

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) PARA LAS MAQUINAS AUTOMATICAS ESTRIBADORAS – PLANTA  
CALLE 80

DIEGO HERNAN MORA RAMIREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISIOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ  
2022

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) PARA LAS MAQUINAS AUTOMATICAS ESTRIBADORAS – PLANTA  
CALLE 80

DIEGO HERNAN MORA RAMIREZ

Proyecto de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia de  
Mantenimiento

DIRECTORA:  
PAOLA ANDREA SALINAS JIMENEZ  
INGENIERA METALURGICA  
ESP. GERENCIA DE PROYECTOS

EVALUADOR:  
MANUEL DE JESUS MARTINEZ  
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISIOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ  
2022

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mis papas por el apoyo que me han dado durante este proceso que me ha llenado de conocimientos, experiencias nuevas, amistades nuevas y me han ayudado a crecer como persona. También a mi esposa e hijos que me impulsaron a no rendirme, por otro lado, me enseñaron a levantarme en las adversidades de mi carrera y me apoyaron cuando pensaba que no lo iba a lograr.

Profesores y compañeros, gracias por las experiencias vividas, los conocimientos aprendidos en este largo proceso, las risas, los llamados de atención que han contribuido para la construcción de esta nueva etapa de mi vida.

Algo que todos ustedes me han enseñado es a mejorar, para ser una mejor persona en la vida, Al fin y al cabo, solo les quería agradecer por estar ahí para mí.

GRACIAS...

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	14
4.1 DEFINICIÓN DEL RCM.....	14
4.1.1 RCM: Las siete preguntas básicas.....	17
4.1.2 FALLA FUNCIONAL.....	17
4.1.3 ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE).....	18
4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	18
4.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	18
4.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	18
4.2.3 MANTENIMIENTO PLANEADO.....	19
4.3 GENERALIDADES GRUPO PRONUM.....	19
4.3.1 MISION.....	19
4.3.2 VISION.....	19
4.3.3 ORGANIGRAMA.....	19
4.3.4 MAPA DE PROCESOS.....	20
4.3.5 MANTENIMIENTO A LAS MÁQUINAS DEL GRUPO PRONUM – PLANTA CALLE 80.....	20
4.4 GENERALIDADES MAQUINA AUTOMATICA ESTRIBADORA MEP FORMAT 16.....	22
5. DESARROLLO METOLOGICO.....	25
5.1 TAXONOMIA DEL EQUIPO.....	25
5.2 Selección de sistemas críticos para el RCM.....	26
5.3 Sistemas críticos maquinas MEP.....	27

5.3.1	Sistema de arrastre.....	27
5.3.1.1	Características técnicas del sistema de arrastre.....	28
5.3.1.2	Tabla componentes sistema de arrastre.....	28
5.3.1.3	Fronteras de trabajo de estudio del sistema.....	37
5.3.1.4	Modos de falla que afectan las funciones del sistema.....	38
5.3.1.5	Evaluación de los modos de falla y toma de acciones.....	39
5.4	Actividades programadas resultado del RCM.....	41
5.5	ANALISIS DE RESULTADOS.....	43
6.	CONCLUSIONES.....	43
	BIBLIOGRAFIA.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de mantenimiento.....	15
Figura 2 Generaciones de mantenimiento .....	17
Figura 3 Organigrama Grupo Pronum .....	20
Figura 4 Mapa de procesos Grupo Pronum .....	20
Figura 5 Disponibilidad por mes de las maquinas del grupo pronum.....	21
Figura 6 Cronograma de mantenimiento rutinario preventivo Grupo Pronum.....	21
Figura 7 Pareto distribución de tiempo fuera de servicio por máquina .....	22
Figura 8 Referencia manual de usuario y mantenimiento de máquina estribadora MEP .....	23
Figura 9 Proceso de maquina MEP .....	23
Figura 10 Grupos que componen la máquina MEP .....	24
Figura 11 Taxonomía del Equipo .....	25
Figura 12 Cantidad de Fallas sistema de arrastre máquinas MEP .....	26
Figura 13 Cantidad de tiempo muerto por falla en máquinas MEP.....	27
Figura 14 Vista frontal sistema de arrastre .....	36
Figura 15 Vista superior sisterna de arrastre .....	37
Figura 16 Matriz de Riesgos RCM .....	39
Figura 17 Diagrama de decisión RCM .....	40

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sistemas máquina MEP .....	26
Tabla 2 Descripción funciones máquina MEP .....	27
Tabla 3 Componentes sistema de arrastre .....	28
Tabla 4 Modos de fallas función principal .....	38
Tabla 5 Desarrollo del diagrama de decisión y descripción de tareas .....	41

## **GLOSARIO**

**RCM:** Reliability Centered Maintenance, siglas en inglés que significa, mantenimiento centrado en confiabilidad.

**Mantenimiento correctivo:** Aquel mantenimiento que se realiza después de que haya sido detectada una falla y busca poner a una parte en un estado en el cual pueda realizar cierta función requerida.<sup>1</sup>

**Modo de Falla:** Es el modo observado de la falla<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> OREDA. Norma internacional ISO 14224

<sup>2</sup> OREDA. Norma internacional ISO 14224

## **RESUMEN**

**TÍTULO:** DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LAS MAQUINAS AUTOMATICAS ESTRIBADORAS – PLANTA CALLE 80

**AUTOR:** DIEGO HERNAN MORA RAMIREZ

**PALABRAS CLAVE:** PLAN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, MAQUINA ESTRIBADORA, DOBLADORA DE ACERO.

**DESCRIPCIÓN:** Esta monografía tiene como propósito identificar por medio del análisis planteado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad el sistema, subsistema y/o ítem mantenibilidad para las máquinas automáticas estribadoras de la empresa PRONUM; contando con las hojas de vida de la máquina, historial de MTBF y disponibilidad.

Con el análisis hecho para identificar el sistema crítico se espera disminuir de manera considerable el tiempo en falla de la maquina automática estribadora y establecer rutinas de mantenimiento sobre el sistema o subsistema crítico que garanticen una mayor disponibilidad de la máquina y aumentar así su productividad.

Por último, llegar a definir repuestos mínimos en stock para aumentar el tiempo de respuesta ante un mantenimiento correctivo o una falla inesperada de la máquina.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** DESIGN OF A RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PLAN FOR AUTOMATIC STIRBAG MACHINES – CALLE 80 PLANT

**AUTHOR:** DIEGO HERNAN MORA RAMIREZ

**KEY WORDS:** PLAN, PREVENTIVE MAINTENANCE, RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, STIR BENDING MACHINE, STEEL BENDING MACHINE.

**DESCRIPTION:** The purpose of this monograph is to identify, through the analysis proposed in the maintenance methodology centered on reliability, the system, subsystem and/or maintainability item for the automatic stirrup machines of the company PRONUM; counting on the life sheets of the machine, MTBF history and availability.

With the analysis made to identify the critical system, it is expected to considerably reduce the time in failure of the automatic stirrup machine and establish maintenance routines on the critical system or subsystem that guarantee a greater availability of the machine and thus increase its productivity.

Finally, to define minimum spare parts in stock to increase the response time in the event of corrective maintenance or an unexpected failure of the machine.

## **INTRODUCCIÓN.**

La empresa GRUPO PRONUM S.A.S en la actualidad cuenta con varias líneas de trabajo para el maquilado y procesado de acero en su mayoría varilla de acero, trabajando de la mano con grandes empresas del sector como lo son acerías paz del rio, PAVCO, CELTA, ARGOS entre muchas otras; es de vital importancia para la empresa mantener la mayor disponibilidad posible en todas sus máquinas y así garantizar el cumplimiento con los diferentes pedidos y compromisos que se tienen con los diferentes clientes y aliados.

En la actualidad la empresa cuenta con unas rutinas de mantenimiento programadas con diferentes actividades (mantenimiento preventivo) pero a pesar de esta buena práctica aún se presenta fallas que producen tiempos fuera de servicio y retrasan en varias ocasiones las entregas a los clientes, es por esta razón que se realizará un análisis de criticidad para poder ejecutar un RCM a la subsistemas críticos de la maquina estribadora; la cual se seleccionó al ser el tipo de máquina que más se encuentra en la empresa y una de las más críticas en la línea de producción ya que una falla en esta máquina retrasa todo el proceso de producción en línea.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Grupo Pronum es una empresa dedicada a la distribución de materiales de construcción, repuestos de maquinaria de figuración y electrosoldado, préstamo de servicios de maquila y servicio técnico de mantenimiento.

En la cual debido al constante crecimiento de la infraestructura del país, se solicita una operación constante en la manufactura de acero corrugado para obtener flejes y soportes estructurales, esto ha definido turnos rotativos de 8 horas para el personal pero en el cual las maquinas se encuentran en operación constante; esta operación constante genera que las maquinas presenten paradas no programadas que afectan directamente el lograr producir el material necesario para suplir la demanda nacional.

