



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar  
la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción  
de barras de construcción N°1 de Siderperu, provincia del Santa,  
departamento de Ancash”**

**Presentado Por:**

**Bach. Guillermo Arturo Martínez Arboleda**

**Asesor:**

**MSc. Ing. Oscar Méndez Cruz**

**Lambayeque - Perú**

**2023**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

### **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, provincia del Santa, departamento de Ancash”**

**Autor:**

**Bach. Guillermo Arturo Martinez Arboleda**

**Aprobado por el Jurado Examinador:**

**Presidente : Msc. Carlos Yupanqui Rodríguez**

**Secretario : Msc. Egberto Serafín Gutiérrez Atoche**

**Miembro : Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco**

**Asesor : Msc. Oscar Méndez Cruz**

**Lambayeque – Perú**

**2023**



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, provincia del Santa, departamento de Ancash”**

## Contenidos

Capítulo I :Problema de Investigación

Capítulo II :Marco Teórico

Capítulo III :Marco Metodológico

Capítulo IV :Situación Actual de la Empresa.

Capítulo V :Propuesta de Solución del Problema

Capítulo VI :Conclusiones y Recomendaciones

Autor : Bach. Guillermo Arturo Martínez Arboleda

---

Msc. Carlos Yupanqui Rodríguez  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco  
**MIEMBRO**

---

Msc. Egberto Serafín Gutiérrez Atoche  
**SECRETARIO**

---

Msc. Oscar Méndez Cruz  
**ASESOR**

Lambayeque -Perú  
2023

## **DEDICATORIA**

A mis padres que siempre son el soporte para poder conquistar desafíos, a mi esposa e hijo que son las personas que están a mi lado para darme la fuerza y motivación para continuar esforzándome y luchando por lo que quiero, y a nuestro creador por bendecirme cada día.

## **AGRADECIMIENTO**

A la familia de mi esposa por todo el apoyo y comprensión que mostraron en el desarrollo de este trabajo de investigación. A mis ex compañeros de trabajo por ser parte de mi desarrollo y crecimiento profesional y a mi asesor el Ing. Oscar Méndez por el soporte brindado durante el proceso del desarrollo de la misma.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se propuso el desarrollo e implementación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), debido a que se tiene una baja disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de Barras de Construcción N°1. El objetivo principal de la investigación es mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de Barras de Construcción N°1, para ello fue necesario utilizar algunas herramientas de análisis como el diagrama de Pareto, diagrama de causa-efecto o Ishikawa y la matriz de priorización de causa-raíz; con estas herramientas se definieron los equipos, elementos y los principales problemas presentes en la línea de producción de Barras de Construcción N°1. La metodología utilizada fue la desarrollada por John Moubray en su libro de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad; donde determina como desarrollar los modos de fallo de los equipos o elementos y a elaborar la hoja de decisión del RCM. Cabe precisar que para determinar que tipo de metodología o estrategia de mantenimiento se debe aplicar a los equipos o activos, Luis Mora en su libro de Mantenimiento, Planeación, Control y Ejecución, brinda las herramientas para sustentar la metodología adoptada.

Se seleccionó 12 equipos de los cuales 77 elementos que los componen son los que generan los mayores problemas en la línea de producción de Barras de Construcción N°1. A los elementos en mención acorde a su criticidad evaluada, modo de fallo y hoja de decisión del RCM, se le asignó una tarea específica de mantenimiento con la finalidad de prevenir o eliminar la causa de la falla. Por último, la evaluación económica de la inversión genera un retorno de la inversión en 27 días y un margen de utilidad neta en el primer año de \$ 510,337.22 que al tipo de cambio en nuestra moneda es S/1,959,694.92, por ello la propuesta en este trabajo de investigación resulta viable.

Palabras claves: RCM, disponibilidad y confiabilidad.

## **ABSTRACT**

The present research work proposed the development and implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology, due to the low availability of the mechanical equipment of the production line of Construction Bars No. 1.

The main objective of the research is to improve the availability of the mechanical equipment of the production line of Construction Bars No. 1, for this it was necessary to use some analysis tools such as the Pareto diagram, cause-effect diagram or Ishikawa and the root-cause prioritization matrix; With these tools, the equipment, elements and the main problems present in the production line of Construction Bars No. 1 were defined. The methodology used was the one developed by John Moubray in his book Reliability Centered Maintenance; where it determines how to develop the failure modes of the equipment or elements and to prepare the RCM decision sheet. It should be noted that in order to determine what type of maintenance methodology or strategy should be applied to equipment or assets, Luis Mora in his Maintenance, Planning, Control and Execution book provides the tools to support the adopted methodology.

12 teams were selected, of which 77 elements that compose them are the ones that generate the biggest problems in the production line of Construction Bars No. 1. The elements in question according to their evaluated criticality, failure mode and RCM decision sheet, were assigned a specific maintenance task in order to prevent or eliminate the cause of the failure.

Finally, the economic evaluation of the investment generates a return on investment in 27 days and a net profit margin in the first year of \$510,337.22, which at the exchange rate in our currency is S/1,959,694.92, therefore the proposal in this research work is feasible.

**Keywords:** RCM, availability and reliability.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
1. CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. Formulación del Problema Principal .....	17
1.2.2. Formulación de Problemas Específicos .....	17
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
1.3.1. Aspectos generales de la Empresa .....	18
1.3.2. Área de estudio .....	21
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANTACIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.4.1. Justificación Técnica.....	22
1.4.2. Justificación Económica. ....	22
1.4.3. Justificación Ambiental .....	23



1.4.4.	Justificación Social .....	23
1.5.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.6.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.6.1.	Objetivo General.....	23
1.6.2.	Objetivos Específicos.....	24
2.	CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIOS .....	25
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	25
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	27
2.2.	DESARROLLO DE LA TEMÁTICA CORRESPONDIENTE AL TEMA DESARROLLADO.....	29
2.2.1.	Proceso de Laminación de productos largos.....	29
2.2.2.	Mantenimiento .....	34
2.2.3.	Tipos de mantenimiento.....	35
2.2.4.	Plan de Mantenimiento .....	38
2.2.5.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) .....	39
2.2.6.	Indicadores de mantenimiento .....	46
2.3.	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA .....	47
3.	CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	51
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.1.1.	Investigación Explicativa.....	51

3.1.2.	Investigación Aplicada.....	51
3.1.3.	Investigación Descriptiva.....	51
3.2.	POBLACIÓN MUESTRA.....	51
3.3.	HIPOTESIS.....	53
3.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	54
3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.6.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	58
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	59
4.	CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA .....	60
4.1.	IMPACTO ECONÓMICO.....	60
4.2.	DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS .....	62
4.3.	CAUSAS PRINCIPALES DE LA BAJA DISPONIBILIDAD.....	64
4.3.1.	Jerarquización de las causas del problema.....	67
4.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL.....	68
5.	CAPITULO V: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .....	72
5.1.	JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA. ....	72
5.2.	SELECCIÓN DE LA MEJOR METODOLOGÍA .....	72
5.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL RCM.....	76
5.3.1.	Designación de los integrantes del equipo de trabajo.....	77
5.3.2	Selección de los sistemas o equipos.....	78

5.3.3	Desarrollo del análisis de modos y efectos de falla AMEF .....	86
5.3.4	Aplicación del árbol lógico de decisiones del RCM.....	100
5.4	ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	108
5.4.1	Repuestos y herramientas. ....	118
5.5.	RESULTADOS ESPERADOS DE LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.	118
5.5.1.	Evaluación de escenarios. ....	119
5.6.	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	121
6.	CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	125
6.1.	CONCLUSIONES .....	125
6.2.	RECOMENDACIONES .....	126
	BIBLIOGRAFÍA .....	128
	ANEXOS .....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Listado equipos de la línea de producción.....	52
Tabla 2 Listado de variables dependientes e independientes.....	55
Tabla 3 Listado de instrumentos empleados.....	58
Tabla 4 Matriz de priorización de causa raíz.....	68
Tabla 5 Cantidad de muestras y MTBF.....	74
Tabla 6 Valores de la regresión lineal.....	75
Tabla 7 Equipos mecánicos que causan las mayores paradas no programadas.....	80
Tabla 8 Resultado del análisis de criticidad.....	86
Tabla 9 AMEF Eje de transmisión mesa.....	86
Tabla 10 AMEF Cadenas de transferencia.....	86
Tabla 11 AMEF Bomba de presión.....	87
Tabla 12 AMEF Válvulas direccionales.....	88
Tabla 13 AMEF Cilindros hidráulicos.....	88
Tabla 14 AMEF Bomba de recirculación.....	89
Tabla 15 AMEF Intercambiador de calor.....	90
Tabla 16 AMEF Tuberías hidráulicas.....	90
Tabla 17 AMEF Mangueras de presión.....	91
Tabla 18 AMEF Brazo kick off.....	91
Tabla 19 AMEF Reductor principal.....	92
Tabla 20 AMEF Bomba de lubricación.....	93
Tabla 21 AMEF Intercambiador de calor.....	93
Tabla 22 AMEF Intercambiador de calor.....	94
Tabla 23 AMEF Bomba de lubricación.....	94
Tabla 24 AMEF Intercambiador de calor.....	95

Tabla 25 AMEF Tuberías .....	95
Tabla 26 AMEF Alargaderas .....	96
Tabla 27 AMEF Acoples trébol.....	96
Tabla 28 AMEF Soporte de acoples trébol.....	97
Tabla 29 AMEF Zapata 1 .....	98
Tabla 30 AMEF Zapata 2 .....	99
Tabla 31 AMEF Rodillos de entrada .....	100
Tabla 32 Hoja de decisión de la Mesa de carga.....	100
Tabla 33 Hoja de decisión de la Central hidráulica del horno.....	101
Tabla 34 Hoja de decisión del Kick off .....	103
Tabla 35 Hoja de decisión del Tren 450 .....	104
Tabla 36 Hoja de decisión de la Central de lubricación del Tren 450.....	104
Tabla 37 Hoja de decisión de la Central de lubricación Danieli.....	105
Tabla 38 Hoja de decisión del Tren 450 .....	106
Tabla 39 Hoja de decisión del Tren 450 .....	107
Tabla 40 Hoja de decisión del Tren 450 .....	108
Tabla 41 Plan de mantenimiento. Fuente. Elaboración propia .....	109
Tabla 42 Repuestos y herramientas .....	118
Tabla 43 Egresos por la implementación del RCM.....	118
Tabla 44 Beneficio escenario conservador .....	120
Tabla 45 Beneficio escenario ideal .....	120
Tabla 46 Beneficio escenario optimista.....	121
Tabla 47 Beneficio por implementación de la propuesta.....	122
Tabla 48 Participación del beneficio por la implementación de la propuesta .....	122
Tabla 49 Flujo de Caja Proyectado (\$) .....	123

