL NEGOCIO	CATEGORÍA INSTALACIÓN	CATEGORÍA DE PLANTA / UNIDAD	SECCIÓN/ SISTEMA	SUB UNIDAD	ITEM MANTENIBLE
Nivel: 1	2	3	4	5	6	7
Acero	Manufactura	Formadora Tubos	Cortadora Al vuelo	Unidad Hidráulica	* Motor Eléctrico * Bomba Hidráulica * Válvulas Manuales * Filtros * Manómetros	* Presión Bomba 2500 PSI * Nivel Aceite 90% * Temperatura Aceite * Rodamientos Motor eléctrico
				Rueda de Medida	* Rodamientos * Rueda * Encoder * Acoples * Cilindro Neumático * Ejes Transmisión	* Lubricación Rodamientos * Limpieza Rueda * Ajuste Acople - Encoder * Sistema Neumático
				Husillo	* Poleas Transmisión * Correas * Motor - Bomba Lubricación * Motor Eléctrico Husillo * Rodamientos Lado disco * Rodamientos Lado Polea * Filtros Aceite * Roldanas Transversales * Lubricación Manual * Sistema Refrigeración * Disco Corte	* Lubricación Sistema * Refrigeración Sistema * Ajuste Poleas Correas * Balanceo Dinámico * Verificación Rodamientos y Roldanas * Inspección Disco Corte

Mordazas	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sistema Lubricación</li> <li>* Sensores</li> <li>* Bloque Mordazas</li> <li>* Soportes Deslizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Lubricación Mordazas</li> <li>* Limpieza Sensores</li> <li>* Ajuste Sistema Deslizante</li> </ul>
Carro	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Roldanas Longitudinales</li> <li>* Sistema rack - piñón</li> <li>* Caja Engranés</li> <li>* Bancada Desplazamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Lubricación Roldanas</li> <li>* Ajustes Bancada desplazamiento</li> </ul>
Servomotor	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Encoder Retroalimentación</li> <li>* Conexiones Eléctrica</li> <li>* Acople engranaje</li> <li>* Ventilador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Limpieza Ventilador</li> <li>* Ajustes Conexiones Eléctricas</li> </ul>
Tablero Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Drives</li> <li>* Arrancadores Suaves</li> <li>* Sistema PLC</li> <li>* Elementos Maniobra</li> <li>* Comunicación Industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Limpieza Tablero</li> <li>* Ajuste Conexiones Eléctricas</li> <li>* Parámetros Operación</li> </ul>
Consola Operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Elementos Maniobra</li> <li>* Panel Hmi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Limpieza Consola</li> <li>* Ajuste Elementos maniobra</li> </ul>
Mesa Salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Motores Eléctricos Transportador</li> <li>* Motores Eléctricos Elevador</li> <li>* Motores Eléctricos Expulsor</li> <li>* Electro Válvulas</li> <li>* Accionamientos Neumáticos</li> <li>* Sistemas Transmisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Presión Aire Sistema Salida</li> <li>* Señales Eléctricas</li> <li>* Lubricación Reductores</li> <li>* Ajuste Conexión Eléctrica</li> <li>* Ajuste Conexión Neumáticas</li> </ul>

**5.1.1.1 Análisis de fallas en la maquina cortadora a través de la base de datos de la compañía.** Fallas obtenidas en la cortadora MCKAY durante los años 2018 a 2019  
Rango de fechas: enero 2018 a diciembre 2019.

Número Total de fallas registradas en sistema: 1215 datos.

De acuerdo a las fallas registradas en el sistema por la cortadora a través de minutos e indicadores, obtenemos los siguientes datos pertenecientes al sistema:

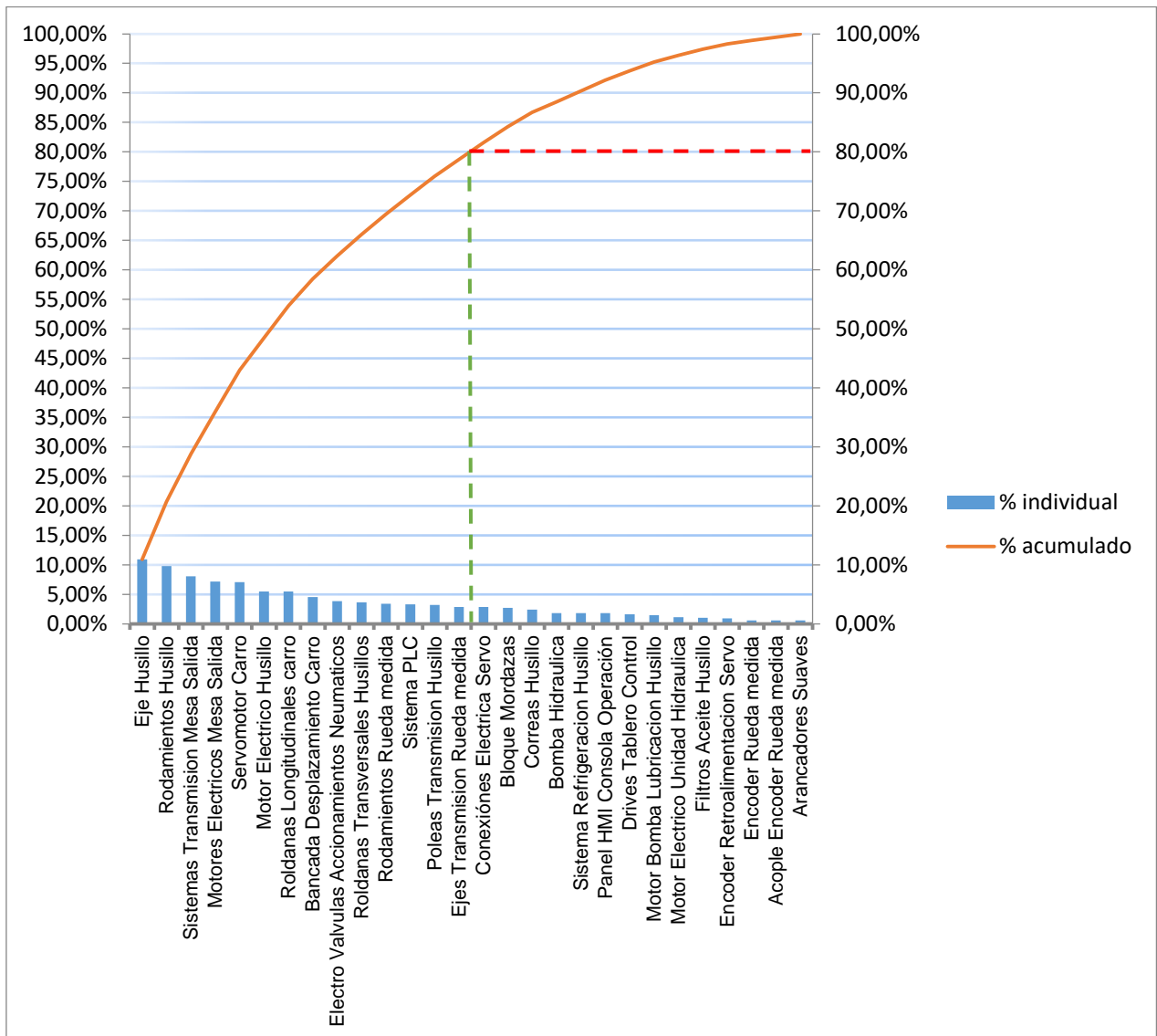
**Tabla 3. Fallas asociadas a la unidad cortadora al vuelo**