Es por esto por lo que se plantea el diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad que permita mantener operativas las máquinas y así suplir la demanda del producto.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Las maquinas MEP cuyas funciones principales son el doblar y cortar el acero de materia prima, representan un 37% de la producción total del grupo Pronum, lo que las convierte en la principal máquina de producción de la compañía, y su disponibilidad o mejor dicho la falta de la misma representa grandes pérdidas en producción y obtención de acero maquilado, además de ser maquinas que realizan un proceso automatizado donde las mismas dan un producto final sin necesidad de más estaciones de trabajo, las hace indispensables en el proceso de maquilado.

Es por estas razones que el mantener disponibles estas máquinas y reducir su tiempo en falla hace necesario la implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, con un cronograma y tareas rutinarias que garanticen ese 37% de producción en cada uno de los turnos de trabajo.

Para mantener la disponibilidad de las máquinas se plantea la organización de un almacén dentro del área de mantenimiento que permita tener repuestos de stock y disminuir la necesidad de enviar equipos a reparación externa o esperar la llegada de repuesto de los proveedores.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar el análisis RCM para definir los criterios de sostenimiento y desarrollar el plan de mantenimiento a las estribadoras marcas MEP ubicadas en la planta de maquila calle 80.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Realizar un análisis de criticidad de los subsistemas de la máquina.
- Determinar modos y efectos de falla por medio de un AMFE para desarrollar tareas y rutinas de mantenimiento del equipo.
- Organizar el almacén para gestionar las salidas, entradas y permanencia de insumos del área de mantenimiento.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 DEFINICIÓN DEL RCM**

La Norma SAE JA1011 define el Reliability Centered Maintenance (RCM) o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) de la siguiente manera:

“RCM es un proceso usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional”

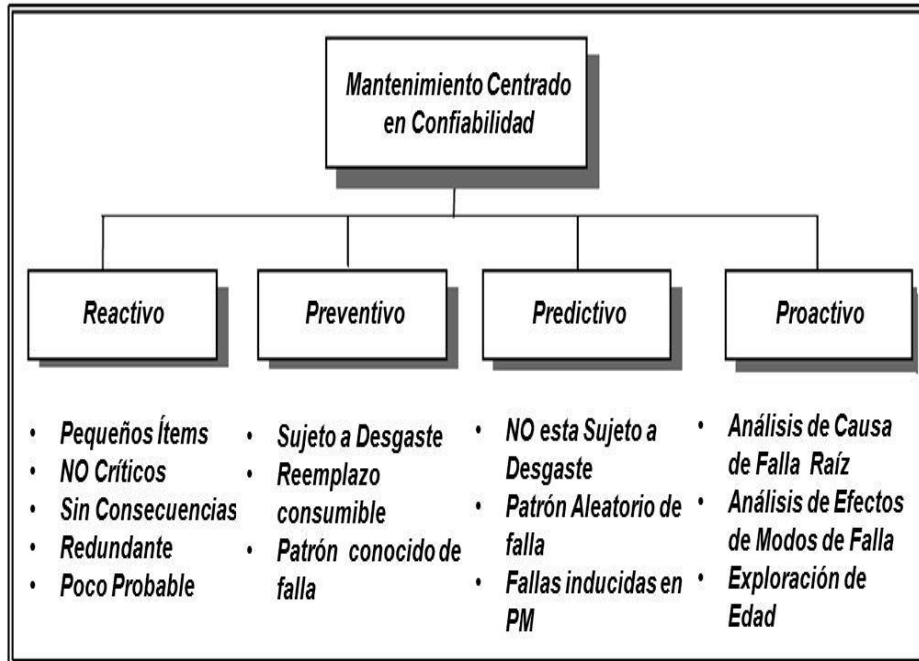
En el Libro de RCM II de John Moubray el autor plantea la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle”

El RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional, los componentes que definen el programa RCM de la Figura 1.

Figura 1 Tipos de mantenimiento



Esta filosofía de mantenimiento tiene su auge en la década del '30 la cual tuvo una evolución marcada por 3 generaciones nombradas por J. Moubray en su libro sobre RCM, estas generaciones son:

### **Primera Generación**

Generación extendida hasta finales de la segunda guerra mundial donde no se tenían industrias altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de la máquina no era de mayor importancia. Se contaba con máquinas sobre dimensionadas altamente confiables que suplían su necesidad de mantenimiento con rutinas de mantenimiento sistemático que no van más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se requerían menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

### **Segunda Generación**

Durante la segunda guerra mundial todo cambio. La demanda de bienes, al mismo tiempo que decaía el número de trabajadores industriales. Esto hizo que la mecanización aumentara al mismo tiempo el aumento de máquinas y complejidad de estas la industria empezó a depender de ellas.

Este incremento llevo a que se prestase mayor atención en el tiempo de parada de la máquina y por consiguiente a la idea de que las fallas en los equipos podían ser

prevenidas acuñando así el termino de mantenimiento preventivo, en la década de los sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados. Estas prácticas se han convertido en base del mantenimiento.

### **Tercera Generación.**

En esta generación los cambios han sido aún más impulsado y se han clasificado en nuevas expectativas, nuevas investigaciones y técnicas.

#### **Nuevas expectativas**

Los efectos de los tiempos de parada se vieron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas "just in time", donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta, esto sumado a la importancia de cumplir con los estándares de calidad, seguridad y medio ambiente ha hecho que el costo de mantener operativos los activos físicos se incremente y así mismo las expectativas de los planes de mantenimiento que garanticen la productividad de las máquinas.

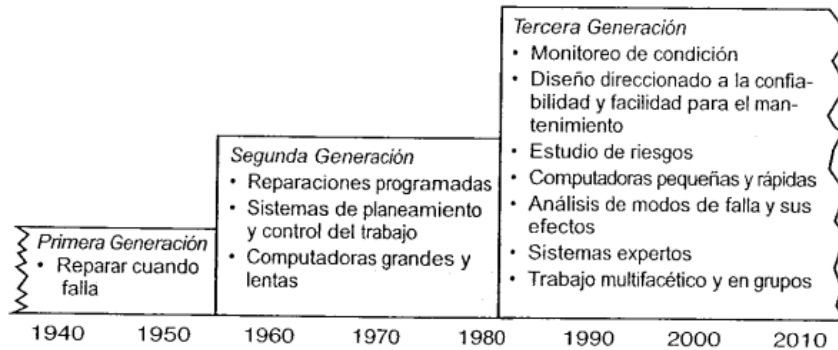
#### **Nuevas investigaciones.**

Las investigaciones más recientes sobre la edad y la ocurrencia de las fallas han demostrado que cada activo físico puede presentar una tendencia que se aleje de la planteada en la segunda generación curva de la bañera llegando así a plantearse 6 patrones de falla relacionados con la edad del activo. Esto ha llevado a la necesidad de asegurarse que los trabajos que se planean son los trabajos que deben hacerse (hacer el trabajo correcto).

#### **Nuevas técnicas**

Ha habido un crecimiento de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento como se observa en la fig. 2

Figura 2 Generaciones de mantenimiento



Estos cambios han llevado a que el personal de mantenimiento actualmente centre su atención no solo en aprender sino en decidir cuáles de estas técnicas valen la pena para su organización. “si hacemos elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo contener y hasta reducir el costo del mantenimiento”

#### 4.1.1 RCM: Las siete preguntas básicas.

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar.

- ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funciones?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

#### 4.1.2 FALLA FUNCIONAL.

Es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

### **4.1.3 ANALISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)**

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). La mejor manera de conectar una falla con un evento que podría causarla es hacer una lista uno frente al otro.

## **4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

### **4.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento se define como el aseguramiento de que una instalación, un sistema de equipos u otro activo fijo para que continúen realizando las funciones para las que fueron creados, entonces el mantenimiento preventivo es una serie de tareas planeadas previamente que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de enunciadas funciones. Es diferente a un mantenimiento correctivo, el cual normalmente se considera como el reemplazo, renovación o reparación general del o de los componentes de un equipo o sistema para que sea capaz de realizar la función para la que fue diseñado.

El mantenimiento preventivo es el enfoque preferido para la administración de los activos porque posibilita la prevención de una falla prematura y reduce su frecuencia, reduce la severidad de la falla y mitiga sus consecuencias y proporciona un aviso de una falla inminente o incipiente para permitir una reparación planeada; reduce el costo global de la administración de los activos.

### **4.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento. Este es el caso que se presenta cuando los costos adicionales de otros tipos de mantenimiento no pueden justificarse. Este tipo de estrategia se conoce como <<de operación hasta que falle>>.

El mantenimiento correctivo puede dividirse en dos amplias categorías: <<reparación planeada y reparación no planeada>>. La reparación planeada implica: en primer lugar, que todos los recursos necesarios para realizar las tareas hayan sido planeados previamente y estén disponibles; en segundo lugar, que el trabajo se lleve a cabo de acuerdo con un programa establecido. La reparación no planeada puede tener disponibles un conjunto de instrucciones normales; da la posibilidad de tener a la mano trabajadores y piezas necesarias o puede estar

insertado en un programa de mantenimiento bajo una base ad hoc, pero no cumpla con los criterios de planeación, ni de programación previa.