Tabla 50 Indicadores Financieros .....	124
Tabla 51 Período de Recuperación de la Inversión .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de Siderperú .....	19
Figura 2 Organigrama Siderperu .....	20
Figura 3 Estructura de la Planta de Laminación Largos .....	21
Figura 4 Organigrama del área de mantenimiento de la planta de laminación largos .....	22
Figura 5 Palanquilla de acero.....	30
Figura 6 Proceso de Laminación.....	30
Figura 7 Deformación de la palanquilla.....	31
Figura 8 Palanquilla con temperatura de laminación.....	31
Figura 9 Caja de laminación etapa desbaste .....	32
Figura 10 Caja de laminación tren intermedio.....	33
Figura 11 Mesa de enfriamiento de barras.....	34
Figura 12 Almacén de paquetes de barras .....	34
Figura 13 Evolución del mantenimiento.....	35
Figura 14 Tipos de mantenimiento .....	35
Figura 15 Formato AMFE .....	41
Figura 16 Evaluación cualitativa del riesgo.....	42
Figura 17 Criterio para la jerarquía de los activos.....	43
Figura 18 Hoja de decisión del RCM .....	43
Figura 19 Árbol de decisión del RCM.....	45
Figura 20 Horas de paros imprevistos respecto a horas programadas para producir.....	61
Figura 21 Perdidas por tonelaje no producido .....	61
Figura 22 Paros por problemas mecánicos .....	62
Figura 23 Horas de paradas por área.....	63
Figura 24 Disponibilidad de los equipos de la línea de producción .....	64

Figura 25 Diagrama de Ishikawa .....	65
Figura 26 Flujo de la planificación y programación del mantenimiento .....	71
Figura 27 Curva de la bañera o Davies .....	73
Figura 28 Diagrama de regresión lineal.....	75
Figura 29 Banda de aplicabilidad eficiente de la estrategia de mantenimiento.....	76
Figura 30 Equipo de trabajo para la implementación del RCM .....	77
Figura 31 Pareto de paradas mecánicas no programadas por área.....	78
Figura 32 Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos de la mesa de enfriamiento 1.....	79
Figura 33 Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos del Tren de Desbaste ...	79
Figura 34 Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos de Recalentamiento .....	80
Figura 35 Lista de elementos de los equipos del área de Recalentamiento .....	81
Figura 36 Lista de elementos de los equipos del área del Tren de Desbaste .....	82
Figura 37 Lista de elementos de los equipos del área de la Mesa de enfriamiento 1 .....	83
Figura 38 Análisis de criticidad de los elementos de los equipos de la Mesa de enfriamiento, Tren de desbaste y Recalentamiento .....	84



## INTRODUCCIÓN

Hoy en día es común observar el avance de las empresas del rubro industrial en temas relacionados con las mejoras en la gestión y optimización de la disponibilidad de los equipos y máquinas, dado que, el incremento de las fallas e incidentes en el manejo de equipos industriales ponen en riesgo el desarrollo de las actividades productivas, ya que una parada de línea inesperada, no solamente involucra la detención de la etapa de labores, si no también, el retraso de cumplimientos de objetivos, deterioro progresivo de los equipos, incremento en los costos operativos, extensión de los plazos de entrega e insatisfacción del cliente final, por ello es importante que toda organización industrial manufacturera cuente con metodologías que gestionen de forma correcta la mantenibilidad de sus equipos y máquinas y así se incremente su disponibilidad para la etapa productiva.

La presente investigación, titulada “Sistema de Gestión basado en la Metodología del RCM para mejorar la Disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N° 1 de SIDERPERU, Provincia del Santa, Departamento de Ancash”, se realizó dado que evidenciaba fallas en los procesos de mantenibilidad de los equipos lo cual generaba un bajo nivel de disponibilidad de los equipos presentes en la empresa, sobre todo, en la producción de las barras de construcción N° 1, por ello se planteó una propuesta de mejora en base a la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), para tal fin se efectuaron los siguiente capítulos en la investigación:

Capítulo I, se describió la realidad problemática de la empresa, enfocándose en la línea de producción que más presencia tienen en la empresa, que para el caso de estudio es la barra de construcción N° 1 con un 60% de participación, luego, se planteó las preguntas de investigación,

posteriormente se efectuó la descripción de la empresa SIDERPERÚ, la justificación de la investigación, limitaciones y objetivos.

En el Capítulo II se detalló el marco teórico que respalde la investigación, para ello se presentaron estudios previos relacionadas con las variables de la investigación tanto a nivel internacional como a nivel nacional, para posteriormente detallar los aportes teóricos científicos relacionados con la metodología RCM y procesos de fabricación de las estructuras de metal desarrolladas en la empresa.

En el Capítulo III se desarrolló el marco metodológico, en el cual se detallaron el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, la hipótesis, las variables de estudio, métodos y técnicas, además, del análisis de los datos obtenidos.

En el Capítulo IV muestra la situación actual de la empresa, el análisis de las causas raíz que generan la baja disponibilidad de los equipos mecánicos en la empresa, además, describe el proceso de mantenimiento actual de la organización.

Aunado a ello, en el Capítulo V se plantea la propuesta de mejora de la gestión del mantenimiento de los equipos en la empresa por medio del método RCM.

En el Capítulo VI se detallan las conclusiones y recomendaciones según los objetivos planteados en la investigación.

## **1. CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Siderperu es una planta siderúrgica ubicada en la ciudad de Chimbote, departamento de Ancash, está dedicada a la producción y comercialización de aceros de alta calidad, y sus productos son destinados a los sectores de construcción, minero e industrial; para el mercado local, así como el extranjero. Actualmente es una empresa de capitales extranjeros, donde la brasileña Gerdau posee el 90.03% de la participación convirtiéndose en la principal accionista (Ugarte, 2021). Gerdau es la mayor empresa brasileña productora de aceros y una de las principales proveedoras de aceros largos en América y de aceros especiales en el mundo.

La Barra de construcción representa alrededor del 85% del total de los productos vendidos por la empresa, además viene experimentando un crecimiento de ventas promedio de alrededor de 3.5% anual; por ello se ha convertido uno de los principales generadores de ingresos.

Siderperu posee dos líneas de producción de barras de construcción: barras de construcción 1 y barras de construcción 2; ambas líneas suman una producción promedio mensual de alrededor de 41,000 toneladas. Debido al alza de la demanda de la Barra, la empresa ha incrementado la producción de este producto en un promedio de 3% por año; cabe resaltar que no se está tomando en cuenta el año 2020 y 2021 por ser atípico debido a los efectos sufridos durante el estado de emergencia máximo por la COVID 19.

Este crecimiento de producción ha provocado nuevos problemas ante la necesidad de cumplir con los objetivos de producción. Como es el caso de la disponibilidad de los equipos mecánicos, cuyo porcentaje ha ido decreciendo hasta niveles inferiores a los establecidos por el área de mantenimiento. Esta problemática se debe a que el mantenimiento preventivo efectuado

no ha ido evolucionando acorde con las nuevas condiciones de trabajo de los equipos, generando un incremento del número de paradas no programadas y como consecuencia de ello no cumplir con los volúmenes de producción, generando insatisfacción del cliente interno con la gestión del área de mantenimiento.

La línea de producción de barras de construcción 1, produce el 60% de las barras, siendo la línea que posee la mayor capacidad de producción y además tienen un mayor número de paradas no programadas. Por tal motivo, desarrollar un sistema de gestión del mantenimiento basado en el RCM que se adapte a las condiciones de trabajo requeridas, se presenta como una oportunidad viable para incrementar los niveles disponibilidad de los equipos mecánicos en la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Formulación del Problema Principal**

¿Un Sistema de gestión basado en la metodología del RCM mejorará la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, Provincia del Santa, Departamento de Ancash?

### **1.2.2. Formulación de Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la situación actual de los equipos en términos de disponibilidad?
- ¿Cómo se identificarán los equipos críticos de la línea de producción de barras de construcción N°1?
- ¿Cómo se analizarán los fallos registrados y potenciales de cada uno de los equipos críticos?

- ¿Cómo se establecerá el plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la línea de producción de barras de construcción N°1?
- ¿Cómo se evidenciará el impacto generado por la implementación del Sistema de Gestión basado en el RCM en la línea de producción de barras de construcción N°1?
- ¿Cuál será el costo requerido para la implementación del Sistema de Gestión basado en el RCM en la línea de producción de barras de construcción N°1?

### **1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de la presente tesis ordinaria será realizado en la línea de producción de barras de construcción N°1 de la Empresa Siderperu, Provincia del Santa, Departamento de Ancash

#### **1.3.1. Aspectos generales de la Empresa**

Siderperu es una planta siderúrgica ubicada en la ciudad de Chimbote, departamento de Ancash, está dedicada a la producción y comercialización de aceros de alta calidad, y sus productos son destinados a los sectores de construcción, minero e industrial; para el mercado local, así como el extranjero. Es considerada un complejo siderúrgico debido que dentro de sus instalaciones posee un Alto Horno y un Horno Eléctrico, además de instalaciones de reducción, aceración y laminación de productos largos de acero; así como fabricación de productos tubulares, viales.