Sub-Unidades Nivel 6	N° Fallas Totales (Horas)
Motor Eléctrico Unidad Hidráulica	10
Bomba Hidráulica	16
Rodamientos Rueda medida	30
Encoder Rueda medida	5
Ejes Transmisión Rueda medida	25
Acople Encoder Rueda medida	5
Poleas Transmisión Husillo	28
Eje Husillo	96
Correas Husillo	21
Motor Bomba Lubricación Husillo	13
Motor Eléctrico Husillo	48
Rodamientos Husillo	86
Filtros Aceite Husillo	9
Roldanas Transversales Husillos	32
Sistema Refrigeración Husillo	16
Bloque Mordazas	24
Roldanas Longitudinales carro	48
Bancada Desplazamiento Carro	40
Encoder Retroalimentación Servo	8
Conexiones Eléctrica Servo	25
Servomotor Carro	62
Drives Tablero Control	14
Arrancadores Suaves	5
Sistema PLC	29
Panel HMI Consola Operación	16
Motores Eléctricos Mesa Salida	63
Electro Válvulas Accionamientos Neumáticos	34
Sistemas Transmisión Mesa Salida	71

**5.1.1.2 Priorización del análisis.** Sub unidades con mayor número de fallas asociadas al sistema.

**Tabla 4. Datos Análisis Pareto 80/20**

Equipo	Fallas/ Año (Horas)	% Del Total	%Acumulado
Eje Husillo	96	10,92%	10,92%
Rodamientos Husillo	86	9,78%	20,71%
Sistemas Transmisión Mesa Salida	71	8,08%	28,78%
Motores Eléctricos Mesa Salida	63	7,17%	35,95%
Servomotor Carro	62	7,05%	43,00%
Motor Eléctrico Husillo	48	5,46%	48,46%
Roldanas Longitudinales carro	48	5,46%	53,92%
Bancada Desplazamiento Carro	40	4,55%	58,48%
Electro Válvulas Accionamientos Neumáticos	34	3,87%	62,34%
Roldanas Transversales Husillos	32	3,64%	65,98%
Rodamientos Rueda medida	30	3,41%	69,40%
Sistema PLC	29	3,30%	72,70%
Poleas Transmisión Husillo	28	3,19%	75,88%
Ejes Transmisión Rueda medida	25	2,84%	78,73%
Conexiones Eléctrica Servo	25	2,84%	81,57%
Bloque Mordazas	24	2,73%	84,30%
Correas Husillo	21	2,39%	86,69%
Bomba Hidráulica	16	1,82%	88,51%
Sistema Refrigeración Husillo	16	1,82%	90,33%
Panel HMI Consola Operación	16	1,82%	92,15%
Drives Tablero Control	14	1,59%	93,74%
Motor Bomba Lubricación Husillo	13	1,48%	95,22%
Motor Eléctrico Unidad Hidráulica	10	1,14%	96,36%
Filtros Aceite Husillo	9	1,02%	97,38%
Encoder Retroalimentación Servo	8	0,91%	98,29%
Encoder Rueda medida	5	0,57%	98,86%
Acople Encoder Rueda medida	5	0,57%	99,43%
Arrancadores Suaves	5	0,57%	100,00%
	879	100,00%	



**Figura 2. Análisis de Pareto 80/20**

La figura 2 nos representa un análisis de Pareto 80-20 que nos indica que el 80 % de las fallas que se presentan en la cortadora Mckay durante el periodo comprendido en los años 2018 a 2019 se debe al 20% de los siguientes subniveles:

Eje Husillo.

Rodamientos Husillo.

Sistema Transmisión Mesa salida.  
 Motores eléctricos mesa de salida.  
 Servomotor del carro.  
 Motor eléctrico Husillo.  
 Roldanas longitudinales del carro.  
 Bancada desplazamiento del carro.  
 Electroválvulas Accionamientos Neumáticos.  
 Roldanas transversales husillo.  
 Rodamientos rueda medición.  
 Sistema PLC.  
 Poleas Transmisión Husillo.  
 Eje transmisión rueda medida.

**Tabla 5. Numero fallas Sobre los ítems mantenibles.**

Sub-Unidades - Nivel 6	Ítems Mantenibles - Nivel 7	N° Fallas Totales (Hrs)
Eje Husillo	Lubricación Cojinetes	42
	Sistema Refrigeración	16
	Balaceo Dinámico	18
	Ajuste Rodamientos	11
	Inspección Disco Corte	9
Rodamientos Husillo	Lubricación Cojinetes	34
	Ajuste Rodamientos	52
Sistema Transmisión Mesa salida	Presión Aire Sistema Salida	7
	Señales Eléctricas	20
	Lubricación Reductores	8
	Ajuste Conexión Neumáticas	24
	Sistema Transmisiones	12
Motores eléctricos mesa de salida	Lubricación Rodamientos	34
	Ajuste Conexión Eléctrica	12
	Sistema transmisión	17

<b>Sub-Unidades - Nivel 6</b>	<b>Ítems Mantenibles - Nivel 7</b>	<b>N° Fallas Totales (Hrs)</b>
Servomotor del carro	Conexiones Eléctrica	26
	Encoder Retroalimentación	22
	Acople engranaje	6
	Ventilador	8
Motor eléctrico Husillo	Conexiones Eléctrica	18
	Ajuste Poleas Correas	12
	Verificación Rodamientos	8
	Inspección Disco Corte	10
Roldanas longitudinales del carro	Lubricación Roldanas	26
	Ajustes Bancada desplazamiento	22
Bancada desplazamiento del carro	Ajustes Bancada desplazamiento	28
	Lubricación Bancada	12
Electroválvulas Accionamientos Neumáticos	Ajuste Conexión Neumáticas	19
	Ajuste Conexión Eléctrica	5
	Presión Aire Sistema Salida	10
Roldanas transversales husillo	Lubricación Sistema	18
	Verificación Rodamientos	14
Rodamientos rueda medición	Lubricación Rodamientos	30
Sistema PLC	Limpieza Tablero	12
	Ajuste Conexiones Eléctricas	10
	Parámetros Operación	7
Poleas Transmisión Husillo	Balanceo Dinámico	21
	Ajuste Poleas Correas	7
Eje transmisión rueda medida	Lubricación Rodamientos	6
	Verificación Alineación, balanceo	19

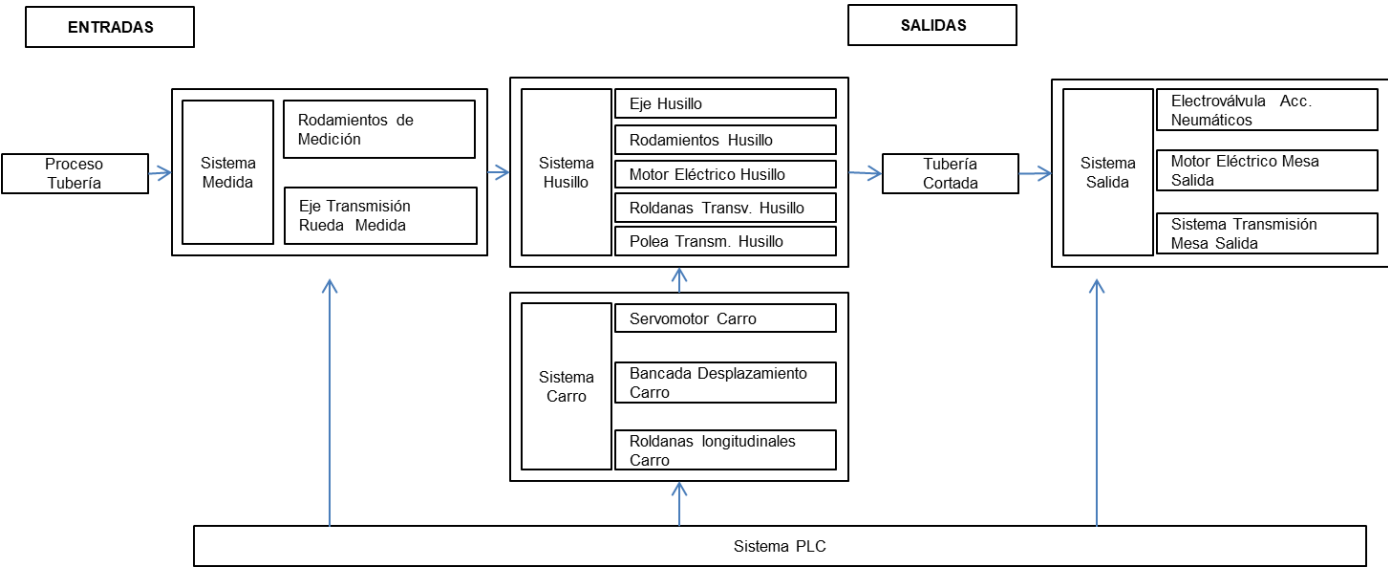
5.1.2 **Paso 2. Definición de límites del sistema.** El equipo principal incluido en el sistema se identifica con los límites físicos primarios. La definición precisa de límites es importante para dos aspectos significativos. Primero, asegurarse de que las funciones potencialmente importantes no se descuiden y, en segundo lugar, el límite será un factor determinante para establecer qué entra en el sistema tales como señales de potencia, calor de flujo, etc. (interfaces IN) y qué deja el sistema (OUT interfaces). Esto ayuda a construir un diagrama de bloques funcional.