### **4.2.3 MANTENIMIENTO PLANEADO**

El mantenimiento planeado es un esfuerzo integrado para convertir la mayor parte del trabajo en mantenimiento programado. El mantenimiento planeado es el trabajo que se identifica mediante el mantenimiento preventivo y predictivo. Este incluye la inspección y el servicio de trabajos que se realizan a intervalos recurrentes específicos; también está relacionado con el mantenimiento con base en las condiciones.

En el mantenimiento planeado, todas las actividades se planean previamente; esto incluye la planeación y abastecimiento de materiales. La planeación de los materiales permite una programación más confiable, además de los ahorros de costos en entrega y pedidos de materiales. Así mismo, los trabajos se programan en momentos que no alteren los programas de entregas y de producción. Los ahorros con la introducción del mantenimiento planeado son significativos en términos de la reducción del tiempo muerto y los costos de materiales. El mantenimiento planeado ofrece un enfoque acertado para mejorar el mantenimiento y cumplir con los objetivos establecidos.

## **4.3 GENERALIDADES GRUPO PRONUM.**

### **4.3.1 MISION**

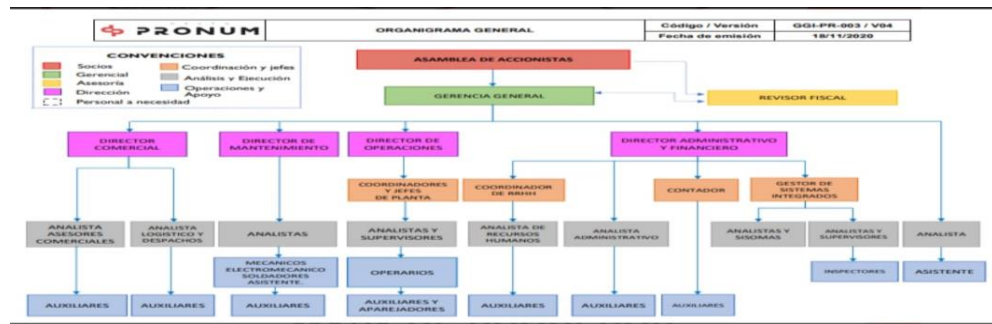
Ofrecer productos y servicios que respondan a las necesidades de nuestros clientes y el mercado

### **4.3.2 VISION**

Para el año 2026 Grupo Pronum S.A.S continuará siendo una empresa solida e innovadora de amplio reconocimiento y crecimiento en el mercado, comprometida con la satisfacción de sus clientes y la generación de valor para sus colaboradores y accionistas.

### **4.3.3 ORGANIGRAMA**

Figura 3 Organigrama Grupo Pronum



#### 4.3.4 MAPA DE PROCESOS

Figura 4 Mapa de procesos Grupo Pronum



#### 4.3.5 MANTENIMIENTO A LAS MÁQUINAS DE GRUPO PRONUM – PLANTA CALLE 80.

En la planta de grupo PRONUM ubicada en Bogotá sobre la calle 80 se implementaba un mantenimiento netamente correctivo hasta finales del año 2021, lo que se veía reflejado en una baja disponibilidad en general de las máquinas.

Desde enero del año 2022 se empezó a implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en las rutinas de mantenimiento periódicas recomendadas por el

fabricante y plasmadas en el cronograma en la figura 6, esto ha logrado mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la planta en general como se ve en el siguiente gráfico (fig.5).

Figura 5 Disponibilidad por mes de las maquinas del grupo Pronum

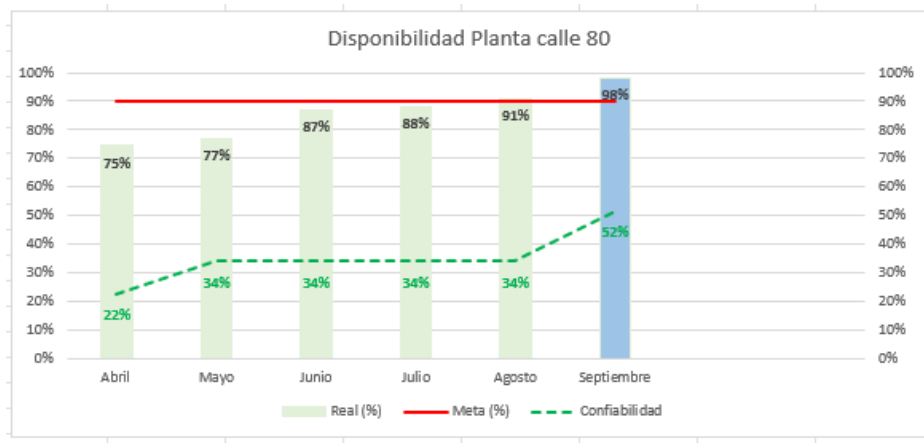


Figura 6 Cronograma de mantenimiento rutinario preventivo Grupo Pronum

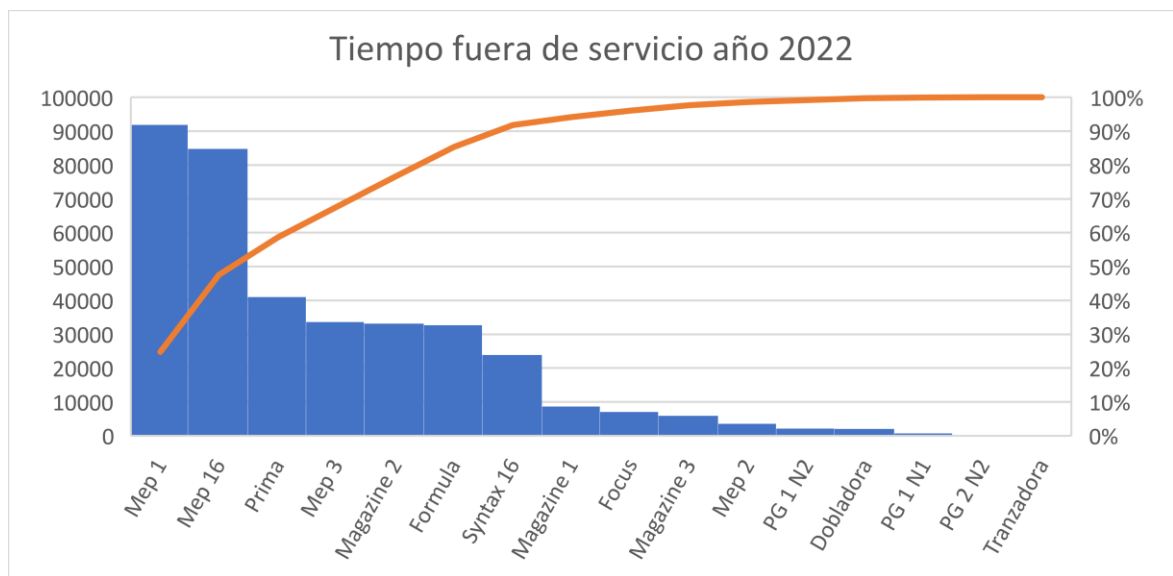
PRONUM		CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO RUTINARIO PREVENTIVO												Código / Versión		GM-FM-025 / 103																	
		CENTRO DE OPERACIONES: TOCANCOPA PRODUCCIÓN <input type="checkbox"/> CALLE 80 <input checked="" type="checkbox"/> BELENOTO <input type="checkbox"/> DUTAMA <input type="checkbox"/> PITALITO <input type="checkbox"/>												Fecha de emisión		10/10/2020																	
RESPONSABLE:		ING. DIEGO MORA												MES: MAYO		AÑO: 2022																	
Maquina	Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Tiempo estimado mantenimiento preventivo (horas)
MEP 1	1																																0
MEP 1	2																																480
MEP 1	3																																0
MEP 2	1																																0
MEP 2	2																																480
MEP 2	3																																0
MEP 3	1																																0
MEP 3	2																																480
MEP 3	3																																0
MEP 16	1																																0
MEP 16	2																																480
MEP 16	3																																0
MINSYNTAX	1																																0
MINSYNTAX	2																																0
MINSYNTAX	3																																0
FORMULA	1																																0
FORMULA	2																																960
FORMULA	3																																0
FOCUS	1																																0
FOCUS	2																																480
FOCUS	3																																0
PRIMA	1																																0
PRIMA	2																																960
PRIMA	3																																0
MAGAZINE 1	1																																0
MAGAZINE 1	2																																0
MAGAZINE 1	3																																0
MAGAZINE 2	1																																0
MAGAZINE 2	2																																0
MAGAZINE 2	3																																0
MAGAZINE 3	1																																0
MAGAZINE 3	2																																0
MAGAZINE 3	3																																0
POLPASTO 1 NAVE 1	1																															0	
POLPASTO 1 NAVE 1	2																																0
POLPASTO 1 NAVE 1	3																																0
POLPASTO 1 NAVE 2	1																																0
POLPASTO 1 NAVE 2	2																																0
POLPASTO 1 NAVE 2	3																																0
POLPASTO 2 NAVE 2	1																																0
POLPASTO 2 NAVE 2	2																																0
POLPASTO 2 NAVE 2	3																																0

Como se puede evidenciar en los últimos meses la disponibilidad a aumentado lo que garantiza un cumplimiento mayor a las órdenes de trabajo.