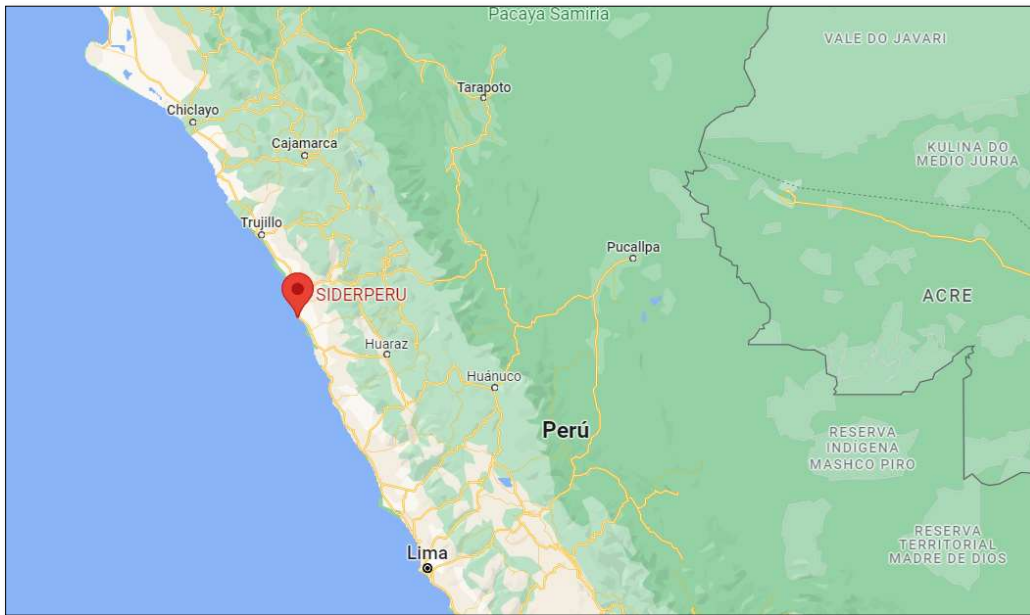
En el Perú existen dos productores principales de acero como son: Siderperu y la Corporación Aceros Arequipa S.A, también existen empresas independientes que importan acero para ofrecerlo al mercado peruano y así poder atender la demanda nacional. Dentro de este contexto, la participación en el mercado de Siderperu durante el 2021 abarco cerca del 40% de la demanda nacional (Ugarte, 2021).

- Ubicación Geográfica

La planta siderúrgica Siderperu está ubicada en la ciudad de Chimbote, departamento de Ancash, como se muestra a continuación:

**Figura 1**

Ubicación geográfica de Siderperú



*Nota.* Tomado de Google Maps.

- Objetivos Empresariales

El principal objetivo de la organización es ofrecer productos de alta calidad para satisfacer las necesidades de todos sus clientes. " (Escajadillo & Ramírez, 2022)

- Organigrama.

En la figura 1.2 se muestra cómo se encuentra organizada la empresa.

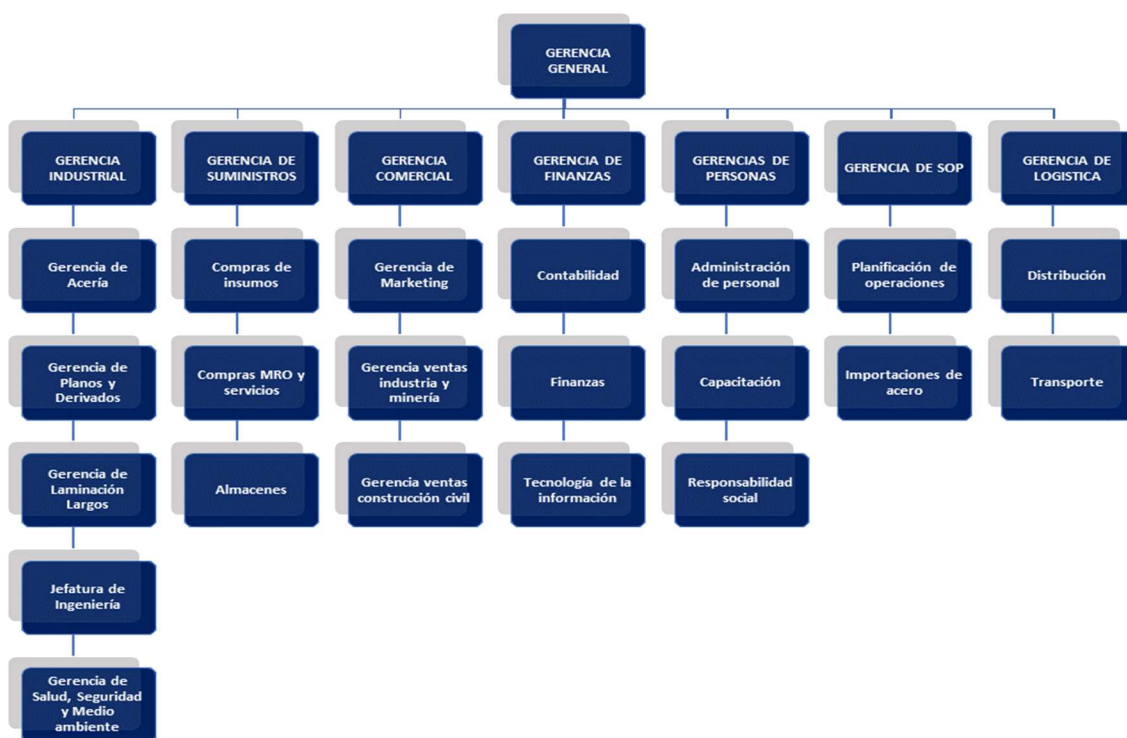
- Servicios

Dentro los productos y servicios que ofrece Siderperu se encuentran:

- Para la construcción: Fierro corrugado, fierro de construcción, fierro habilitado y malla electrosoldada
- Para la minería: Barras y bolas mineras
- Para la industria: Tubos galvanizados mecánicos, tubos LAC & galvanizados, tubos LAC mecánicos y tubo LAF mecánico.

**Figura 2**

*Organigrama Siderperu*



*Nota.* Modificado de Siderperu 2022.

- **Certificaciones.**

Para poder garantizar la calidad de sus productos la empresa cuenta con las siguientes certificaciones (Ugarte, 2021):

- Sistemas Integrales para la Gestión de: Calidad (ISO 9001), Ambiental (ISO 14001) y Seguridad (ISO 45001)

- Laboratorios de ensayos y calibraciones con acreditación INACAL bajo el estándar ISO 17025
- Actividades de inspección con acreditación INACAL bajo el estándar ISO 17020
- Edificaciones acondicionadas acorde a los criterios de la certificación Green Building Council
- Dimensiones de barras de acero corrugado para hormigón armado acorde con lo establecido por la norma NB 732:2017
- Dimensiones de barras de acero corrugado para drenaje y alcantarillado acorde con lo establecido por la norma NB 1217002:2010
- Dimensiones de barras de acero corrugado para drenaje y alcantarillado acorde con lo establecido por el estándar ASTM A760/A760M-15.

### 1.3.2. Área de estudio

La Planta de Laminación Largos está conformada por las áreas operativas: barras de construcción 1, barras de construcción 2, Taller de cilindros y Guiados, Procesos auxiliares y Mantenimiento.

### Figura 3

Estructura de la Planta de Laminación Largos



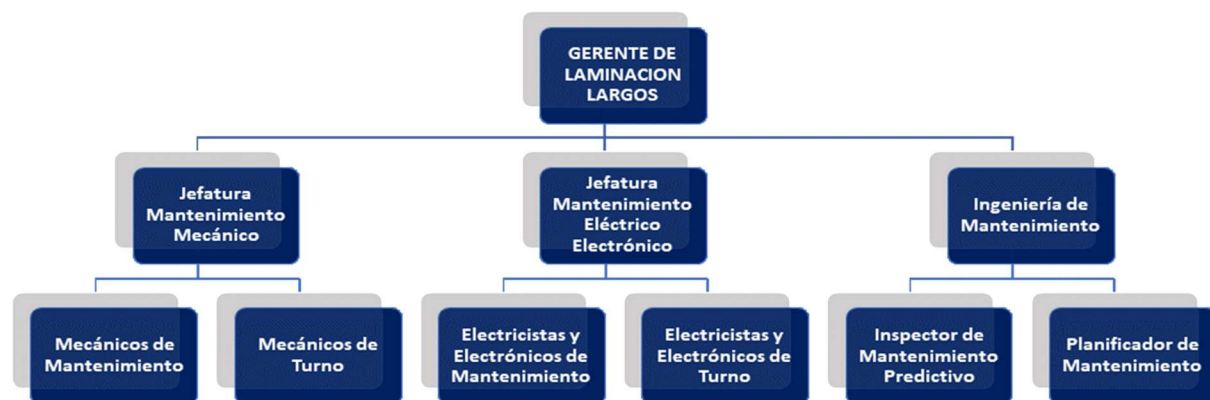
*Nota.* Modificado de Siderperu, 2022.



El área a estudiar en el presente trabajo de tesis es la de mantenimiento de la planta de laminación, debido a que las actividades profesionales del titulado fueron realizadas en la misma. La misma que es responsable de garantizar la operatividad de los equipos y activos de la planta. Para lo cual, su estructura está compuesta por dos subáreas: mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico electrónico de acuerdo con el organigrama mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**<sup>4</sup>.

**Figura 4**

Organigrama del área de mantenimiento de la planta de laminación largos



*Nota.* Modificado de Siderperu, 2022.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANTACIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1. Justificación Técnica.

Mantener un elevado nivel de disponibilidad de los equipos mecánicos que conforman la línea de producción de barras de construcción 1, que permitirá mejorar la producción de la misma al poder trabajar una mayor cantidad de horas de forma continua.

### 1.4.2. Justificación Económica.

Al tener un número reducido de fallos en los equipos de la línea de producción de barras de construcción N°1, se generará un ahorro de los costos asociados a reparaciones, a su vez, el

número de paradas no programadas se reducirá, lo que favorecerá a no tener retrasos de la producción y se reducirán los costos asociados a multas generadas por la emisión de gases o fluidos contaminantes al medio ambiente.

#### **1.4.3. Justificación Ambiental**

Mantener a los equipos de la línea de producción de barras de construcción N°1 en un estado óptimo, es decir, sin fallos que provoquen la emisión de fluidos tóxicos y/o nocivos para el ambiente y los trabajadores, esta es una de las grandes ventajas que se tienen en una empresa al implementar un sistema de gestión del mantenimiento que busca cuidar la vida útil de los equipos.