De acuerdo a los datos de la tabla n°5, se selecciona para el desarrollo para modelo de las sub-unidades de la cortadora:

- Proceso entrada - Cortadora - Mesa Salida

Límites del sistema:

**Figura 3. Límite del sistema Cortadora. Procesos Entrada y Salidas**



**5.1.3 Paso 3. Descripción del sistema y diagrama de bloques funcional.** Se desarrollan cinco elementos de información. Estos son:

- a) La descripción del sistema que revela su función, características redundantes y características de protección.
- b) Diagrama de bloque funcional indicando el nivel superior de las principales funciones del sistema.
- c) Interfaces internas / externas.
- d) Desglose de la estructura del sistema para describir la lista de equipos para c/u de los subsistemas funcionales en diagramas de bloques.
- e) Historial de falla en los equipos durante los últimos 2 o 3 años.

**5.1.3.1 Descripción del sistema.** Si tenemos que destacar algunos de los beneficios que ofrece la cortadora de tubo, podemos decir que la relación proceso resultado, es uno de los más importante, por lo que no es necesario recurrir a otras máquinas ni métodos para que queden completos.

Su diseño permite un corte automatizado de las planchas de acero, aluminio, acero inoxidable, latón cobre y otros materiales que son necesarios para la fabricación de tubos. Los problemas accionados por algún tipo de material estas cortadoras son capaces de corregirlas como es la ondulación, curvaturas, hundimientos, etc.

El mayor beneficio de estas cortadoras es la precisión en su corte de manera automatizada, no dejando rebaba al final del tubo, ni imperfecciones que puedan afectar al proceso de soldadura. Otra ventaja es la velocidad de corte muy rápida que depende según el tipo de material y la longitud a cortar.

La cortadora consta de una rueda de medida el cual genera la longitud del material a cortar. Este sistema depende de la precisión de corte para la tubería.

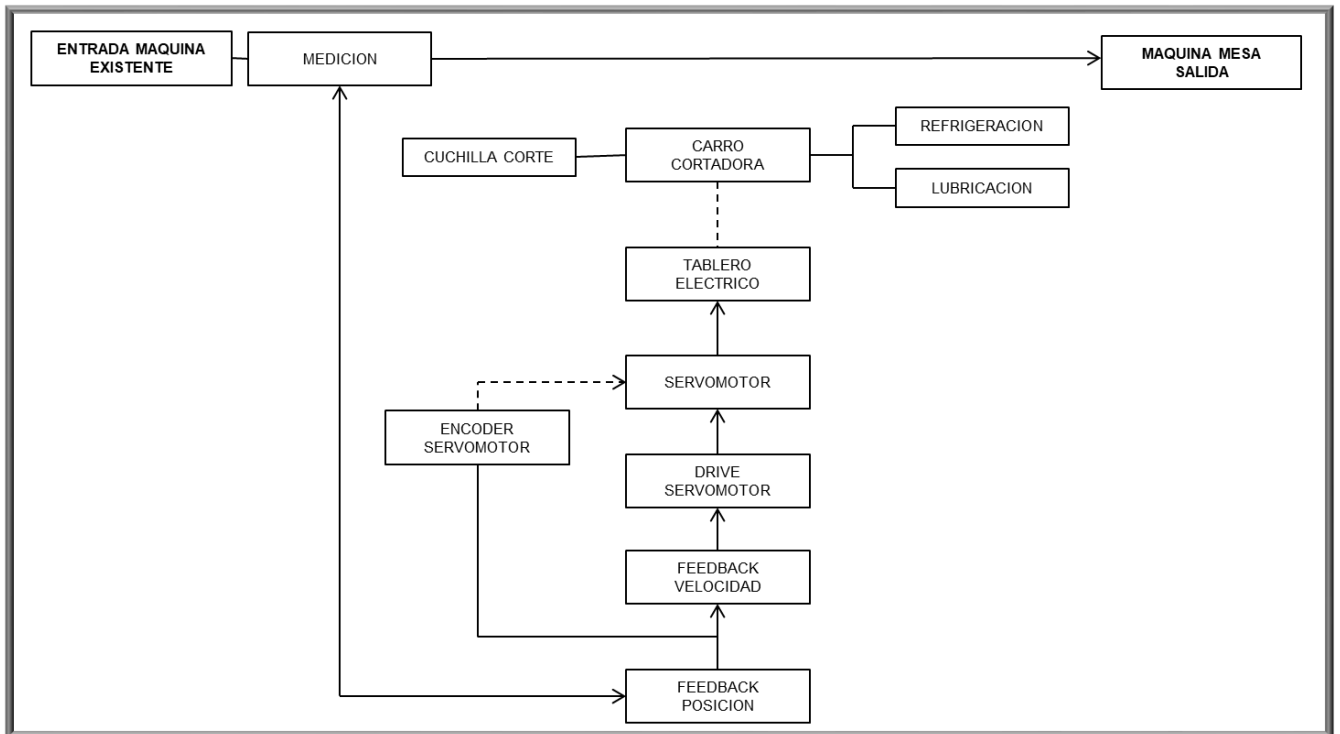
El sistema husillo el cual está montado sobre rieles deslizantes a través de roldanas es accionado por un cilindro hidráulico controlado por un servo válvula para su movimiento generando así el corte del tubo. Además, este sistema tiene un sistema de lubricación ubicado en la parte superior conformada por una bomba y sistema de filtros, el cual garantizan la lubricación del sistema de rodamientos que se alojan internamente en este. En este husillo se instala la cuchilla la cuál consta de un diámetro de 48" exterior y el material es de acero al carbón endurecido.

El movimiento transversal se logra a través de un motor el cual esta acoplado por un sistema piñón – cremallera para garantizar la precisión y robustez durante dicho movimiento.

Dentro de las características técnicas más relevante de la cortadora tenemos:

- ✓ Voltaje alimentación: 460V / 3 Fases / 60 Hz
- ✓ Tipo Corte: Fricción
- ✓ Diámetro de la cuchilla: 48"
- ✓ Velocidad máxima de corte: 100 FPM
- ✓ Velocidad mínima de corte: 30 FPM
- ✓ Sistema de control: Automático por PLC
- ✓ Espesor Mínimo corte: 3mm
- ✓ Espesor Máximo de corte: 7mm
- ✓ Tamaño máximo de tubo a cortar: 8.625"
- ✓ Tamaño mínimo de tubo a cortar: 2.875"

**Figura 4. Diagrama de bloques sistema cortadora al vuelo.**



La estructura de descomposición del trabajo del sistema (SWBS), se enumeran los componentes específicos asociados con cada uno de los sistemas funcionales.