Las actividades mostradas en la figura 6. Se categorizan como tareas para personal eléctrico y mecánico, siendo ejecutadas a lo largo del turno por 2 personas por turno un técnico eléctrico y un técnico mecánico, así que por día se dispone de 6 personas, 3 eléctrico y 3 mecánicos para suplir las necesidades del mantenimiento preventivo programado y el mantenimiento correctivo.

A pesar de disminuir el tiempo fuera de servicio de las maquinas aún no se ha logrado la meta de cumplir con el 90% de disponibilidad mostrada en la Fig. 5. Por esta razón se ha llevado un registro de los minutos fuera de servicio de las diferentes máquinas para así determinar por medio de un gráfico de Pareto la máquina que presenta mayor tiempo fuera de servicio (fig.7), en este grafico al hacer la proporción 80/20 donde el 80% del tiempo fuera de servicio es producto del 20% de las maquinas que producen ese tiempo, se logra evidenciar que las máquinas automáticas estribadoras MEP son las que más aportan a ese 80% y por esta razón se decide hacer una RCM a estas máquinas.

Figura 7 Pareto distribución de tiempo fuera de servicio por máquina



#### 4.4 GENERALIDADES MAQUINA AUTOMATICA ESTRIBADORA MEP FORMAT 16

La máquina en cuestión es una estribadora automática para la elaboración de hilo para hormigón armado fabricado por la empresa MEP (Macchine Elettroniche Piegatrici)

Figura 8 Referencia manual de usuario y mantenimiento de máquina estribadora MEP



En el manual de uso y manutención del fabricante se especifican sistemas y labores de mantenimiento recomendadas, también permite un acercamiento más técnico a los sistemas que la componen, distribución y función.

Figura 9 Proceso de maquina MEP

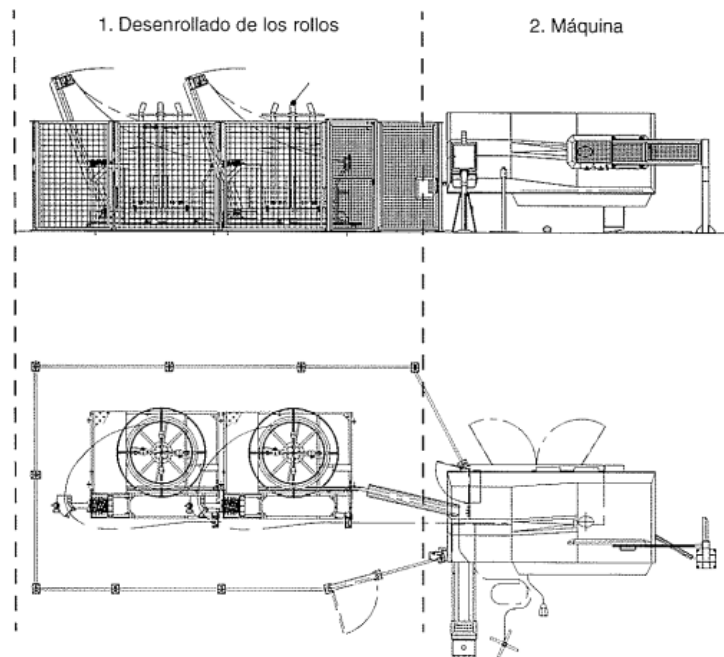


Figura 10 Grupos que componen la máquina MEP

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS GRUPOS QUE CONSTITUYEN LA MÁQUINA

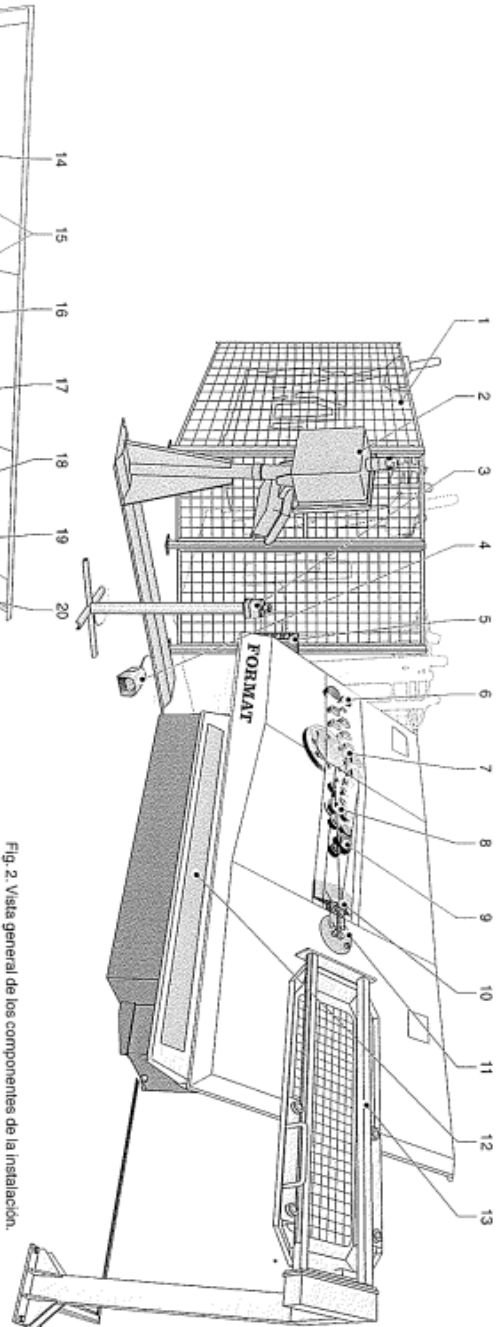
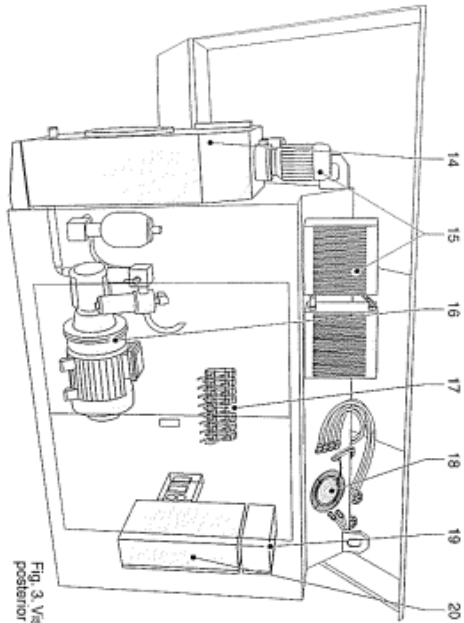


Fig. 2. Vista general de los componentes de la instalación.



1. Cercado de la zona de devanadoras
2. Cuadro de mando
3. Botón de parada colocado sobre pedalista
4. Pedal de mando del freno de devanadoras
5. Tablero de botones auxiliar
6. Grupo prealimentador
7. Grupo preenderizado y arrastre
8. Grupo de enderizado final horizontal
9. Grupo de enderizado final vertical
10. Grupo cizalla
11. Grupo plegador
12. Pared lateral abatible para recoger estiridos
13. Protección conetiza de la zona de plegadura
14. Grupo de depósito de la caja de engranajes hidráulica
15. Grupo de filtrado y entrisamiento
16. Grupo bomba principal
17. Grupo de electroválvulas
18. Grupo de ventilación
19. Cuadro RemoldeBox
20. Cuadro eléctrico de potencia

Fig. 3. Vista de los componentes colocados en la parte posterior e interior del cuerpo de la máquina.

## 5. DESARROLLO METOLOGICO.

En el capítulo anterior se logra evidenciar la importancia de las máquinas automáticas estribadoras dentro del proceso de maquila hecho en la planta de la calle 80 del Grupo PRONUM, lo que lleva al desarrollo de un mantenimiento centrado en confiabilidad para este tipo de máquina que disminuir el tiempo en falla o fuera de servicio de este tipo de máquina, analizando y cuantificando los diferentes modos de falla, su naturaleza y el impacto de estos sobre la disponibilidad de la máquina.