#### **1.4.4. Justificación Social**

El presente trabajo servirá como fuente de información para futuras investigaciones, además al mantener equipos sin fallos reduce la probabilidad de afectar los recursos de poblaciones circundantes a la planta.

### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Dentro de la presente investigación debido al gran tamaño de la planta únicamente el análisis de equipos se realizará para la línea de producción de barras de construcción N°1. Así como también, el nivel de información de indicadores productivos y de mantenimiento medidos será limitado debido a temas de confidencialidad de la Empresa.

### **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.6.1. Objetivo General**

“Desarrollar un sistema de gestión basado en la metodología del RCM para mejorar la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, Provincia del Santa, Departamento de Ancash”

#### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el nivel actual de disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción N°1.
- Determinar el nivel de criticidad de los equipos mecánicos de la línea de producción N°1 mediante el cálculo del índice de criticidad.
- Desarrollar el análisis de modos y efectos de fallo (AMFE) para cada uno de los equipos mecánicos críticos.
- Elaborar y establecer el plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM de los equipos mecánicos críticos de la línea de producción N°1.
- Calcular la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción N°1 posterior al desarrollo del sistema de gestión basado en el RCM.
- Realizar un análisis de los costos requeridos para la implementación del Sistema de Gestión basado en el RCM en la línea de producción N°1.

## **2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Muso y Otavalo (2018). “**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL TREN DE LAMINACIÓN DE PRODUCTOS PEQUEÑOS LPP DE LA EMPRESA NOVACERO**”. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Mecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi

Análisis: El objetivo de principal de la investigación fue elaborar un plan de mantenimiento preventivo, para reducir las paras por fallos, averías y mal funcionamiento en el proceso productivo del tren de laminación. El tren de laminación está encargado de producir barras cuadradas y pletinas de varios tamaños, cuya comercialización se realiza en el sector local y extranjero., por lo tanto, cualquier avería generada en el tren de laminación es el máximo responsable de las paradas de planta y pérdidas de productividad.

Para cumplir con el objetivo principal se ha empleado la herramienta AMFE de la metodología RCM donde se han categorizado cada una de las funciones, problemas o fallos asociados y causas que pueden presentar los diferentes equipos presentes en la línea de producción. Para cada fallo potencial se establecen tareas de mantenimiento tomando en consideración la experiencia del personal y las recomendaciones del fabricante, para establecer frecuencias y periodicidad se emplea el mismo criterio. Finalmente, con el uso de software DATASTREAM se

han generado ordenes de trabajo que permiten realizar el seguimiento del cumplimiento de las actividades.

Conclusiones: Implementar un plan de mantenimiento aporta de forma considerable a reducir el número de paradas de planta ya que se mantiene en mejor estado cada uno de los componentes y equipos. Además, el uso de indicadores favorece a contrastar las diferentes situaciones como es el caso del periodo de enero-abril del año 2018 contra de septiembre-diciembre del año 2017. Y así identificar oportunidades de mejora y problemas.

Romano (2020). **“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BAJO LA NORMA ISO 9001:2015 PARA LA COPORACIÓN ACEROS DE GUATEMALA S.A”**. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Mecánica en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Análisis: El objetivo principal fue el diseño de un plan de mantenimiento preventivo acorde a la Norma ISO 9001: 2015 para la línea de laminación de Aceros de Guatemala S.A. Para lo cual, la metodología empleada comienza con la determinación de la línea de producción a analizar, la revisión de los partes de averías y registros de hojas de paros mediante los cuales se determinó el grado de eficiencia de cada máquina. Para la determinación del grado de eficiencia se emplearon otros indicadores como es el caso de la disponibilidad y calidad. Una vez obtenidos los datos se realizó un análisis de criticidad considerando: grado de operación, calidad del producto, régimen de trabajo, frecuencia de operación, interrupciones y costos de reparación lo que permitió se jerarquizar el nivel de criticidad de los equipos.

Mediante la revisión de la planificación de la planta y la información suministrada por los manuales de fabricantes, se determinaron: las tareas de mantenimiento, stock de respuestas críticos

y frecuencia de ejecución considerando las paradas de planta que se tienen en la planta. Con el fin de favorecer el seguimiento y comprobación de la ejecución de las tareas determinadas con ayuda del software SAP/RM se han creado ordenes de mantenimiento que deben ser llenadas y archivadas.

Conclusiones: Se concluyó que la falta de planificación del área de mantenimiento ha sido el mayor responsable de la generación de parada de plantas. Debido a que la forma de gestionar los activos ha sido errónea ya que la única forma de mantenimiento realizado era correctivo una vez ocurrido el fallo, además de no contar con documentación necesaria para un control y seguimiento de las actividades. Y al tener una planta con 64 equipos críticos (73% del total) es necesario la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Pumazon y Villegas (2020). **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL LAMINADOR 2 - SIDERPERU, CHIMBOTE”**. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad César Vallejo, Perú.

Análisis: La presente investigación tuvo como objetivo principal demostrar que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la Confiabilidad de los equipos eléctricos del Laminador 2 – Siderperu, Chimbote 2020. Para lo cual, evaluó los procedimientos del mantenimiento de la empresa Siderperu. Empleando un diseño preexperimental, tomando como referencia los partes de averías y fallos mediante los cuales se calcularon diferentes indicadores de gestión como los frecuencia y consecuencia, Estos a su vez, permitieron determinar

el nivel de criticidad de los equipos, siendo el transportador 1 el de mayor criticidad. Adicionalmente, se incluyeron nuevos indicadores como lo son el MTBF y MTTR.

Para el establecimiento de tareas y frecuencias del plan de mantenimiento se consideraron las paradas de planta y las recomendaciones del fabricante. Dando como resultado frecuencias que varía de 1 día a 5 días en intervalos; y se generaron ordenes de trabajo en el software SAP.

Conclusión: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo genero una mejora de 20 % en términos de confiabilidad en cada uno de los activos. Demostrando así que el uso de indicadores de mantenimiento permite identificar oportunidades de mejora y facilita la identificación de problemas.

Pedraza (2018). **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE LA CONFIABILIDAD PARA EL ÁREA DEL DIMENSIONADO DE LA CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.”**. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte, Perú.

Análisis: La presente investigación tuvo como objetivo principal implementar un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el área de dimensionado de la Corporación Aceros de Arequipa S.A. Para lo cual, la metodología a seguir consta de 7 etapas claramente definidas. Partiendo de la definición y designación del equipo RCM encargados de definir y delimitar la línea de producción sobre la cual se ejecutará el análisis. Para un posterior análisis de criticidad de los activos empleando como criterios de evaluación: frecuencias de fallo, costos de reparación y grado de consecuencias. Una vez fueron identificadas las máquinas críticas

se emplea la herramienta AMFE, donde se detalla la función, modos de fallos y causas de fallo que poseen cada uno de los sistemas de los equipos críticos.

Para un posterior análisis del tipo de consecuencias (operacionales, seguridad, fallo oculto y no operacionales) que tienen los fallos y complementados por la experticia del personal y le manual de mantenimiento establecer las tareas de mantenimiento a ejecutar. Para finalmente, establecer indicadores de seguimiento (MTBF, MTTR, Confiabilidad y Disponibilidad) y generar ordenes de trabajo que permitan comprobar la ejecución de las tareas.

## **2.2. DESARROLLO DE LA TEMÁTICA CORRESPONDIENTE AL TEMA DESARROLLADO**

### **2.2.1. Proceso de Laminación de productos largos.**

Enríquez et al. (2010) definen los productos largos a aquellos en los que las dimensiones que conforman su sección transversal resultan ser más pequeña en comparación con el tamaño de su longitud. La forma de la sección es maciza y puede poseer variadas formas: Pletina, cuadrado, rectangular, circular, oval, U, T, I, doble T, angular, corrugado, etc.

En el caso en estudio, el proceso de laminación de productos largos de la planta transforma una palanquilla de acero de dimensiones transversales de 130mm x130 mm y longitud de 5400 mm en producto terminado con la forma y características de la barra de construcción o fierro corrugado. Esta transformación se realiza a través de un proceso de deformación donde la temperatura es un parámetro crítico a seguir. El proceso de laminación inicia en la etapa de recalentamiento, suministrando la palanquilla a temperaturas comprendidas entre 1120 a 1170 °C, las próximas etapas son los trenes de desbaste, intermedio y acabador. En estas etapas la palanquilla pasa entre dos rodillos generándose una fuerza de compresión que permite la



deformación del material como se muestra en la figura adjunta, y por último se presenta la etapa de la mesa de enfriamiento y acabados, donde el producto finalmente es preparado a medida y empacado.

**Figura 5**

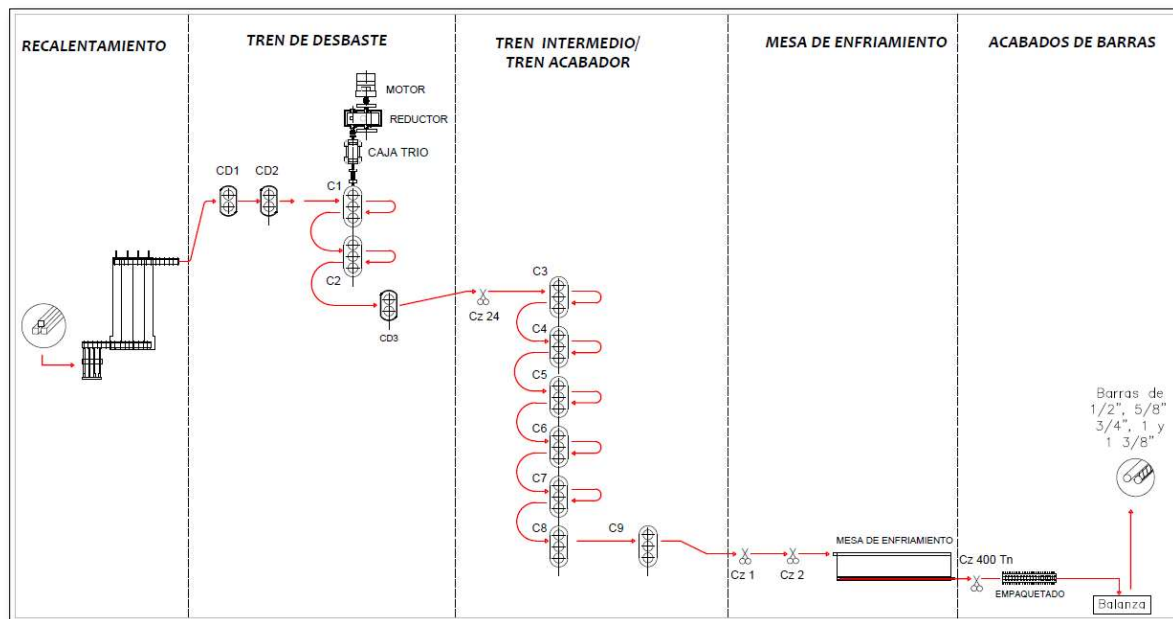
Palanquilla de acero



*Nota.* Tomado de Siderperu 2022.