**Tabla 6. Estructura de descomposición SWBS para cortadora Mckay.**

<b>Equipo</b>	<b>Sistema Cortadora Mckay</b>		
<b>Rueda Medida</b>	<b>Corte Husillo</b>	<b>Carro Cortadora</b>	<b>Mesa Salida</b>
Rodamientos	Eje husillo	Servomotor	Sistema Transmisión
Eje Transmisión	Rodamientos	Bancada Desplazamiento	Motores eléctricos
Sistema Lubricación	Motor eléctrico Husillo	Roldanas Longitudinales	Accionamientos Neumáticos
Acoples	Bomba Enfriamiento	Drive	
Encoder	Motor eléctrico Bomba	Acople piñón - Cremallera	
	Sistema Refrigeración		
	Poleas Transmisión		
	Correas		
	Roldanas Transversales		

Historial de fallas de la cortadora durante los 2 últimos años.

Fallas obtenidas en la cortadora MCKAY durante los años 2018 a 2019

Rango de fechas: enero 2018 a diciembre 2019.

Número Total de fallas registradas en sistema: 1215 datos.

De acuerdo a las fallas registradas en el sistema por la cortadora a través de minutas e indicadores, se obtuvieron los siguientes datos mostrados en la tabla n°4 y luego analizados a través del diagrama de Pareto 80/20 donde se estableció los elementos más relevantes que repercuten fallas en el sistema.

**5.1.4 Paso 4. Función del sistema y fallas funcionales.** La información suministrada en los pasos anteriores es lo básico para definir las funciones del sistema. Esto es necesario para satisfacer el primer principio del RCM de preservar las funciones del sistema.

El desarrollo de las interfaces externas constituye la principal fuente de información para las funciones del sistema. El estado de la funcionalidad del sistema se desarrolla por cada función del subsistema al capturar todas las interfaces de salida. Las fallas funcionales están enfocadas a la pérdida de las funciones no en el equipo. Abajo se ilustra el estado de las fallas funcionales del equipo para su correcto funcionamiento.

**Tabla 7. Función del sistema y falla funcional**

Sub- Unidades	Elemento Estudio	Código Falla N°	Función	Falla Funcional N°	Descripción Falla Funcional
Unidad Hidráulica	Motor Eléctrico	1	Transmite la potencia hacia la bomba hidráulica	1	No transmite potencia necesaria para activar la bomba hidráulica
	Bomba Hidráulica	2	Suministrar fluido hidráulico a todos los sistemas de la cortadora	2	No suministra fluido hidráulico al sistema general
	Válvulas Manuales	3	Permitir o bloquear el paso de fluido hidráulico.	3	No permite ni bloquea el paso de fluidos
	Filtros	4	Evitar el paso de partículas contaminantes a través del fluido hidráulico	4	Permitir el paso de partículas contaminantes al fluido eléctrico.
	Manómetros	5	Visualiza la presión necesaria en el sistema hidráulico	5	No permite visualizar la presión del sistema hidráulico
Rueda de Medida	Rodamientos	6	Garantizar libremente el movimiento de la rueda de medida.	6	No garantiza el movimiento libre de la rueda de medida
	Eje Transmisión	7	Mantener alineada el movimiento de la rueda de transmisión	7	N mantiene alineada el movimiento hacia la rueda.
	Sistema Lubricación	8	Evitar la fricción y el desgaste de las piezas metálicas en movimiento	8	No evita la fricción y el desgaste de las piezas metálicas en movimiento
	Acoples	9	Unir el movimiento entre los sistemas del eje y encoder	9	Desacoplar el movimiento entre los sistemas del eje y encoder
	Encoder	10	Contar las vueltas de la rueda y generar pulsos eléctricos al sistema	10	No generar pulsos electrónicos
Husillo	Eje husillo	11	Transmitir la fuerza del motor a través de las poleas y correa a la sierra de corte	11	No transmite fuerza del motor a través de las poleas y correas a la sierra
	Rodamientos	12	Garantizar libremente el movimiento del husillo	12	No garantiza libremente el movimiento del husillo.
	Motor eléctrico Husillo	13	Transmite potencia hacia la sierra de corte	13	No transmite potencia hacia la sierra de corte
	Bomba Enfriamiento	14	Suministrar fluido hidráulico al husillo	14	No suministrar fluido hidráulico al husillo
	Motor eléctrico Bomba	15	Transmite la potencia hacia la bomba hidráulica de enfriamiento del husillo	15	No transmite la potencia hacia la bomba hidráulica de enfriamiento del husillo
	Sistema Refrigeración	16	Mantener la temperatura adecuada en la cuchilla de la cortadora. 40°C	16	No mantiene la temperatura adecuada en la cuchilla de la cortadora a 40°C
	Poleas Transmisión	17	Transmitir fuerzas y velocidades angulares a dos ejes paralelos a distancia	17	No transmite fuerzas y velocidades angulares a dos ejes paralelos

Sub- Unidades	Elemento Estudio	Código Falla N°	Función	Falla Funcional N°	Descripción Falla Funcional
	Correas	18	Transmitir la fuerza por el efecto de rozamiento entre las poleas	18	No transmite la fuerza por el efecto de rozamiento entre las poleas
	Roldanas Transversales	19	Garantizar el libre movimiento transversal del husillo a través de rieles.	19	No garantiza el libre movimiento transversal del husillo a través de rieles.
Carro Cortadora	Servomotor	20	Transmitir movimiento del carro de la cortadora mediante sistema transmisión	20	No Transmite movimiento del carro de la cortadora mediante sistema transmisión.
	Bancada Desplazamiento	21	Garantiza libre movimiento del carro a través de la roldana	21	No garantiza el libre movimiento del carro a través de la roldana
	Roldanas Longitudinales	22	Garantiza libre movimiento del carro a través de la bancada	22	No garantiza libre movimiento del carro a través de la bancada
	Drive	23	Controla el movimiento del motor del carro de la cortadora	23	No controla el movimiento del motor del carro de la cortadora
	Acople piñón - Cremallera	24	Transforma el movimiento giratorio de un eje a un movimiento lineal	24	No transforma el movimiento giratorio de un eje a un movimiento lineal
Mesa Salida	Sistema Transmisión	25	Transmite movimiento entre dos ejes	25	No transmite movimiento entre dos ejes
	Motores eléctricos	26	Transmite potencia hacia los sistemas mecánicos de la mesa salida. Cadenas	26	No transmite potencia hacia los sistemas mecánicos de la mesa salida. Cadenas
	Accionamientos Neumáticos	27	Realizan movimiento de expulsores, a través del flujo de aire	27	No realizan movimiento de expulsores, a través del flujo de aire

### **5.1.5 Paso 5. Modos de fallas y análisis de efecto.**

*5.1.5.1 Matriz de equipos en fallas funcionales.* Básicamente en este paso es identificar al equipo, que puede desempeñar un papel en la creación de las fallas funcionales.

La matriz de equipos de fallas funcionales está diseñada para identificar esos componentes que juegan un papel importante en las fallas funcionales. Esta tarea requiere mucho conocimiento del diseño del sistema y las características de operación.

*5.1.5.2 Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).* Específicamente los modos de falla (como debe fallar el componente para producir una falla funcional) y la causa raíz (razón básica) para cada modo de falla se definen inicialmente.