### 5.1 TAXONOMIA DEL EQUIPO.

Figura 11 Taxonomía del Equipo

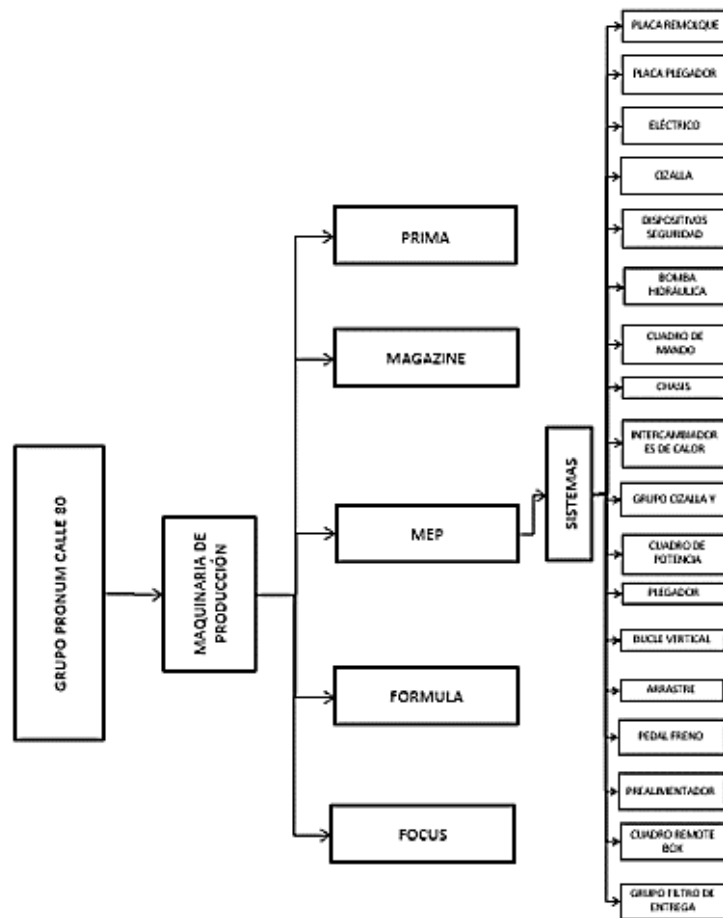


Tabla 1 Sistemas máquina MEP

+ Plegador
+ Cuadro de potencia
+ Grupo cizalla y columnas
+ Intercambiadores de calor
+ Chasis
+ Cuadro de mando
+ Bomba Hidraulica
+ Dispositivos de seguridad
+ Cizalla
+ Protección plegador
+ Prealimentador
+ Cuadro remote box
+ Placa de seguridad lento-rapido
+ Conexiones hidraulicas
+ Pulsador periferico
+ Sistema electrico en maquina
+ Placa plegador
+ Placa Remolque
+ Grupo de filtro de entrega
+ Parada de emergencia piso
+ Pedal de freno
+ Conexiones electricas

## 5.2 Selección de sistemas críticos para el RCM

En la tabla 1 se muestran todos los sistemas que componen cada una de las maquinas estribadores MEP, de estos sistemas por medio de entrevistas con los operarios, seguimiento de las hojas de servicio de mantenimiento correctivo y el registro en la matriz de mantenimiento general se llega a la conclusión que los sistemas que presentan fallas más significativas y criticidad alta son los sistemas de arrastre y doblado.

Figura 12 Cantidad de Fallas sistema de arrastre máquinas MEP

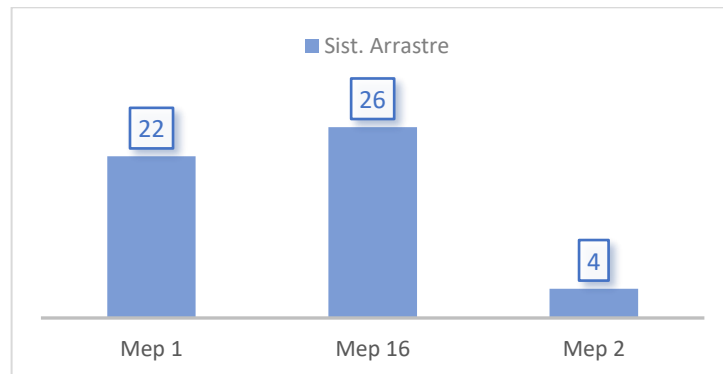
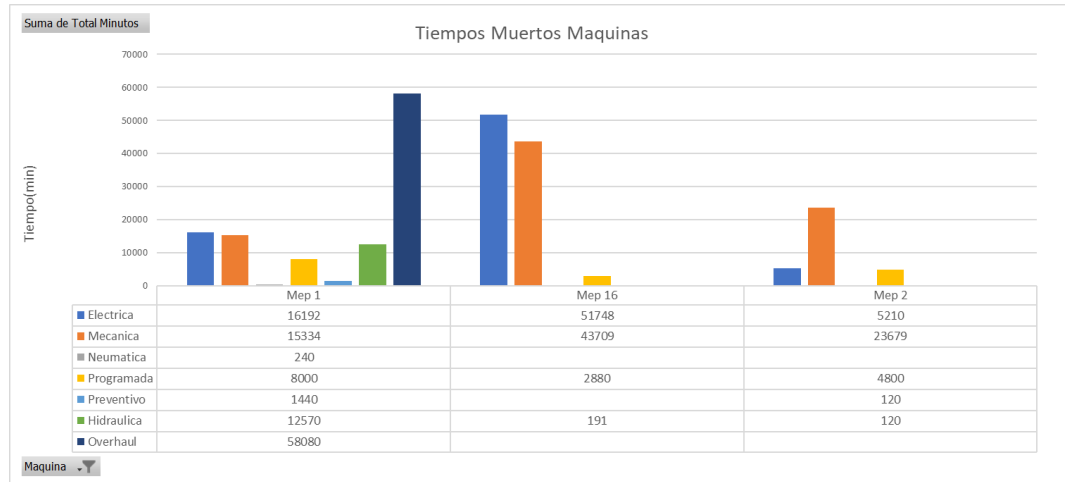


Figura 13 Cantidad de tiempo muerto por falla en máquinas MEP



Las fallas de estas máquinas se encuentran clasificadas en la matriz de mantenimiento general como: Fallas de tipo eléctrica, mecánica, neumática, hidráulica. Lo cual tiene sentido al ser estos los tipos de subsistemas que presentan los sistemas de arrastre y doblado.

### 5.3 Sistemas críticos maquinas MEP.

Siguiendo la metodología del RCM expuesta y dando respuesta a la pregunta **¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?**

A continuación, se darán a conocer las funciones y parámetros de funcionamiento de los sistemas seleccionados.

#### 5.3.1 Sistema de arrastre.

Es uno de los sistemas más importantes de la máquina, ya que es el encargado de proveer varilla para su posterior doblado, está compuesto por una serie de rodillos movidos por un motor hidráulico que provee la potencia necesaria para arrastrar la varilla por el resto de los rodillos.

Tabla 2 Descripción funciones máquina MEP

<b>Tipo de función</b>	<b>Descripción</b>
<i>Función primaria</i>	Arrastrar la varilla de acero a través de los rodillos
<i>Función Secundaria</i>	Dar torsión a la varilla
<i>Función Secundaria</i>	Enviar al HMI de ubicación de la varilla

### 5.3.1.1 Características técnicas del sistema de arrastre

Compuesto por las piezas descritas en la tabla 3. Requiere para su funcionamiento un voltaje de 440 VAC el cual alimenta a los motores eléctricos del sistema hidráulico que trabaja a 150 PSI usando aceite hidráulico ISO VG 46; dicho sistema hidráulico mueve los motores hidráulicos que hacen girar los rodillos que usan rodamientos de tipo de bolas 2RS.

### 5.3.1.2 Tabla componentes sistema de arrastre

Tabla 3 Componentes sistema de arrastre

Pieza	Código	Descripción	Cantidad
1	7C0719	Grupo de pre-enderezamiento y remolque	1
2	5H0055	Motor Hidráulico	3
	3G0100	Tornillo M12x70	6
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	6
3	2H0613	Cuadra	3
	9G0085	Tornillo M8x20	6
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	6
	3H0037	Empaquetadura OR	6
	2D1565	Pezón reducido 1/8 " -1/4"	3
	2H0133	Pezón reducido de 1/4 "	3
	3H0210	Arandela de cobre de 1/8 "	6
4	3C0150	Brida del motor	2
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	4
	3G0013	Tornillo M12x25	4
	3G0074	Engrasador M8	2
	3C0131	Lavadora de patines	2
	3G0218	Tornillo M6x8	4
5	2C2485	Soporte izquierdo	1
	3G0013	Tornillo M12x35	3
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	3
6	3C0150	Brida del motor	1
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	2
	3G0013	Tornillo M12x35	2
	9G0264	Boquilla de engrase M 8 - 45 °	1
	3C0131	Lavadora de patines	1