**Figura 6**

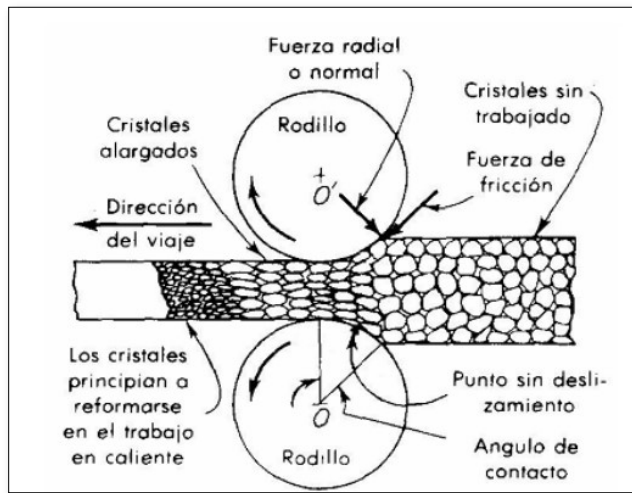
*Proceso de Laminación*



*Nota.* Modificado de Siderperu, 2022.

**Figura 7**

Deformación de la palanquilla



*Nota.* Tomado de Díaz (2018).

A continuación, detallamos cada etapa del proceso:

### **Recalentamiento**

Es la etapa de inicio y está conformada por equipos como la mesa de carga, horno, sistema hidráulico, etc. La palanquilla ingresa al horno a través de la mesa de carga y los rodillos de entrada, en el interior la palanquilla es calentada a temperaturas comprendidas entre 1120 a 1170 °C, después es transportada a la etapa de desbaste.

**Figura 8**

*Palanquilla con temperatura de laminación*



*Nota.* Tomado de PANEL (2020).

### **Tren de Desbaste**

En esta etapa la palanquilla que sale de la etapa de recalentamiento ingresa a la caja de laminación Danieli 1 alojándose entre dos rodillos traccionados. Los rodillos se encargan de deformar la palanquilla hasta una sección determinada exigida por la calibración.

El recorrido que inicia en la caja de laminación Danieli 1 continua por la caja de laminación Danieli 2, sigue por las cajas del tren 450 caja 1 y caja 2.

### **Figura 9**

*Caja de laminación etapa desbaste*



*Nota.* Tomado de Sidenor (2022).

### **Tren intermedio**

La barra saliente de la etapa de desbaste ingresa a tren intermedio conformado por seis cajas de laminación horizontales. La palanquilla aún continua por un proceso de transformación producto de las deformaciones.

### **Figura 10**

*Caja de laminación tren intermedio*



*Nota.* Tomado de Sidenor (2022).

### **Tren acabador**

Esta etapa cuenta con dos cajas de rodillos cuya disposición es horizontal. En esta etapa la barra toma la sección comercial y la corruga en el cuerpo, así como algunas características técnicas exigidas por la norma.

### **Mesa de enfriamiento**

Etapa compuesta por las cizallas de corte caliente y la parrilla de enfriamiento. Las barras corrugadas son cortadas a 45 metros y depositadas en la parrilla de enfriamiento. Las barras en la

parrilla de enfriamiento pierden temperatura por la exposición de estas al ambiente, alcanzando valores comprendidos entre 150 °C a 350°C.

### **Figura 11**

*Mesa de enfriamiento de barras*



*Nota.* Tomado de Sidenor (2022).

### **Acabado de barras**

Las barras corrugadas provenientes de la mesa de enfriamiento ingresan a esta etapa donde son cortadas a las longitudes comerciales de 9 o 12 metros, el corte se realiza a través de una cizalla de corte en frío tipo guillotina. Finalmente, las barras cortadas a medida son atadas con la ayuda de máquinas neumáticas, mecánicas o hidráulicas y se empaquetan para posteriormente ser enviadas al almacén de logística.

### **Figura 12**

*Almacén de paquetes de barras*



*Nota.* Tomado de Sidenor (2022).

## **2.2.2. Mantenimiento**

Según la normativa UNE EN 13306 el mantenimiento es definido como el conjunto de actividades y acciones de carácter técnico orientadas a incrementar la vida útil de una máquina o sistema mediante correcciones o reparaciones (Studocu, 2018). Este objetivo con el paso de los años ha provocado que el mantenimiento busqué convertirse en un sistema integral que incluya a la alta gerencia, mantenimiento y área de operaciones. En línea con esta idea Lozada (2017) afirma que si se desea alcanzar una gestión del mantenimiento con cero averías es prioritario y obligatorio involucrar a todas las áreas de la organización.

**Figura 13**

*Evolución del mantenimiento*

<b>TÉCNICAS ORIENTADAS AL:</b>			
Cuidado físico de la máquina		Cuidado del servicio que proporciona la máquina	
<b>1880 -1914</b>	<b>1914 - 1950</b>	<b>1950 -1970</b>	<b>1970 – En adelante</b>
<b>CORRETIVO (MC)</b>	<b>PREVENTIVO (MP)</b>	<b>PRODUCTIVO (PM)</b>	<b>PRODUCTIVO TOTAL (TPM)</b>
<b>Enfoque máquina</b>  Sólo se intervenía en caso de paro o falla importante.	<b>Enfoque máquina</b>  Con establecimiento de algunas tareas preventivas	<b>Enfoque al servicio que presentan las máquinas.</b> Importancia de fiabilidad para la entrega del servicio al cliente. Se busca la eficiencia económica en el diseño de la planta.	<b>Enfoque al servicio que presentan las máquinas.</b> Lograr eficiencia PM a través de un sistema comprensivo eficiente y participativo total de los empleados de producción y mantenimiento.

*Nota.* Tomado de Lozada (2017).

### 2.2.3. Tipos de mantenimiento

En la Figura adjunta, se puede observar las categorías en las cuales puede ser clasificado el mantenimiento.

**Figura 14**

*Tipos de mantenimiento*



*Nota.* Tomado de Lozada (2017).

## **Mantenimiento Preventivo**

Es el tipo de mantenimiento que se basa en la asignación de tareas preventivas o predictivas (ensayos no destructivos) que eviten posibles fallos en los activos. Lozada (2017) comenta que esta estrategia se debe orientar siempre a reducir a eliminar fallos críticos, intolerables y/o significativas para una máquina o instalación. Para lo cual, requiere establecer la frecuencia y/o periodo de ejecución de las mismas. Una de sus principales limitaciones es su carácter invasivo, lo que obliga a planificar paradas de planta para poder efectuar las tareas de mayor complejidad y evitar las pérdidas económicas.

## **Mantenimiento Autónomo**

Se le puede considerar como una subcategoría del mantenimiento preventivo cuya principal característica es que no es invasivo, no genera paradas de planta, y puede ser efectuado por el operario antes o después de la jornada de trabajo en cortos periodos de tiempo. Bojórquez (2018) comenta que las actividades más generales en este tipo de mantenimiento son:

- Inspección
- Lubricación
- Limpieza
- Intervenciones menores (Cambio de piezas y partes que no requieran desmontaje)

El mayor desafío de este tipo de tareas radica en la capacitación que debe recibir el personal para ejecutar estas sencillas tareas sin errores, junto con el alto grado de compromiso que requiere ejecutar diariamente estas tareas. Lo que obliga a las organizaciones a generar campañas de concientización que permitan al operario entender la importancia de su labor en la gestión del activo.

### **Mantenimiento Correctivo**

Como su nombre lo dice es una técnica de mantenimiento ejecutado posterior a la avería o fallo. Para lo cual, puede tener dos tipos de actividades: reacondicionamiento y sustitución del elemento o parte a sus condiciones óptimas de funcionamiento. Bojórquez (2018) comenta que es una actividad reactiva ante el fallo, pero que no queda únicamente limitada a la corrección, sino que debe investigar el motivo del mismo para evitar que vuelva a surgir.

Es el tipo de mantenimiento que consume mayores recursos económicos, debido a que puede generar paradas de plantas, requiere de mano de obra calificado y gastos por la compra de repuestos. Lo que obliga al área de mantenimiento una planificación óptima del stock de repuestos para evitar prolongados periodos de paro debido a la falta de disponibilidad de los mismos. Además, Renovetec (2015) recomienda tener en cuenta que no todas las partes de un activo son mantenibles desde el enfoque preventivo, por tal motivo, es mejor esperar su fallo y reemplazarlo mediante acciones correctivas.



#### **2.2.4. Plan de Mantenimiento**

UNE EN 13306 lo define como la combinación de una serie de actividades de carácter técnico y estandarizadas (procesos, procedimientos, tiempos de acción y recursos) necesarios para ejecutar el mantenimiento de un activo (Studocu, 2018). Donde, las tareas a ejecutarse deben estar agrupadas en criterios a elección de quien lo establece. Lozada (2017) comenta que la gestión de un plan de mantenimiento se debe orientar a la reducción del total de averías de los sistemas que componen un activo.

Además, es importante que se enfoque en restablecer o recuperar las prestaciones que han perdido los equipos debido al fallo o desgaste de uno de sus elementos. Finalmente, no se deben escatimar esfuerzos en las tareas predictivas ya que son vitales para prevenir fallos causados por las condiciones de trabajo que soporta el activo.

Según Lozada (2017), se deben considerar los siguientes criterios para establecer las tareas de mantenimiento.

- Tomar en consideración las recomendaciones del fabricante.
- Guiarse en planes genéricos de mantenimiento de activos similares.
- Analizar los potenciales fallos y establecer criterios de confiabilidad.