Finalmente, la consecuencia de los modos de falla se considera en tres niveles, nivel del equipo, nivel del sistema y nivel de planta. Las dos razones principales que llevan al análisis de efectos de falla son:

- A. Asegurarse que el modo de falla en cuestión tiene relación potencial con la falla funcional que se esté estudiando.
- B. Introducir una detección inicial de modos de fallas que no son perjudiciales.

**5.1.5.3 Normas para implementar el análisis de modos de falla, efectos y criticidad-FMECA [5].** Descripción del contenido de cuatro (4) normas internacionales relacionadas con FMECA (FAILURE MODES EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS):

MIL-STD-1629A. Military standard. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. (Defense, 1980) Esta norma data del año 1980 y fue creada para aplicaciones netamente militares.

Dentro de su contenido se referencian a otras normas militares de difícil consecución y consulta.

NTP 679. Notas técnicas de prevención, análisis modal de fallos y efectos. AMFE. Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente.

SAE J-1739. Potential failure mode and effects analysis FMEA.

Norma aplicable en el sector automotriz principalmente en la etapa de diseño de equipos.

IEC 60812:21)06. Analysis Techniques for System Reliability. Part 2 Procedure for failure mode and effects analysis.

Esta norma fue creada para ser aplicada en el sector de las tecnologías eléctrica y electrónica. Sin embargo, la misma norma establece en el numeral 7. Aplicaciones, que es un método inicialmente adaptado al estudio de fallas en materiales y equipos y que puede ser aplicado a categorías de sistemas basado en diferentes tecnologías (eléctrica, mecánica, hidráulica, etc) y combinaciones de tecnologías, o esta puede ser específica para piezas particulares de equipos, para sistemas o para proyectos. También establece que cada usuario determina cómo y con qué propósito FMEA/FMECA es usado dentro de su propia disciplina técnica. Esta puede ser usada sola o para complementar y soportar otros métodos de análisis de criticidad. Por último en el numeral 7.2 establece beneficios de aplicar dicha norma, entre los cuales se destacan:

- Para identificar fallas, que ocurriendo solas o en combinación, tienen un efecto inaceptable o significativo y para determinar los modos de falla los cuales pueden seriamente afectar la operación esperada o requerida.

- Para asegurar que el programa de pruebas desarrollado puede detectar modos de falla potenciales.
- Para asistir en la definición de varios aspectos de la estrategia de mantenimiento preventivo y programación.

**5.1.5.4 Criterios para la elaboración de la matriz de criticidad [4].** La Matriz de Criticidad para el Análisis de Modos de Efectos y Criticidad FMECA se elabora considerando indicaciones dadas en la Norma IEC 60812 "Criticality Matriz".

Las técnicas para el análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda para la jerarquización del proceso, sistema y equipos en procesos de producción complejos, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditables.

Dentro de los criterios más comunes a utilizar en los procesos de jerarquización tenemos: Flexibilidad operacional, continuidad operacional, capacidad producción, calidad del producto, seguridad, costos de parada por mantenimiento, frecuencia de fallas, condiciones de operación, disponibilidad de recursos para mantenimiento, disponibilidad de repuestos, ambiente e higiene, etc.

Definimos en el eje X la *SEVERIDAD* y en el eje Y la probabilidad de *OCURRENCIA*.

Las *COSECUENCIAS* se definieron las siguientes categorías:

Impacto en la producción.

Costos de Reparación.

Pérdida por fallas / Operación.

Estas categorías se consideraron las más relevantes para determinar una consecuencia de un modo de falla en particular, dejando la posibilidad de anexar o eliminar una o más categorías si se requiere.

La *SEVERIDAD* aumenta en orden ascendente de 1 a 5 en donde el n° 5 representa la más alta. Ejemplo para las pérdidas por falla / operación la interrupción por más de tres días tiene un valor de 5.

El valor numérico de la *SEVERIDAD* será definido por la categoría de consecuencia de mayor valor, no se tiene en cuenta el promedio entre categorías.

#### **5.1.5.5 Definición del valor numérico de la severidad por categorías:**

**A. Impacto por producción:** Representa la producción aproximada (porcentualmente) que se dejaría de obtener por causa de las fallas ocasionadas en el sistema. (Norma NTC 5254)

Consecuencias de la Categoría:

1. Menor al 2% de la Ingresos (\$) por producción obtenida.
2. Entre 2% - 4% de la Ingresos (\$) por producción obtenida.
3. Entre 4% - 6% de la Ingresos (\$) por producción obtenida
4. Entre 6% - 8% de la Ingresos (\$) por producción obtenida
5. Mayores al 8% de la Ingresos (\$) por producción obtenida

**B. Costo de Reparación:** Se considera que una afectación mayor al 80% del histórico del presupuesto de repuestos anual (\$960.000.000) impactando significativamente los recursos destinado para Mantenimiento, por lo tanto, se le asigna a este valor la mayor severidad, por tanto, los valores para los diferentes niveles de severidad se distribuyen en rango de acuerdo a este % Consecuencias de la Categoría

1. Menor al 50 % Presupuesto Anual de Repuestos (\$480.000.000).
2. Mayor al 50 % y menor del 60% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$480.000.000 < x <\$576.000.000).
3. Mayor al 60% y menor del 70% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$560.000.000 < x <\$672.000.000).
4. Mayor al 70% y menor del 80% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$672.000.000 <x<\$768.000.000)
5. Mayor al 80% del Presupuesto Anual de Repuestos (x > \$768.000.000).

**C. Pérdida por fallas/Operación.** Para la máxima valoración de esta categoría se tiene en cuenta a partir de qué valor en días de disponibilidad por una falla, se afecta la meta de indicadores anual del objetivo de calidad, esto se afecta a partir del día de indisponibilidad por falla, a partir de este valor se distribuye el rango en 5 valores.

1. No hay interrupción durante su operación.
2. Interrupción de la operación < 8 hora
3. Interrupción de la operación entre 8 a 24 horas.
4. Interrupción de la operación entre 1 y 3 días
5. Interrupción de la operación > 3 días.

Se pueden crear nuevas categorías para anexar a la matriz de tal manera que se cubran aspectos no considerados y que requieran de atención.

**5.1.5.6 Definición del valor numérico de la frecuencia.** Para la frecuencia o probabilidad de ocurrencia se parte de los históricos de la cortadora, en el cual hay fallas que al menos se han presentado una vez por mes. De acuerdo a esto, se distribuye para un total de 5 valores numéricos.

1. Sucede al menos 1 vez x mes
2. Sucede entre 1 mes y 2 meses

3. Sucede entre 2 y 6 meses
4. Sucede entre 6 a 12 meses
5. Sucede con una frecuencia mayor a 1 años

**5.1.5.7 Definición del valor numérico de la probabilidad de detección del modo de falla.** Se consideran 5 valores de ranking para guardar la proporcionalidad con la estructura de la matriz, tomados de la tabla 6. De la Norma IEC 60812

1. Muy alta probabilidad de que los controles actuales detectarán un mecanismo / causa potencial y su modo de falla consecuente.
2. Alta probabilidad de que los controles actuales detectarán un mecanismo / causa potencial y su modo de falla consecuente.
3. Moderada probabilidad de que los controles actuales detectarán un mecanismo / causa potencial y su modo de falla consecuente.
4. Baja probabilidad de que los controles actuales detectarán un mecanismo / causa potencial y su modo de falla consecuente.
5. Remota probabilidad de que los controles actuales detectarán un mecanismo / causa potencial y su modo de falla consecuente.