	3G0218	Tornillo M6x8	2
<b>7</b>	5C0551	Caracol	1
	3G0154	Tornillo M8x25	8
<b>8</b>	4A0017	Potenciómetro completo	3
	3G0076	Tornillo M3x12	6
	2C1878	Soporte de potenciómetro	5
<b>9</b>	2C2486	Soporte derecho	1
	3G0013	Tornillo M12x35	3
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	3
<b>10</b>	2C2487	Soporte de sensor	1
	9G0100	Tornillo M5x25	2
	8G0108	Arandela Schnorr Ø5	2
<b>11</b>	1C2205	Protección de potenciómetro	1
	8G0026	Tornillo M6x16	2
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	2
<b>12</b>	2C2484	Soporte de contraste de primavera	1
	3G0015	Tornillo M12x60	2
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	2
<b>13</b>	1C2144	Protección	1
	8G0026	Tornillo M6x16	2
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	2
<b>14</b>	9C0450	Guía/volante izquierdo/a	1
	3G0121	Tornillo M8x35	3
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	3
<b>15</b>	9C0447	Trineo	1
<b>16</b>	9C0449	Guía/Volante izquierdo/a	1
	3G0121	Tornillo M8x35	3
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	3
<b>17</b>	4C1067	Rodillo de contraste	1
	3H0063	Junta de estanqueidad 30x40x7	2
	9G0140	Anillo Seeger Ø40	2
	5G0467	Rodamiento	1
<b>18</b>	4C1068	Rodillo	2
	5G0055	Rodamiento	2
	3H0406	Anillo de sellado	2
	3C0838	Espaciador	1
	3G0064	Anillo seeger Ø62	2
<b>19</b>	2C2476	Placa portadora	1

	3G0294	Tornillo M20x50	7
	8G0130	Arandela Schnorr Ø20	7
<b>20</b>	4C1187	Guía de hilo	1
	3G0137	Tornillo M10x50	2
<b>21</b>	4C1046	Rodillo	1
	5G0055	Rodamiento	2
	3C0141	Espaciador	1
	3G0064	Anillo Seeger Ø62	1
	3C1014	Lavadora	1
	3G0019	Tornillo M10x25	1
	4C1186	Pasador excéntrico	1
	3G0154	Tornillo M8x25	5
<b>22</b>	4C1046	Rodillo	1
	5G0055	Rodamiento	2
	3C0141	Espaciador	1
	3G0064	Anillo Seeger Ø62	1
	3C1014	Lavadora	1
	3G0019	Tornillo M10x25	1
	8C0930	Alfiler	1
	3G0008	Tornillo M10x30	6
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	6
<b>23</b>	6C0989	Rodillo completo	2
<b>24</b>	4C1188	guía hilo	1
	3G0007	Tornillo M10x25	2
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	2
<b>25</b>	4C1055	Rodillo	1
	3G0304	Tornillo M12x35	12
<b>26</b>	4C1189	Guía hilo	1
	3G0007	Tornillo M10x25	2
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	2
<b>27</b>	2C2474	Lámina	1
	8G0016	Tornillo M10x60	4
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	4
<b>28</b>	4C1046	Rodillo	5
	5G0055	Rodamiento	10
	3C0141	Separador	5
	3G0064	Anillo Seeger Ø62	5
	3C1014	Lavadora	5

	3G0019	Tornillo M10x25	5
	8C0931	Alfiler	5
	3G0154	Tornillo M8x25	30
<b>29</b>	4C1182	Rodillo	2
	5G0055	Rodamiento	4
	3C0141	Separador	2
	3G0064	Anillo Seeger Ø62	2
	3C1014	Lavadora	2
	3G0019	Tornillo M10x25	2
	8C0930	Alfiler	2
	3G0008	Tornillo M10x30	12
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	12
<b>30</b>	3G0375	Tornillo M20x50	1
<b>31</b>	2C2482	Soporte de rodillo móvil	2
<b>32</b>	9C0473	Patinador	8
	8G0027	Tornillo M8x30	24
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	24
<b>33</b>	1C1785	Protección Potenciómetro	1
	8G0026	Tornillo M6x16	2
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	2
<b>34</b>	5H0030	Motor hidráulico	1
	3G0012	Tornillo M12x30	4
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	4
<b>35</b>	1C2224	Reforzamiento	1
	9G0085	Tornillo M8x20	2
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	2
<b>36</b>	2C2483	Hombro para patinar	1
	3C1087	Lámina	1
	8G0016	Tornillo M10x60	1
<b>37</b>	9C0472	Patinador	1
	3G0008	Tornillo M10x30	1
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	1
<b>38</b>	4C1073	Rodillo de contraste	4
	5G0472	Rodamiento	4
	3C1028	Lavadora	4
<b>39</b>	2C2282	Soporte de rodillo	2
<b>40</b>	2C2475	Placa de cierre	1
	1C1828	Enchufe	2

	3G0007	Tornillo M10x25	10
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	10
	2A0003	Caucho protector	2
	9G0053	Tornillo sin cabeza M 8x16	2
<b>41</b>	5C0296	Caracol	2
	3C0109	Arandela especial	8
	3G0014	Tornillo M12x40	8
<b>42</b>	8C0813	Tornillo de ajuste	3
	3H0330	Anillo de sellado	3
	3C0130	Cojinete	3
<b>43</b>	3C1087	Lámina	5
<b>44</b>	9C0474	Guía	5
	3G0008	Tornillo M10x30	5
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	5
<b>45</b>	9C0407	Patinador	2
	3G0013	Tornillo M12x35	2
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	2
<b>46</b>	8C0938	Tornillo	2
	8C0939	Resorte de presión de tornillo	2
	3C1027	Arandela roscada	2
	8G0014	Tornillo sin cabeza M6x12	4
	3C0909	Arandela de guía de resorte	2
	5G0083	Muelle de copa	24
<b>47</b>	5C0463	Centro	1
	3G0159	Tornillo sin cabeza M 5x8	2
	3G0014	Tornillo M12x40	6
	8G0100	Arandela Schnorr Ø12	6
	3C0903	Separador	1
	5G0125	Rodamiento	2
	3H0403	Anillo de sellado 100x130x13	2
<b>48</b>	9C0406	Cable de extensión	1
	9G0264	Engrasador M8	1
<b>49</b>	5C0461	Rueda de engranaje	1
	3C0905	Separador	1
	5G0464	Disco retráctil BIKON	1
	9G0053	Tornillo sin cabeza M8x16	2
<b>50</b>	1C1830	Tapa de cobertura	1

	9G0085	Tornillo M8x20	6
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	6
<b>51</b>	3C0912	Brida	1
	8C0846	Tuerca de anillo	1
	3G0007	Tornillo M10x25	6
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	6
<b>52</b>	2C2025	Placa de soporte	1
<b>53</b>	3C0908	Brida	1
	9G0097	Tornillo M6x40	6
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	6
<b>54</b>	5C0464	Eje de transmisión	1
	5G0463	Rodamiento	1
	3H0404	Anillo de sellado	1
	8G0066	Anillo Seeger Ø60	1
<b>55</b>	3C0910	Brida	1
<b>56</b>	5C0462	Piñon	1
	5G0463	Rodamiento	1
	8G0067	Anillo Seeger Ø110	1
	3C0904	Lámina	1
	3G0373	Tornillo M12x50	1
	3G0101	Tornillo sin cabeza M10x16	4
	8G0059	Tornillo sin cabeza M8x16	2
<b>57</b>	8C0867	Tornillo de soporte de resorte	1
	8G0068	Tuerca M 16	1
<b>58</b>	3C1021	Brida	1
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	4
	8G0026	Tornillo M6x16	4
<b>59</b>	2C2241	Soporte de potenciómetro	1
<b>60</b>	2C2271	Soporte de motor	1
	8G0099	Tornillo M10x30	4
<b>61</b>	4A0017	potenciómetro completo	1
	3G0076	Tornillo M3x12	2
<b>62</b>	2C2270	Soporte	1
	8G0108	Arandela Schnorr Ø5	2
	3G0001	Tornillo M5x16	2
<b>63</b>	2C1878	Soporte de potenciómetro	1
<b>64</b>	5H0128	Motor hidráulico	1
	2H0244	Brida del motor	1

	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	2
	9G0085	Tornillo M8x20	2
	2H0175	Pezón reducido 3/8 "-1/4"	2
	3H0081	Arandela de cobre de 3/8 "	2
<b>65</b>	3C1020	Brida	1
	8G0109	Arandela Schnorr Ø6	4
	8G0026	Tornillo M6x16	4
<b>66</b>	9C0451	Patinador	1
<b>67</b>	8C0874	Tornillo de ajuste	1
<b>68</b>	5C0493	Caracol	1
<b>69</b>	8C0875	Palanca	1
<b>70</b>	8C0872	Alfiler	1
	3G0034	Tornillo M8x10	3
<b>71</b>	8C0873	Emchufe	1
	3G0104	Grano M 10x10	1
	5G0468	Anillo interior INA	2
<b>72</b>	2C2269	Soporte de palanca	1
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	2
	3G0008	Tornillo M10x30	2
<b>73</b>	3C1017	Cojinete	1
	8G0027	Tornillo M8x30	6
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	6
	3H0166	Anillo raspador	2
<b>74</b>	8C0984	Pin completo	1
<b>75</b>	8C0871	Tornillo de ajuste	1
	8C0983	Tuerca de anillo	1
	8G0053	Arandela de seguridad	1
<b>76</b>	8C0869	Alfiler	1
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	3
	3G0007	Tornillo M10x25	3
<b>77</b>	5C0484		1
	3C1016		1
<b>78</b>	2H0283	Tapón cónico de 1/8 "	2
<b>79</b>	4C1364	Rodillo	1
<b>80</b>	3H0071	Anillo de sellado	1
<b>81</b>	3C1191	Brida	1
	3H0446	Arandela Ø5	6
	9G0098	Tornillo m5x14	6