Sin embargo, Renovetec (2015) sugiere que existen otros criterios a considerar como, lo son:

- Identificar actividades de rutina que se ejecutan diariamente ejecutadas por los operarios.
- Tareas preventivas realizadas durante las paradas programadas.

Adicionalmente a estos criterios es necesario considerar:

- Necesidad de permisos especiales para la ejecución: En caso de tener tareas puedan suponer riesgos eléctricos, trabajo en altura o espacios confinados.
- Paradas de planta planificadas: Debido a que es fundamental sincronizar las tareas más invasivas con las paradas planificadas por la empresa con el objetivo de reducir tiempos muertos y pérdidas económicas.
- Personal a cargo: Dependiendo del tipo de tarea a ejecutar se puede necesitar expertos en mecánica, electricidad, neumática, instrumentación, tareas predictivas y limpieza industrial.
- Tiempo de duración: Es un valor estimado que permite programar la duración de las paradas de planta, es recomendable que tenga un exceso en su consideración con el fin de evitar imprevistos.

#### **2.2.5. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

Reliability Centred Maintenance o RCM, como se lo conoce por sus siglas en inglés, es una estrategia de mantenimiento que mediante el uso de mantenimientos reactivos, preventivos, predictivos y proactivos busca incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una máquina. De esta forma, garantizando que los activos cumplan con sus funciones de diseño de una forma constante durante su ciclo de vida.

Chucas (2022) comenta que para poder implementarlo correctamente es necesario responder a 7 preguntas fundamentales:

- ¿Cuáles son las funciones operativas para las cuales fue diseñado el equipo o sistema considerado?

- ¿Cuáles son las posibles formas de fallo que pueden causar la parada de los equipos?
- ¿Cuáles han sido los posibles motivos o causa del fallo funcional registrado?
- ¿Cuál es la consecuencia generada por el fallo?
- ¿Cuáles son los efectos del fallo?
- ¿Cómo se puede solucionar o prevenir que el fallo se genere?
- ¿Cuál es el plan de acción a seguir en caso de no lograr solucionar el fallo?

Finalmente, Negrete (2020) comenta que uno de los aspectos más favorables de esta filosofía es que genera resultados cuantificables, intangibles y tangibles que se puede evidenciar en el incremento de productividad, disponibilidad, beneficios económicos y reducción de tiempos muertos.

### **Objetivos del RCM**

Esta filosofía busca cumplir con los siguientes objetivos:

- Cumplir con los grados de seguridad, niveles de disponibilidad y confiabilidad establecidos por la organización.
- Posterior al fallo, se debe restablecer de las funciones perdidas o deterioradas por un equipo para alcanzar un punto óptimo de desempeño.
- Adquirir los datos necesarios para mejorar el diseño de aquellos componentes donde su fiabilidad inherente resulta ser inadecuada.
- Reducir los costos asociados a mano de obra, pérdidas económicas y multas relacionadas con paradas de planta no programadas.

### **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE)**

Es un método de análisis que permite identificar los diferentes fallos que pueden presentar las funciones que cumple un equipo. Así como también, es una herramienta con la que se reconocen las posibles causas que detonaron ese fallo. Por lo general, presenta un formato estándar como el mostrado en la figura adjunta.

**Figura 15**

*Formato AMFE*

EQUIPO		Código	E.I.R.L. – XX – NCY
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)	CAUSA DE FALLO (FM)
1	FUNCIÓN 1	A	Modo de falla A
			1 Causa 1
			2 Causa 2
		B	Modo de falla B
			1 Causa 1
2	FUNCIÓN 2	A	Modo de falla A
			1 Causa 1

*Nota.* Tomado de Centeno (2022).

### **Análisis de criticidad**

Amendola et al. (2016) indica que se deben jerarquizar los activos de una planta, y para ello es indispensable definir un método que se utilice como herramienta. Cedeño y Gorozabel (2021) acota que una buena jerarquización de los activos permite realizar una acertada asignación de recursos facilitando la administración de cada uno de ellos. Además, es soporte para realizar mejoras y buenas tomas de decisiones en la gestión.

En términos matemáticos, la criticidad puede ser expresa por la siguiente ecuación:

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

Donde:

Frecuencia: Número de fallas por año

Consecuencia = ((Imp Operacional x Flexibilidad) + Costo Mtto + Imp SAH)

En la figura sigueinte se muestra los criterios empleados para la ponderación de cada una de las variables evaluadas. Cabe resaltar que para asignar la ponderación a cada una de las variables consideradas, se utilizó el historial de paradas no programadas y el criterio de colaboradores claves del área de mantenimiento de la planta.

**Figura 16**

*Evaluación cualitativa del riesgo*

<b>EVALUACION CAULITATIVA DEL RIESGO</b>			
<b>Criticidad Total = Frecuencia de Falla x Consecuencia</b>			
<b>Consecuencia = [(Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo Mtto + Imp SAS]</b>			
<b>Frecuencia de fallas:</b>		<b>Costo de Mantenimiento:</b>	
Pobre: Mayor a 5 Fallas / Año	4	Mayor o igual a 20,000.0 \$	2
Promedio 2 - 5 Fallas / Año	3	Inferior a 20,000.0 \$	1
Buena 1 - 2 Fallas / Año	2	<b>Impacto en la Seguridad, Ambiente y Salud (SAS):</b>	
Excelente menos de 1 Falla / Año	1	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	
<b>Impacto Operacional:</b>		Provoca lesión incapacitante y/o afectación sensible al medio ambiente	
Pérdida de Produccion ( Mayor a 19 Horas)	10	Afecta las instalaciones causando daños severos	
Pérdida de Produccion ( 13 a 18 Horas)	6	Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio	
Pérdida de Produccion ( 6 a 12 Horas)	4	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	
Pérdida de Produccion ( 1 a 6 Horas)	2	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al medio ambiente	
Pérdida de Produccion (menor a 1 Hora)	1		
<b>Flexibilidad Operacional:</b>			
No hay repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Repuesto disponible	1		

*Nota.* Adaptado de Cedeño y Gorozabel (2021).

La figura 17 se describe la jerarquización que está dada acorde al valor obtenido en el análisis, además clasifica a los equipos como: crítico, semi crítico y no crítico.

**Figura 17**

*Criterio para la jerarquía de los activos*

Jerarquizacion		Codigo	Descripcion	Valor
3		C :	Crítico	100 - 200
2		SC :	Semi Crítico	50 - 90
1		NC :	No Crítico	10 - 40

*Nota.* Adaptado de Gutiérrez et al. (2021).

## Árbol lógico de decisiones del RCM

Después de desarrollar el análisis de modos y efectos de fallas, se debe establecer una tarea de mantenimiento capaz de bloquear o minimizar el modo de falla encontrado. El árbol lógico de decisiones del RCM o diagrama de decisiones, sigue un orden secuencial donde establece que mantenimiento es el más idóneo para los modos de fallo encontrados. En la figura siguiente se muestra la hoja de decisión del RCM, en esta hoja se registra los resultados obtenidos de en cada uno de los pasos establecidos en el diagrama de decisión del RCM.

**Figura 18**

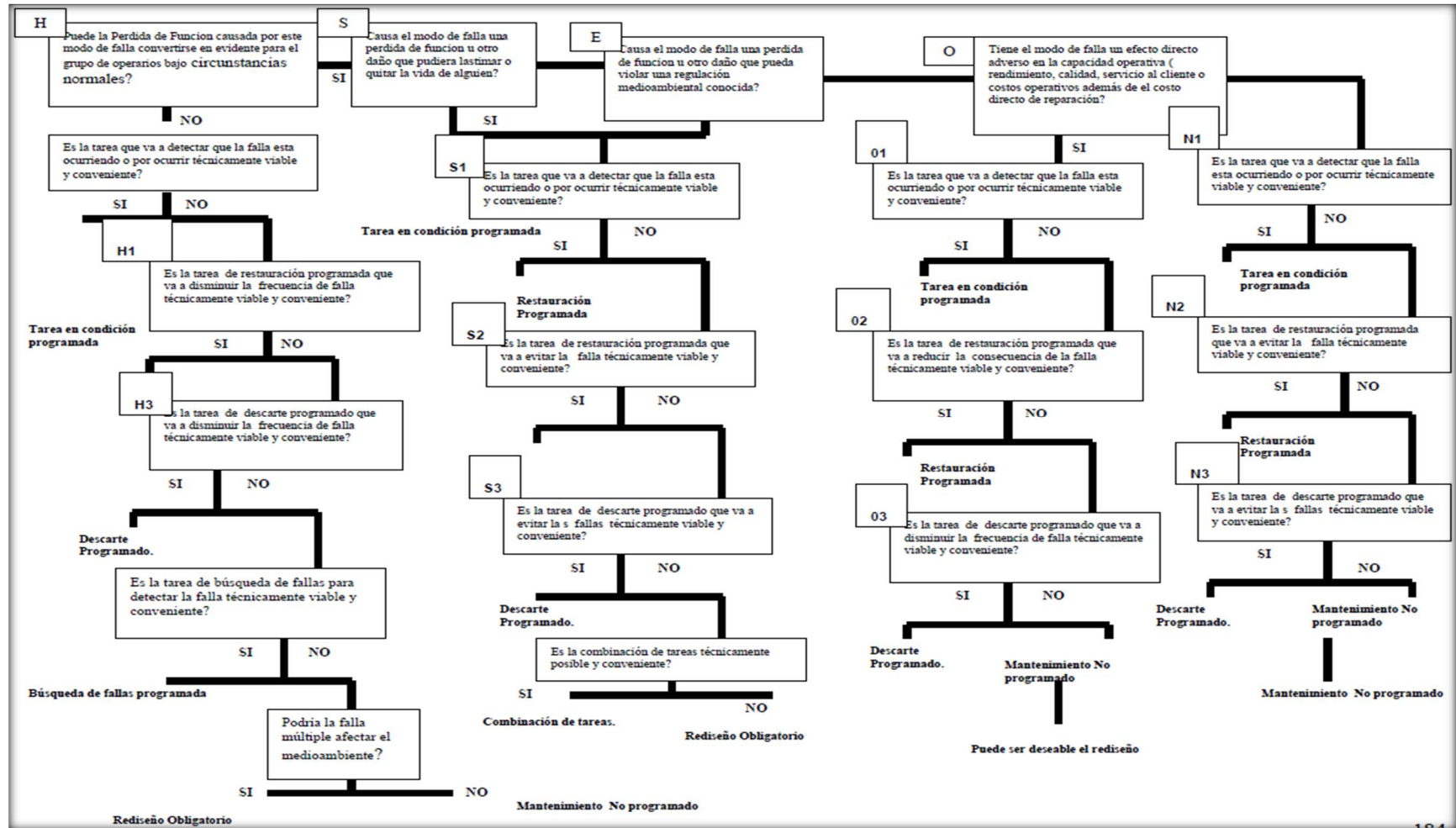
*Hoja de decisión del RCM*

<i>Planilla de decisión RCM II</i>		<b>Sistema</b>										Nº de sist.	Facilitador:	Fecha	Nº de hoja
		<b>Sub- Sistema</b>										Nº de sub. sist.	Auditor:	Fecha	De
<b>Referencia De informacion</b>			<b>Consecuencia de la evaluacion</b>				<b>H1 S1 O1 N1</b>	<b>H2 S2 O1 N2</b>	<b>H3 S3 O3 N3</b>	<b>Accion de Default</b>			<b>TAREA PROPUESTA</b>	<b>Intervalo Inicial</b>	<b>Puede ser realizado por</b>
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>FM</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>				<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>			

*Nota.* Adaptado de Molina (2017).