**5.1.5.8 Definición de códigos de colores para las prioridades.** Se consideran 6 posibilidades a las cuales se les asigna un color rojo lo referente mayores a 15 prioridad Alta, entre 8 y 11 Amarilla o naranja para prioridad Media y menores que 8 verde para prioridad Baja, de tal manera que se guarde las proporciones de la Matriz

**Figura 5. Matriz de los equipos fallas funcionales**

CONSECUENCIA					
<b>A. Impacto Produccion</b>	Menor al 2% de la Ingresos (\$) por producción obtenida	Entre 2% - 4% de la Ingresos (\$) por producción obtenida	Entre 4% - 6% de la Ingresos (\$) por producción obtenida	Entre 6% - 8% de la Ingresos (\$) por producción obtenida	Mayores al 8% de la Ingresos (\$) por producción obtenida
<b>B. Costos de Reparacion</b>	Menor al 50 % Presupuesto Anual de Repuestos (\$480.000.000).	Mayor al 50 % y menor del 60% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$480.000.000 < x < \$576.000.000)	Mayor al 60% y menor del 70% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$560.000.000 < x < \$672.000.000)	Mayor al 70% y menor del 80% del Presupuesto Anual de Repuestos (\$672.000.000 < x < \$768.000.000)	Mayor al 80% del Presupuesto Anual de Repuestos (x > \$768.000.000)
<b>C. Perdidas por fallas / operación</b>	No hay interrupción durante su operación.	Interrupción de la operación < 8 hora	Interrupción de la operación entre 8 a 24 horas	Interrupción de la operación entre 1y 3 días	Interrupción de la operación > 3 días
Rango Severidad (S)	1	2	3	4	5

Frecuencia	Severidad nivel Modo de Fallas		Ninguno	Menor	Moderado	Alta	Catastrofica
	Sucede al menos 1 vez x mes	5	Frecuente	5	10	15	20
Sucede entre 1 mes y 2 meses	4	probable	4	8	12	16	20
Sucede entre 2 y 6 meses	3	Ocasional	3	6	9	12	15
Sucede entre 6 a 12 meses	2	Remoto	2	4	6	8	10
Sucede con una frecuencia mayor a 1 años	1	Improbable	1	2	3	4	5

Efecto / Prioridades	Rango Nimerico
Alta	15 - 25
Media	5 - 12
Baja	1 - 4

$$\text{Numero Prioridad Riesgo RPN} = \text{SxOx D}$$

**5.1.5.9 Análisis de modos de fallos, efectos y criticidad (FMECA) [7].** En este caso, los modos de falla del componente específico (cómo debe fallar el componente para producir una falla funcional) y la causa raíz (razón básica) para cada modo de falla se definen, inicialmente. Finalmente, la consecuencia del modo de falla se realiza en tres niveles de consideración, localmente a nivel de componente, a nivel de sistema y nivel de planta. Las dos razones principales para realizar el análisis de efectos son (1) asegurar que el modo de falla en cuestión realmente tenga una relación potencial con el fallo funcional que se estudia, (2) introducir un examen inicial de modos de falla que no sean perjudiciales.

**Tabla 8. FMEA Para los componentes de la cortadora Mckay**

Sub- Unidades	Elemento Estudio	Función	Falla Funcional	Modo Falla	Efecto Falla	Consecuencias (SA, SE, OP, OC)**
Unidad Hidráulica	Motor Eléctrico	Transmite la potencia hacia la bomba hidráulica	No transmite potencia necearía para activar la bomba hidráulica	Puntos Calientes en las conexiones del motor. Rodamientos no lubricados.	Perdida en sistema de lubricación	OP
	Bomba Hidráulica	Suministrar fluido hidráulico a todos los sistemas de la cortadora	No suministra fluido hidráulico al sistema general	Contaminación del aceite. Ruptura sistema interno de engranes	Falla de presión hidráulica al sistema.	OP
	Válvulas Manuales	Permitir o bloquear el paso de fluido hidráulico.	No permite ni bloquea el paso de fluidos	Daño en el accionamiento de palanca.	No permite el paso o corte del aceite hidráulico	OP
	Filtros	Evitar el paso de partículas contaminantes a través del fluido hidráulico	Permitir el paso de partículas contaminantes al fluido eléctrico.	Taponamiento. Suciedad por partículas extrañas en el ambiente.	Permite que el aceite hidráulico se contamine y daña los elementos hidráulicos (cilindros, bombas, válvulas)	OP
Rueda de Medida	Manómetros	Visualiza la presión necesaria en el sistema hidráulico	No permite visualizar la presión del sistema hidráulico	Daño sistema indicador. Rotula, Dial.	Desconocimiento de los parámetros de funcionamiento del sistema hidráulico. Presión	OP
	Rodamientos	Garantizar libremente el movimiento de la rueda de medida.	No garantiza el movimiento libre de la rueda de medida	Falta de lubricación. Contaminación.	No se mueve la rueda de medición.	OP
	Eje Transmisión	Mantener alineada el movimiento de la rueda de transmisión	No mantiene alineada el movimiento hacia la rueda.	Excesiva presión de aire en la volante.	Variación en la medida.	OP

	Sistema Lubricación	Evitar la fricción y el desgaste de las piezas metálicas en movimiento	No evita la fricción y el desgaste de las piezas metálicas en movimiento	Contaminación de grasa a causa de la polución del ambiente	Daño en los rodamientos y sistema de elevación.	OP
	Acoples	Unir el movimiento entre los sistemas del eje y encoder	Desacoplar el movimiento entre los sistemas del eje y encoder	Ruptura acople por desalineamiento ejes.	Variación en la medida. No genera corte del tubo.	OP
	Encoder	Contar las vueltas de la rueda y generar pulsos eléctricos al sistema	No generar pulsos electrónicos	Rodamientos internos mal estado. Desalineamiento ejes.	Variación en la medida. No genera corte del tubo.	OP
Husillo	Eje husillo	Transmitir la fuerza del motor a través de las poleas y correa a la sierra de corte	No transmite fuerza del motor a través de las poleas y correas a la sierra	Desalineamiento poleas, desbalanceo cuchilla, rodamientos averiados, falta de lubricación.	Partidura de la sierra de corte.	OP, SE
	Rodamientos	Garantizar libremente el movimiento del husillo	No garantiza libremente el movimiento del husillo.	Falta de lubricación. Daño sistema de enfriamiento.	Frena disco de corte.	OP, SE
	Motor eléctrico Husillo	Transmite potencia hacia la sierra de corte	No transmite potencia hacia la sierra de corte	Puntos Calientes en las conexiones del motor. Rodamientos no lubricados.	No hay movimiento en la sierra de corte.	OP
	Bomba Enfriamiento	Suministrar fluido hidráulico al husillo	No suministrar fluido hidráulico al husillo	Contaminación del aceite. Ruptura sistema interno de engranes	No hay refrigeración sistema husillo. Recalentamiento rodamientos, aceite.	OP
	Motor eléctrico Bomba	Transmite la potencia hacia la bomba hidráulica de enfriamiento del husillo	No transmite la potencia hacia la bomba hidráulica de enfriamiento del husillo	Puntos Calientes en las conexiones del motor. Contaminación en las conexiones. Rodamientos no lubricados.	Perdida de lubricación al husillo.	OP