<b>82</b>	5G0545	Rodamiento	2
<b>83</b>	3C1189	Brida	1
<b>84</b>	3G0404	Grano M8x12	3
<b>85</b>	3C1187	Brida	1
	8G0111	Arandela Schnorr Ø10	1
	3G0206	Tornillo M10x35	1
<b>86</b>	3H0445	Empaquetadura OR	1
<b>87</b>	3H0447	Empaquetadura OR	1
<b>88</b>	3C1188	Separador	1
<b>89</b>	3C1190	Soporte de rodillo	1
	8G0110	Arandela Schnorr Ø8	5
	9G0033	Tornillo M8x40	5
<b>90</b>	3H0448	Empaquetadura OR	1

Figura 14 Vista frontal sistema de arrastre

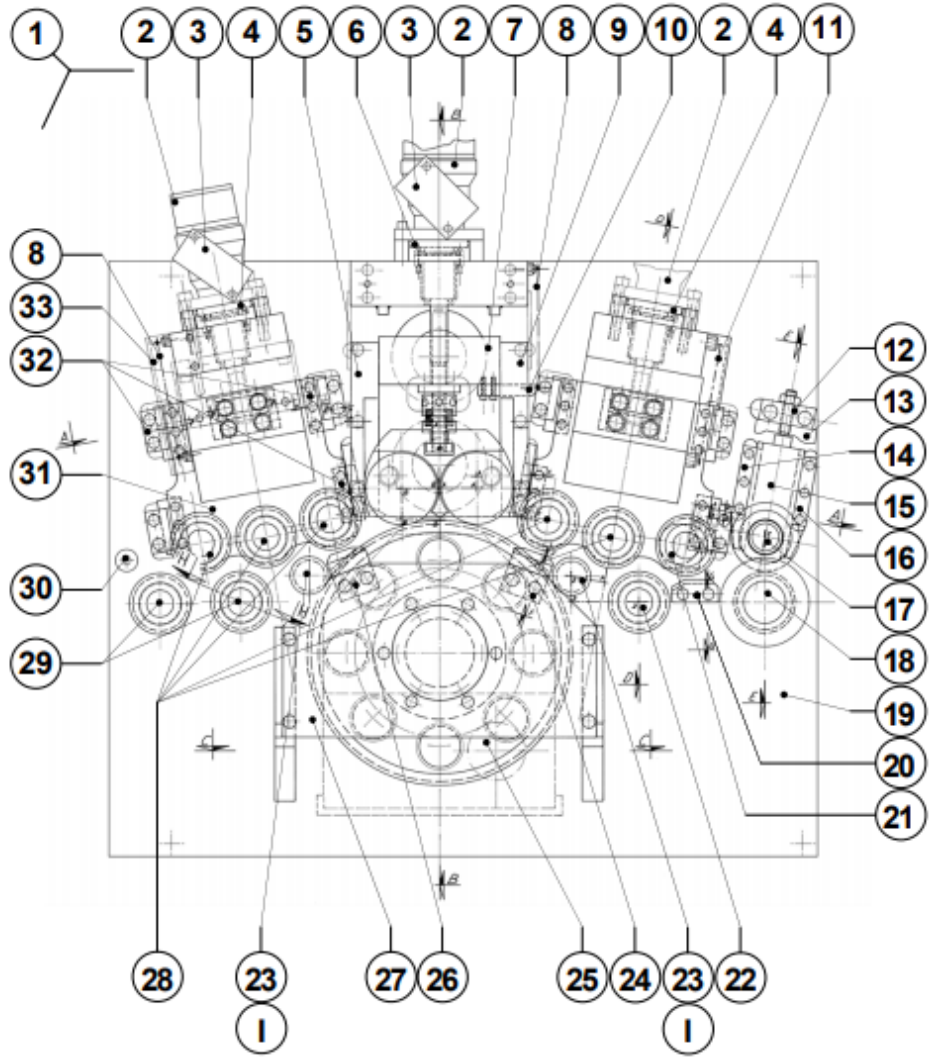
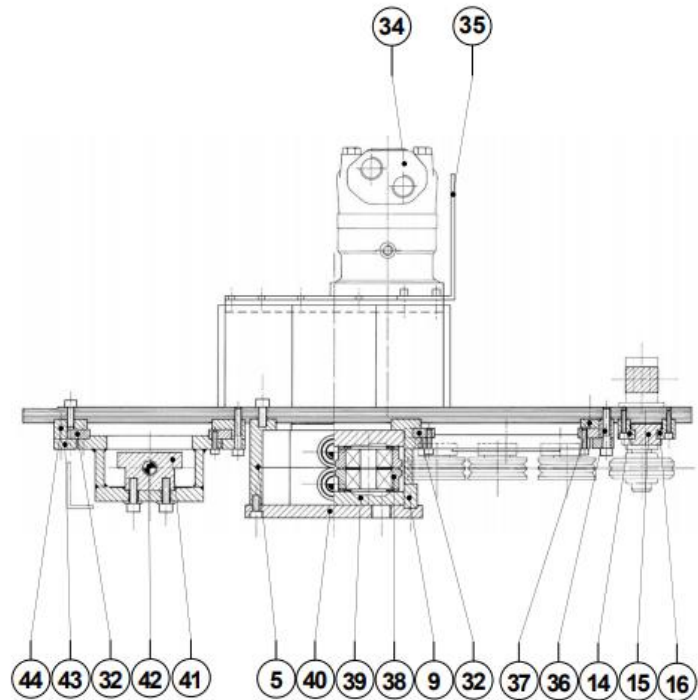


Figura 15 Vista superior sistema de arrastre



Este sistema está expuesto a condiciones operativas adversas como lo son:

- Material particulado (Calamina)
- Altas temperaturas
- Esfuerzos mecánicos elevados

#### 5.3.1.3 Fronteras de trabajo de estudio del sistema

El sistema empieza donde termina el grupo de pre-enderezamiento y remolque, y termina con la salida de varilla por el rodillo 18 (guía/volante izquierdo) en la figura 14.

5.3.1.4 Modos de falla que afectan las funciones del sistema  
 Conociendo las funciones principales y características del sistema en la siguiente tabla se busca responder las siguientes preguntas para definir el RCM:

- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

Tabla 4 Modos de fallas función principal

<b>Función</b>	<b>Código de la función</b>	<b>Descripción de la falla</b>	<b>Modo de falla</b>	<b>Código del modo de falla</b>
<b>Arrastrar la varilla de acero a través de los rodillos</b>	SA- A1	Motor del sistema hidráulico no funciona	El aislamiento del motor está bajo y se está aterrizando	SA-A1.1
		Se rompe rodamiento de uno de los rodillos no permite giro del rodillo de arrastre	El rodamiento llega al límite de su vida útil y se rompe la pista o el elemento rodante	SA-A1.2
		No llega señal para activar electroválvula	Mal estado del cableado, solenoide de la electroválvula quemado	SA-A1.3
<b>Dar torsión a la varilla</b>	SA-B1	Varilla no cumple estándar de aceptación por falta de torsión	Rodillos desgastados en la rodadura	SA – B1.1
		Menor presión a la que se requiere para torsionar la varilla	Fuga en racores o empaques del sistema hidráulico	SA - B1.2

<b>Enviar al HMI de ubicación de la varilla</b>	SA – C1	No llega señal al tablero HMI sobre la posición de la varilla	Potenciometro lineal del sistema no envía señal por desgaste del cardan de unión	SA - C1.1
		Señal de posición de la varilla dentro del grupo de rodillos incorrecta	Desgaste mecánico de cardanes que se unen al potenciometro lineal excesivo	SA - C1.2

### 5.3.1.5 Evaluación de los modos de falla y toma de acciones

Con los modos de falla mostrados en la tabla 4. Se procede a hacer la valoración de los riesgos de estos modos de falla a diferentes aspectos como lo son:

- Consecuencias humanas
- Consecuencias ambientales
- Consecuencias en costos
- Consecuencias a la imagen

Con el fin de dar respuesta a las preguntas para la construcción de un RCM.

- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?