Figura 19

Árbol de decisión del RCM



Nota. Adaptado de Sánchez (2016).



### 2.2.6. Indicadores de mantenimiento

El autor González (2018) sugiere que posterior a cualquier implementación de un plan de mantenimiento es necesario definir variables que permitan cuantificar el impacto generado en la organización conocidos como “INDICADORES”. El carácter cuantitativo de las variables empleadas se debe a que con ellas se busca realizar mediciones que no caigan en subjetividades. De acuerdo con Palacios (2020) la importancia de estas variables radica en que permiten a los encargados del área de mantenimiento identificar con rapidez y precisión si las estrategias implantadas están cumpliendo con lo propuesto.

Por este motivo, es fundamental definir indicadores que caractericen a la implementación realiza. Es así que la empresa Valuekeep (2020) menciona que para sistemas de gestión de mantenimiento los indicadores ideales son: Tiempo Medio para Reparar (MTTR), el Tiempo Medio entre Fallos (MTTF) y la disponibilidad, cuyos rangos de aceptación o rechazo dependen estrictamente de los objetivos empresariales y son diferentes para cada caso.

#### **Tiempo Medio entre Fallos (MTBF)**

Indicador que permite estimar el tiempo promedio transcurrido durante una falla del sistema. Representa el periodo de tiempo promedio transcurrido desde la avería del activo hasta su reparación. Este es un parámetro muy relacionado con la disponibilidad de la máquina. Y es, a su vez, una variable que afecta significativamente a la fiabilidad del dispositivo. El plan de mantenimiento trata de maximizarlo. Su valor se puede calcular mediante la ecuación 2.1.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo perdido}}{\textit{Número de paradas}} \quad 2.1$$

### **Tiempo Medio para Reparar (MTTR)**

Este parámetro representa el tiempo promedio que tarda el área de mantenimiento en solucionar el daño de un elemento y devolverlo a su condición normal de funcionamiento. El tiempo total de mantenimiento comienza cuando ocurre el problema y termina cuando el artículo funciona correctamente. Se puede calcular usando la ecuación 2.2. El plan de mantenimiento intenta reducirlo a los niveles más bajos.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento correctivo}}{\textit{Número de acciones de reparación}} \quad 2.2$$

### **Disponibilidad**

Esta métrica se define como la porción de tiempo que una actividad está disponible para su uso y operación. Según Infraspark (2020), el objetivo real de disponibilidad de máquinas y equipos es de 0,9. Se puede calcular usando la ecuación 2.3.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad 2.3$$

## **2.3. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA**

De acuerdo con la Norma UNE EN 13306 la terminología establecida para un plan de mantenimiento queda establecida por los siguientes términos:

### **Mantenimiento**

La combinación de todas las actividades de ingeniería de mantenimiento, administrativas y de gestión durante la vida de un elemento para protegerlo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar la función deseada (Studocu, 2018).

## **Gestión del mantenimiento**

Todas las actividades de gestión que definen objetivos, estrategias y obligaciones de mantenimiento y se llevan a cabo mediante la planificación del mantenimiento, el control y seguimiento del mantenimiento (Studocu, 2018).

## **Plan de mantenimiento**

Un conjunto estructurado de tareas que incluye los pasos, procedimientos, recursos y tiempo necesarios para completar el mantenimiento (Studocu, 2018).

## **Elemento**

Es toda parte de un sistema que pueda considerarse como un elemento individual (Studocu, 2018).

## **Repuesto**

Parte de un sistema destinada a reemplazar un elemento análogo, cuyo objetivo es recuperar una función a su estado original (Studocu, 2018).

## **Disponibilidad**

Cualidad de un componente para encontrarse en estado óptimo para cumplir la función establecida por el fabricante (Studocu, 2018).

## **Fiabilidad**

Cualidad de un componente para cumplir una función específica al estar sometido a determinadas condiciones de trabajo durante un periodo de tiempo establecido (Studocu, 2018).

### **Vida útil**

Periodo de tiempo que transcurre desde el comienzo de operación de un elemento hasta llegar una tasa de fallos inaceptable. Y en caso extremo de un fallo irreparable en el elemento a causa de una avería (Studocu, 2018).

### **Fallo**

Limitación o irrupción de la función de un elemento (Studocu, 2018).

### **Avería**

Incapacidad para desarrollar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos (Studocu, 2018).

### **Mantenimiento preventivo**

Tipo de mantenimiento que se ejecuta con una frecuencia establecida cuyo objetivo es reducir la tasa de fallos de un activo (Studocu, 2018).

### **Mantenimiento predictivo**

Técnica de mantenimiento cuya base es la previsión de fallo con base en análisis y evaluación de parámetros (Studocu, 2018).

### **Mantenimiento correctivo**

Tareas que se ejecutan posterior a la identificación de un fallo y que tiene como fin recuperar una función (Studocu, 2018).

## **Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM)**

Es un método empleado para determinar las acciones requeridas por un equipo para mantenerse activo cumplimiento con los requisitos de confiabilidad y disponibilidad esperados por una organización (Studocu, 2018).

### **Inspección**

Seguimiento del estado de una conformidad empleando técnicas de observación, ensayo, calibración de los parámetros más relevantes de un componente (Studocu, 2018).

### **Revisión**

Hace referencia al grupo de exámenes y actividades realizadas para determinar el nivel de disponibilidad y seguridad de un componente (Studocu, 2018).

### **Reparación**

Tarea física cuyo objetivo es reparar una función perdida a causa de una avería (Studocu, 2018).

### **Tiempo medio entre fallos**

Razón matemática entre la tasa de fallos y el tiempo disponible del equipo (Studocu, 2018).

### **Tiempo de reparación medio**

Razón matemática entre el tiempo de reparación y el tiempo disponible del equipo (Studocu, 2018).

### **3. CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo del presente trabajo se basa en tres tipos de investigación que actúan de forma conjunta y complementaria.

##### **3.1.1. Investigación Explicativa**

Este tipo de investigación se emplea debido a que ayuda en el análisis e interpretación del comportamiento de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 para así encontrar el origen de los problemas que causa las paradas de línea de producción, y por lo tanto, las tareas que pueden brindar una solución.

##### **3.1.2. Investigación Aplicada**

Tipo de investigación usada para resolver los problemas que generan las paradas en la línea de producción de barras de construcción N°1, empleando los conocimientos científicos de las ramas de ingeniería mecánica y eléctrica.

##### **3.1.3. Investigación Descriptiva**

Investigación empleada gracias al uso de los indicadores de mantenimiento e índice de criticidad de los activos. Debido a que estas variables son analizadas durante el desarrollo del estudio y muestran el comportamiento de los equipos tal como se da en la realidad.

#### **3.2. POBLACIÓN MUESTRA**

Para el presente trabajo de tesis ordinaria la población muestra a considerar está compuesto por los equipos de la línea de producción de barras de construcción N°1 y que han sido agrupados

de acuerdo con la etapa del proceso en la que actúan. Cabe mencionar que no se han empleado técnicas de muestro debido a que la investigación se lleva a cabo en un lugar específico.

**Tabla 1**

*Listado equipos de la línea de producción*

Área	Equipo
<b>Recalentamiento</b>	· Mesa de carga
	· Hidráulico principal
	· Mesa de giro 1
	· Mesa de giro 2
	· Camino rodillos entrada horno
	· Camino de rodillos salida de horno
	· Horno de tochos
	· Instrumentación
	· Kick off
	· Sistema aire comprimido
	· Sistema lubricación de grasa
	· Camino de rodillos fijos
<b>Desbaste</b>	· Sistema de laminación D1
	· Sistema de laminación D2
	· Mesa basculante
	· Gira óvalo
	· Sistema de laminación tren 450
	· Sistema de lubricación por grasa T450
	· Sistema de refrigeración por agua de cilindros
	· Sistema de lubricación por aceite T450/T300
	· Camino de rodillos aproximación caja 1
	· Camino de rodillos salida caja 1
<b>Tren Intermedio</b>	· Camino de rodillos entrada caja 1
	· Sistema de laminación D3
	· Cizalla 24 tn
	· Sistema de lubricación por grasa T300
	· Sistema de refrigeración por agua de cilindros
	· Sistema de laminación tren intermedio
	· Desvío
	· Instrumentación
<b>Tren Acabador</b>	· Cizallas de emergencia
	· Sistema de laminación C8
	· Sistema de laminación D9

<b>Mesa de Enfriamiento 1</b>	· <b>Zapatas canal 1</b>
	· Zapatas canal 2
	· Alineadores
	· Parrilla de enfriamiento
	· Camino de rodillos de entrada
	· Camino de rodillos de salida
	· Deslizadores de varilla
	· Cizalla 51
	· Cizalla 52
	· Sistema de lubricación cizallas 51 y 52
	· Sistema de relevaje
<b>Acabado de Barras</b>	· Mesa de rodillos 1
	· Mesa de rodillos 2
	· Mesa de rodillos 3
	· Mesa de rodillos 4
	· Mesa de rodillos 5
	· Transportador de cadena 1
	· Transportador de cadena 2
	· Transportador de cadena 3
	· Transportador de cadena 4
	· Transportador de cadena 5
	· Cizalla de corte en frío 200 tn
	· Camino de rodillos de aproximación cizalla
	· Oscilador de barras
	· Balanza

### 3.3. HIPOTESIS

“Un Sistema de gestión basado la metodología del RCM si mejorará la disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de producción de barras de construcción N°1 de Siderperu, Provincia del Santa, Departamento de Ancash”.