	Sistema Refrigeración	Mantener la temperatura adecuada en la cuchilla de la cortadora. 40°C	No mantiene la temperatura adecuada en la cuchilla de la cortadora a 40°C	Obstrucción de las boquillas. Insuficiente nivel de soluble en tanque.	No refrigera la cuchilla y produce recalentamiento.	OP
	Poleas Transmisión	Transmitir fuerzas y velocidades angulares a dos ejes paralelos a distancia	No transmite fuerzas y velocidades angulares a dos ejes paralelos	Desalineamiento en el eje. Problemas tensión en las correas	Desbalanceo sistema husillo y cuchilla.	OP, SE
	Correas	Transmitir la fuerza por el efecto de rozamiento entre las poleas	No transmite la fuerza por el efecto de rozamiento entre las poleas	Horas de funcionamiento. Nivelación entre motor y Husillo.	No hay transmisión al husillo.	OP, SE
	Roldanas Transversales	Garantizar el libre movimiento transversal del husillo a través de rieles.	No garantiza el libre movimiento transversal del husillo a través de rieles.	Falta lubricación. Obstrucción de los puntos de lubricación por contaminación.	No permite el movimiento transversal del husillo.	OP
Carro Cortadora	Servomotor	Transmitir movimiento del carro de la cortadora mediante sistema transmisión	No Transmite movimiento del carro de la cortadora mediante sistema transmisión.	Conexiones eléctricas. Falta mantenimiento. Ruptura en cableado eléctrico.	No hay movimiento longitudinal del carro.	OP
	Bancada Desplazamiento	Garantiza libre movimiento del carro a través de la roldana	No garantiza el libre movimiento del carro a través de la roldana	Falta de lubricación. Avería en las ruedas del carro.	No permite el desplazamiento de las ruedas del carro.	OP
	Roldanas Longitudinales	Garantiza libre movimiento del carro a través de la bancada	No garantiza libre movimiento del carro a través de la bancada	Falta de lubricación.	No permite el desplazamiento longitudinal del carro.	OP
	Drive	Controla el movimiento del motor del carro de la cortadora	No controla el movimiento del motor del carro de la cortadora	Contaminación externa. Daño cableado y conexión eléctrica.	No realiza el movimiento longitudinal del carro.	OP
	Acople piñón - Cremallera	Transforma el movimiento giratorio de un eje a un movimiento lineal	No transforma el movimiento giratorio de un eje a un movimiento lineal	Falta de lubricación. Desgaste piñón y cremallera.	No realiza el movimiento longitudinal del carro. Falla Acople motor.	OP

Mesa Salida	Sistema Transmisión	Transmite movimiento entre dos ejes	No transmite movimiento entre dos ejes	Falta de lubricación, limpieza.	No accionara movimientos en la banda transportadora	OP
	Motores eléctricos	Transmite potencia hacia los sistemas mecánicos de la mesa salida. Cadenas	No transmite potencia hacia los sistemas mecánicos de la mesa salida. Cadenas	Puntos Calientes en las conexiones del motor. Rodamientos no lubricados.	No hay movimiento banda transportadora	OP
	Accionamientos Neumáticos	Realizan movimiento de expulsores, a través del flujo de aire	No realizan movimiento de expulsores, a través del flujo de aire	Falta de presión de aire. Falta mantenimiento unidades FRL	No hay movimiento expulsión del tubo	OP, SE

\*\* SA: Salud  
SE: Seguridad  
OP: Operativo  
OC: Oculta

**5.1.5.10 Valoración de los modos de falla. Historial desde 2018 a 2019.** Tomando los datos en libros e indicadores de gestión de la maquina cortadora e cuanto a sus fallas se determinan la valoración de la criticidad mediante la matriz utilizando un método semi-cuantitativo. Ver matriz de criticidad.

**Tabla 9. Valoración de los modos de Falla**

Sub-Unidades	Elemento Estudio	Frecuencia Falla (FF)	Impacto Operacional (IO)	Costo Mtto (CM)	Fallas Operación (FO)	Nivel Criticidad
Unidad Hidráulica	Motor Eléctrico	1	3	4	4	11
	Bomba Hidráulica	1	3	4	3	10
	Válvulas Manuales	1	1	1	2	4
	Filtros	2	1	1	1	6
	Manómetros	1	1	1	1	3
Rueda de	Rodamientos	3	1	1	2	12

Medida	Eje Transmisión	3	1	1	2	12
	Sistema Lubricación	2	1	1	2	8
	Acoples	3	1	1	2	12
	Encoder	3	1	1	2	12
Husillo	Eje husillo	2	4	5	5	28
	Rodamientos	2	5	5	5	30
	Motor eléctrico Husillo	1	5	5	5	15
	Bomba Enfriamiento	1	3	5	3	11
	Motor eléctrico Bomba	1	2	1	2	5
	Sistema Refrigeración	1	1	1	2	4
	Correas	1	2	1	3	6
	Poleas Transmisión	2	2	2	3	14
Carro Cortadora	Roldanas Transversales	3	2	2	3	21
	Servomotor	1	3	4	5	12
	Bancada Desplazamiento	3	3	2	4	27
	Roldanas Longitudinales	3	2	2	3	21
	Drive	1	3	4	5	12
	Acople piñón - Cremallera	1	3	4	5	12
Mesa Salida	Sistema Transmisión	4	1	1	3	20
	Motores eléctricos	3	1	1	3	15
	Accionamientos Neumáticos	5	1	1	2	20

Las expresiones utilizadas para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CTR son:

$$CTR = FF \times C$$

Dónde:

CTR: Criticidad Total Por Riesgo

FF: Frecuencia de Fallos (Fallos/Año)

C: consecuencias de los eventos de fallos

Donde se supone que el valor de las consecuencias (C), se obtiene de la expresión:

$$C = IO + CM + FO$$

Siendo:

IO: Factor Impacto Producción

CM: Factor Costos de Mantenimiento

FO: Factor Flexibilidad Operacional

La expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$CTR = FF \times (IO + CM + FO)$$

**Tabla 10. Matriz ordenada por nivel criticidad**

Elemento Estudio	Valor	Nivel Criticidad
Eje husillo	28	
Rodamientos	30	
Motor electrico Husillo	15	
Roldanas Transversales	21	
Bancada Desplazamiento	27	
Roldanas Longitudinales	21	
Sistema Transmision	20	
Motores electricos	15	
Accionamientos Neumaticos	20	

Elemento Estudio	Valor	Nivel Criticidad
Motor Electrico	11	
Bomba Hidraulica	10	
Filtros	6	
Rodamientos	12	
Eje Transmision	12	
Sistema Lubricacion	8	
Acoples	12	
Encoder	12	
Bomba Enfriamiento	11	
Motor electrico Bomba	5	
Correas	6	
Poleas Transmision	14	
Servomotor	12	
Drive	12	
Acople piñon - Cremallera	12	

Elemento Estudio	Valor	Nivel Criticidad
Valvulas Manuales	4	
Manómetros	3	
Sistema Refrigeracion	4	

**5.1.6 Paso 6. Selección de tareas [6].** La selección de las tareas el PM en el proceso del RCM requiere que cada una de estas tareas cumpla con una prueba aplicable y efectiva como se define a continuación:

*Aplicable:* Las tareas evitaban o mitigaban fallas, detectaban la aparición de fallas o descubrirán una falla oculta.

*Efectiva:* La mejor opción en la tarea es la rentabilidad.

Si no existen tareas aplicables, entonces la opción es ir a falla (RTF). Del mismo modo, si el costo de un área preventiva (PM) aplicable excede el costo acumulado con la falla, entonces la opción de la tarea efectiva también debe irse a falla (RTF).

La excepción de esta regla puede ser que el modo de falla que esté relacionado con la seguridad, la modificación del diseño es obligatoria.

### **Tareas Críticidad Alta (15 – 25).**

Las tareas críticas son las que están con factor de riesgo o prioridad alta en la planta por lo que se le realizaran actividades de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

- Mantenimiento por Condición o Monitoreo (operativo)
- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Preventivo, pruebas o test funcional
- Mantenimiento Preventivo, tareas no intrusivas, basada en el tiempo.
- Mantenimiento Preventivo, tarea intrusiva basada en el tiempo buscando el tiempo óptimo de mantenimiento
- Mantenimiento programado, sustitución cíclica.
- Rediseño.

### **Tareas Críticidad Media (5 – 12).**

Las tareas que están con factor de riesgo, efecto o prioridad media son las que la empresa decide hacer mantenimiento menor para prevenir las fallas.

- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento por frecuencia definida basada en recomendaciones del fabricante de los equipos.

### **Tareas Criticidad Baja (1 – 4).**

Las tareas que están con factor de riesgo, efecto o prioridad baja, son las que la planta decide hacer Run to Failure (llevar a falla).

los equipos de baja criticidad permiten un RTF, si las consecuencias de una falla son despreciables y aplica una de estas categorías:

- Con una tarea simple es posible mantener la confiabilidad intrínseca del equipo.
- El equipo en un RTF puede llevar la falla a otros equipos externos en efecto cascada.
- El equipo proporciona un papel de apoyo al mantenimiento o a un proceso secundario.
- El RTF aumenta la probabilidad de una consecuencia en seguridad y medio ambiente.

Si aplica alguna de las categorías anteriores, entonces se realiza un mantenimiento sencillo, si no aplica ninguna categoría, entonces llevarlo a falla.

**5.1.7. Paso 7. Determinación de tareas y frecuencia de mantenimiento.** La determinación de la frecuencia de las actividades de mantenimiento constituye una problemática para la planificación de mantenimiento de los activos. Cuando se crea un plan, se requiere determinación de tareas claves y su correspondiente frecuencia de ejecución. Estas tareas pueden ser preventivas (restauraciones o sustituciones cíclicas), Predictivas, según condición o mejoradas. Dentro de los criterios para asignar la frecuencia a las actividades de mantenimiento tenemos: Criterio contractual

(documentos obligatorios general), criterio del fabricante, criterio basado en la experiencia, criterio por evaluación de la condición criterio de la información no contextualizado (información externa).

Para nuestro caso optaremos determinar la frecuencia de mantenimiento por el criterio analítico basado en el historial de fallas e intervenciones a la máquina, combinando técnicas de análisis de fallas.

### **Tareas de mantenimiento**

*Unidad:* Husillo Cortadora

*Frecuencia:* Mensual.

*Equipo:* Eje Husillo

*Instructivo actividades:*

1. Limpieza general
2. Verificación Balanceo atravésó del comparador de caratula.
3. Verificación y ajustes tuerca fijación Cuchilla.
4. Inspección nivel de aceite.
5. Revisión sistema de refrigeración husillo.
6. Inspección Rosca tuerca de fijación.
7. Verificación alineación base motor y base husillo.
8. Verificación rodamientos del husillo tapas laterales.

*Unidad:* Husillo Cortadora

*Frecuencia:* Mensual.

*Equipo:* Rodamientos Tapas laterales.

*Instructivo actividades:*

1. Inspección y verificación sonido de rodamientos.
2. Verificar las horas de funcionamiento por ficha técnica.
3. Verificación y ajuste de tapas laterales.
4. Verificación e Inspección nivel de aceite.
5. Toma de muestras aceite para su análisis.

*Unidad:* Carro Cortadora

*Frecuencia:* Bimensual.

*Equipo:* Bancada movimiento longitudinal

*Instructivo actividades:*

1. Inspección y verificación alineación de la bancada.
2. Ajuste y verificación tornillería.
3. Verificar lubricación de engrase.

*Unidad:* Husillo Cortadora

*Frecuencia:* Mensual.

*Equipo:* Roldanas longitudinales y transversales.

1. Inspección y verificación sonido de rodamientos.
2. Verificar las horas de funcionamiento por ficha técnica.
3. Inspeccionar sistema de engrase.

.

*Unidad:* Mesa Salida

*Frecuencia:* Mensual.

*Equipo:* Accionamientos Neumáticos.

1. Inspección y verificación unidades FRL.
2. Ajuste accionamientos móviles de los cilindros.

3. Verificación e inspección de cilindros neumáticos.
4. Inspeccionar presiones nominales al sistema.
5. Verificar alarmas en los sistemas HMI e informar al personal de mantenimiento.

## 6. CONCLUSIONES

El concepto de RCM ha sido aplicado en la maquina cortador al vuelo de la maquina formadora MCKY. Varias categorías de tareas como preventivas, correctivas, RTF, predictivas y RCB, para los diferentes modos de falla. Dado que en la mayoría de la relación casos la relación de confiabilidad es difícil establecerla con intervalos de la tarea, la periodicidad se convierte en un aspecto difícil.

Los planes de mantenimiento basados en modo de falla y análisis de criticidad FMECA, identifican el tipo de mantenimiento implementado al sistema o equipo, para tomar una decisión y corregir la falla. Estas tareas asociadas al mantenimiento van relacionadas dependiendo a la criticidad determinada de los equipos analizados.

La información obtenida del comportamiento de la historia de fallas en los equipos es de gran importancia para la construcción de los planes de mantenimiento, así como también su estudio de criticidad.

Durante el desarrollo de la metodología, el equipo de trabajo profundiza sus conocimientos en cuanto al funcionamiento del sistema analizado.

Para cumplir el objetivo principal de este modelo es importante establecer el análisis funcional, las fallas funcionales, modos y efectos de causa, para generar datos que nos permitan determinar indicadores relacionados al mantenimiento y la operación.

El conocimiento de los equipos que producen mayor y que afecten al proceso productivo, le permite a la alta dirección direccionar y controlar los recursos para desarrollar los planes de mantenimiento.

Durante el desarrollo de este trabajo el análisis FMECA nos permitirá establecer un plan de mantenimiento basados en tareas y frecuencias de mantenimiento, de acuerdo a un análisis previo de criticidad con el fin de reducir el indicador de fallas de mantenimiento en la cortadora MCKAY a un 2% tomando este valor de referencia a otras empresas de alta eficiencia.

Para que esta técnica de análisis se satisfactoria y arroje los resultados esperados es importante: Identificar el equipo RCM y sus responsabilidades, identificar los elementos que serán objetos para su análisis, priorizar los objetos de análisis, documentar el análisis y el proceso de aprobación, orientación al proyecto y desarrollo de las reglas de análisis.

Finalmente, después de realizado el estudio al sistema o equipo cortadora MCKAY, la empresa puede concluir que, aunque los sistemas no sean considerados como críticos para la disminución del indicador de falla, los planes de mantenimiento que se estén implementando nos generan un grado de criticidad y confiabilidad del mismo en el área de mantenimiento.

## 7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se exponen a continuación para la implementación del modelo de mantenimiento son las siguientes:

- Registrar parámetros de operación y mantenimiento de los equipos para garantizar una mejora continua del plan.
- Potencializar las tareas dentro del plan de mantenimiento integral e implementarlas a los demás equipos críticos de la compañía tomándolas como piloto.
- Observar el desarrollo y sus resultados para facilitar el direccionamiento adecuado de los recursos.
- Integrar este modelo al software de gestión de mantenimiento de la compañía SIESA WEB.

## BIBLIOGRAFÍA.

[6] Fox Barry H, Synder Melvin G, Smith Anthony M. Reliability centred maintenance improves operations at TMI nuclear plant.

[7] Jones RB. Risk - Based management. Mumbai, India: Jaico Publishing House, 1997.

[4] Jones, Richard – Risk Based Management: A reliability – Cen

[1] Marks, Jhon – Combining TPM and reliability – focused maintenance RCM, reliability centered maintenance, electric maintenance & repair – Article – Journal – Volumen 211 – June 1997 – pp 49-52 – ISSN 0013-4457.

[5] Marks, Jhon – Combining TPM and reliability – focused maintenance RCM, reliability centered maintenance, electric maintenance & repair – Article – Journal – Volumen 211 – June 1997 – pp 49-52 – ISSN 0013-4457

[2] Moubay J. Reliability centred maintenance- Oxford: Butterworth/Heinemann, 1991.

[3] SIGMASTEEL SAS, “Manual de operación Tex Tube – 8K Saw Cutoff, 1999.