Figura 16 Matriz de Riesgos RCM

CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN	CONSECUENCIA	IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Incapacidad permanente	Efectos pueden ser controlados en 1 mes	>50 M	Nacional	Critico	1	Yellow	Red	Red	Red	Red	
Atrapamiento de extremidades	Efectos pueden ser controlados en 15 dias	ENTRE 50M-10M	Regional	Alta	2	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	
Incapacidad temporal por contaminación	Efectos pueden ser controlados en 7 dias	ENTRE 10 M-1M	Local	Media	3	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	
Lesiones menores	Efectos pueden ser controlados en 1 dia	ENTRE 1M-0.5M	Interna	Baja	4	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.5M	Ninguno	Ninguno	5	Green	Green	Green	Green	Yellow	
						> 1 Año	< 9 meses	< 6 meses	< 3 meses	< 1,5 meses	± 15 dias
						A	B	C	D	E	F

Con la evaluación de los modos de falla con el uso de la matriz de riesgo expuesta y con ayuda del diagrama de decisión extraído de la SAEJA1012 mostrado en la figura 17. Se determina la asignación de tareas para los distintos modos de falla presentados.

Estas tareas se logran evidenciar en la tabla 5.

Figura 17 Diagrama de decisión RCM

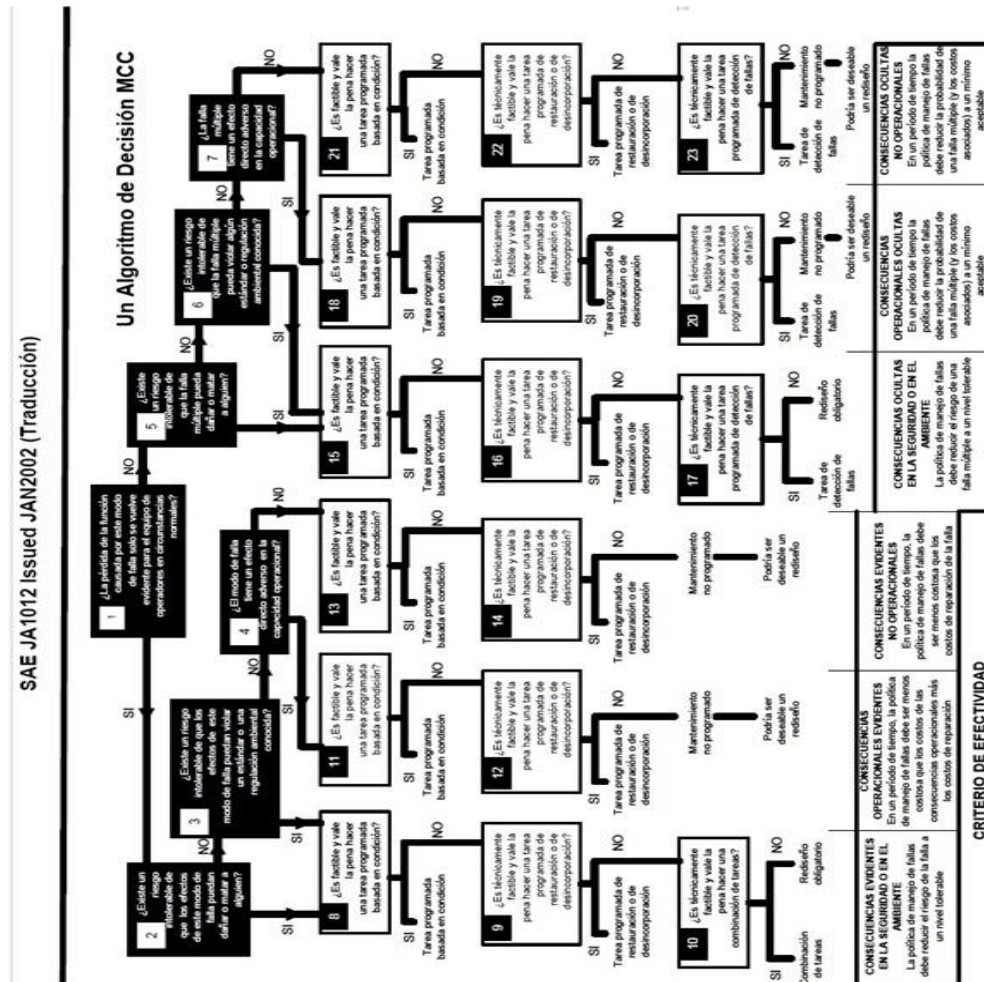


FIGURA 16— PRIMER EJEMPLO DE DIAGRAMA DE DECISION

## 5.4 Actividades programadas resultado del RCM

Tabla 5 Desarrollo del diagrama de decisión y descripción de tareas

Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Descripción Efectos	Evidencia	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS
Arrastrar la varilla de acero a través de los rodillos	Motor del sistema hidráulico no funciona	El aislamiento del motor está bajo y se está aterrizando	No se puede continuar producción de varilla ya que el sistema de arrastre no funciona	El sistema de rodillos no funciona, no hay movimiento	Monitorizar	Realizar meggeo al motor eléctrico	cada 3 meses	Técnico eléctrico - Megger
Arrastrar la varilla de acero a través de los rodillos	Se rompe rodamiento de uno de los rodillos no permite giro del rodillo de arrastre	El rodamiento llega al límite de su vida útil y se rompe la pista o el elemento rodante	La varilla se descarrila del juego de rodamientos y no continua en el proceso de producción	El sistema de arrastre no funciona adecuadamente	Monitorizar	Realizar cambio de rodamientos	mensual	Técnico Mecánico
Arrastrar la varilla de acero a través de los rodillos	No llega señal para activar la electroválvula	Mal estado del cableado, solenoide de la electroválvula quemado	El operador no logra identificar la señal de la electroválvula en la interfaz HMI	El sistema de arrastre funciona sin tener claros los parámetros	Monitorizar	Realizar inspección de continuidad y visuales del cableado	Diario	Técnico eléctrico

Dar torsión a la varilla	Varilla no cumple estándar de aceptación por falta de torsión	Rodillos desgastados en la rodadura	La varilla pasa muy suave por los rodillos y al medir no se obtienen las medidas del estándar para aprobar el producto	Las medidas de las varillas no corresponden	Monitorizar	Inspección visual del estado de los rodillos, solicitar importación de rodillos y dejar en stock	Diario	Técnico Mecánico
Dar torsión a la varilla	Menor presión a la que se requiere para torsionar la varilla	Fuga en racores o empaques del sistema hidráulico	La varilla no se ajusta correctamente a la rodadura de los rodillos, y no se genera la torsión suficiente para mover la varilla	El sistema no genera torsión	Monitorizar	Revisión de los racores y empaques del sistema hidráulico	Diario	Técnico Mecánico
Enviar al HMI de ubicación de la varilla	No llega señal al tablero HMI sobre la posición de la varilla	Potenciómetro lineal del sistema no envía señal por desgaste del cardan de unión	El operador no ve la señal de posición correcta de la varilla en el tablero HMI	No se ve señal de la posición	Monitorizar	Revisar cableado y estado de los sensores internamente	Semanal	Técnico Eléctrico
Enviar al HMI de ubicación de la varilla	No llega señal al tablero HMI sobre la posición de la varilla	Desgaste mecánico de cardanes que se unen al potenciómetro lineal excesivo	El operador no ve la señal de posición correcta de la varilla en el tablero HMI	No se ve señal de la posición	Monitorizar	Revisar ajuste de los cardanes y juego con el sensor	Mensual	Técnico Mecánico

## **5.5 ANALISIS DE RESULTADOS**

Con el desarrollo de este RCM se logra evidenciar que una gestión efectiva de un mantenimiento preventivo programado puede llegar a mitigar de manera significativa la falta de disponibilidad de la máquina.

Algunas de las frecuencias de las actividades son de carácter diario o semanal lo que llevaría a buscar la forma de crear un plan de mantenimiento productivo total y lograr que los operadores ejecuten algunas de dichas tareas y así evitar tiempos muertos por falta de personal técnico.

## **6. CONCLUSIONES**

- Con los resultados del RCM, se ejecutan las actividades de mantenimiento preventivo programado en las máquinas estribadores MEP, haciendo seguimiento al sistema de arrastre de la máquina, evidenciando mejoras en los tiempos de disponibilidad.
- Muchas de las piezas de estas máquinas son importadas, es por esta razón se organizó e implemento la gestión de almacén, permitiéndonos tener un mejor consolidado del inventario de repuestos que se utilizan con mayor frecuencia. Y con esto controlar la cantidad de repuestos disponibles para las tareas de mantenimiento correctivo programado.
- Generamos eficiencias en la compra de repuestos centrándonos en la teoría del justo a tiempo.



## **BIBLIOGRAFIA**

1. SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.
2. MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P.7
3. NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1
4. GONZALES JAIMES, Isnardo. Seminario II Monografía de Especialización, Bucaramanga Universidad Industrial de Santander, 2011.
5. ORTIZ, Daniel. “Guía Práctica de Mantenimiento Centrado en confiabilidad” - Memorias. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2016; 28 p.