### **3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

De acuerdo con Huamanchuno (2019), operar variables es un proceso que define los procedimientos empíricos/técnicos mediante los cuales se obtiene información cuantitativa y cualitativa que permite verificar el cumplimiento de la hipótesis planteada.

Para la presente investigación se considera como variable dependiente al Sistema de Gestión del Mantenimiento Basado en el RCM, debido a que el estudio parte de establecer una gestión óptima del mantenimiento para poder mejorar la disponibilidad de los equipos (variable dependiente). A continuación, se muestran a más detalle las variables empleadas en el desarrollo del trabajo.

**Tabla 2***Listado de variables dependientes e independientes*

Variable	Denominación	Descripción	Instrumentos	Indicadores
<b>Independiente</b>	Sistema de gestión del mantenimiento basado en el RCM	Variable que permite establecer las tareas, personal, frecuencia e insumos necesarios para poder gestionar el mantenimiento de los equipos de la línea de producción analizada  Define las estrategias mediante las cuales se mide de forma cuantitativa el impacto que tiene la implementación del plan de mantenimiento en la línea de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matriz de Criticidad</li> <li>• Manuales de fabricantes</li> <li>• Ordenes de trabajo para tareas correctivas</li> <li>• Historial de averías</li> <li>• Antecedentes Nacionales e Internacionales</li> <li>• Registros de seguimientos</li> </ul>	
<b>Dependientes</b>	Disponibilidad	Variable que permite cuantificar el porcentaje de tiempo que el equipo se encuentra capacitado para cumplir con las funciones básicas de su diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros de solicitud de tareas correctivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo medio entre fallas</li> <li>• Tiempo medio de reparación</li> <li>• Porcentaje de Disponibilidad</li> </ul>

### **3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon las siguientes técnicas de investigación basadas en las herramientas de análisis que a continuación se mencionan.

#### **Diagrama causa efecto (Ishikawa)**

Viene a ser la representación gráfica que relaciona diversos factores, también llamados causas raíz, que contribuyen a la generación de un efecto o fenómeno (problema) que en muchos casos puede ser perjudicial para un determinado estudio (Gómez et al, 2020). Por otra parte, a este tipo de análisis también se le llama la espina de pescado por la forma de representarlo, además, este instrumento visual tiene por función principal contribuir en el análisis de una organización cuando evidencie fallas en sus procesos, planteando un problema de forma general y estimando las posibles causas, de allí la denominación diagrama Causa – Efecto (Silva & Flores, 2019).

No obstante, se consideran 6 “M” para identificar los factores que generan el problema, estos comprenden:

Mano de Obra, guarda relación con el recurso humano presente en la ejecución de una actividad de la empresa, normalmente se consideran las deficiencias de los operarios o las que involucran a estos.

Maquinaria, considera a las causas generadas por deficiencias en el manejo de los procesos que involucren máquinas y equipos.

Método, comprende a aquellas causas raíz generadas por deficiencias en el uso de metodologías para controlar los procesos en una organización.

Materiales, causas raíz que se originan por el manejo de los materiales que se emplean en las actividades organizacionales como por ejemplo en el manejo logístico, en el área de ventas, en la distribución, entre otros.

Medición, hace referencia a las causas raíz generadas por la deficiencia de los métodos de medición y control de un proceso, por ejemplo, en la medición del desempeño del personal, tiempos de producción, percepciones del cliente, entre otros.

Medio ambiente, se refiere a las deficiencias causadas por el entorno laboral que involucra a los factores ambientales, ya sea por la contaminación, dimensiones del área de trabajo o factores de seguridad (Huaynalaya, 2021).

### **Diagrama de Pareto**

Es una herramienta que resume y analiza información cuantitativa con el fin de identificar los factores principales de un determinado problema (Ángeles & Panta, 2020). Por otra parte, esta herramienta de análisis es importante ya que, en el uso de la industria, permite evaluar las deficiencias e irregularidades, además, resalta los puntos de mejora y define el plan de acción orientadas a evitar pérdidas económicas, además, su interpretación radica en el 80-20, esto significa que, en la observación de determinado fenómeno, el 80% de los resultados son originados del 20% de las acciones, luego, en un análisis de una problemática se podría decir que el 80% del problema se genera por el 20% de las causas (Escobar et al, 2021).

### **Matriz de priorización de causas raíz**

Una vez determinadas las causa raíz que generan un problema, se evalúa el nivel de incidencia de cada una de ellas mediante un análisis de Pareto, ya sea por la

frecuencia en que se suscita la causa raíz o por la calificación que le pueda dar el personal involucrado por medio de una encuesta, luego según la puntuación de esta frecuencia se ordenan las causas raíz de mayor a menor y se establecen las que suman el 80% de acumulación, luego con un análisis estadístico se priorizan a aquellas causas que más inciden en la generación del problema, para luego elaborar una matriz de priorización de estas causas raíz más importantes (Gallach et al, 2020).

### 3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para ejecutar cada una de las técnicas mencionadas es necesario considerar los siguientes instrumentos:

**Tabla 3**

*Listado de instrumentos empleados*

Nº	Técnica	Instrumento
1	Recopilación de información documentada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuales de fabricantes</li> <li>• Ordenes de trabajo para tareas correctivas</li> <li>• Historial de averías</li> <li>• Antecedentes Nacionales e Internacionales</li> <li>• Matriz de criticidad</li> </ul>
2	Observación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotografías</li> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Registros de seguimientos</li> </ul>

Los instrumentos mencionados en la tabla 3 fueron sometidos a un Juicio de Expertos para poder validar y verificar la fiabilidad de la investigación, en tal sentido, este procedimiento de

validación se define como la opinión informada de profesionales con trayectoria comprobada en el área de estudio, y que son reconocidos como personas calificadas y que tienen la autoridad para efectuar valoraciones y juicios con respecto al desarrollo de una investigación y recolección de datos (Mendoza et al, 2019).

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

Los principales resultados cuantitativos obtenidos en la presente investigación son los indicadores de mantenimiento (Porcentaje de interrupciones y costos de mantenimiento) son organizados en gráficos en Excel con la finalidad de contrastar los valores registrados previos y posteriores a la implementación de la solución.

Cabe mencionar, que no se realizó técnicas de muestreo debido a que el área de análisis está definida por la línea de producción y la jerarquización de los equipos se realiza mediante un análisis de criticidad. Así como también, las gráficas correspondientes a costos de mantenimiento no serán mostradas en el documento debido a la limitación de la información que se puede publicar acorde a lo establecido por la empresa donde se realiza el estudio.

#### **4. CAPÍTULO IV: SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

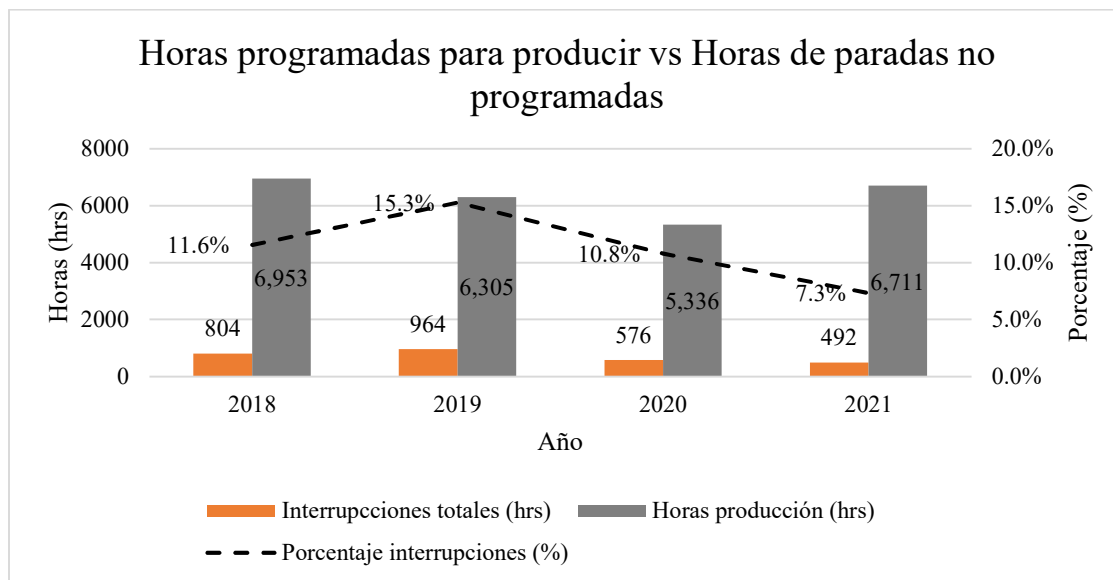
Es necesario entender cómo se llevan a cabo en la actualidad los procesos de mantenimiento y cómo afecta esto directamente a la producción y a la venta del producto anualmente. Esto implica que se debe partir de la información que se maneja actualmente y dar una solución integral y personalizada para que sea lo más efectiva posible. De igual manera, esta información permitirá determinar qué tipo de solución se va a implementar.

##### **4.1. IMPACTO ECONÓMICO**

En la actualidad, se han detectado pérdidas considerables por concepto de horas perdidas de producción debidas a paros o interrupciones del proceso de la línea de barras de construcción N°1. Todo esto se atribuye específicamente a deficiencias en la gestión del mantenimiento de los activos de la línea de producción de barras de construcción N°1, lo cual implica que existe la oportunidad de mejorar el proceso que se lleva a cabo en la empresa. Sin embargo, siempre es necesario analizar la situación actual, de manera que se pueda realizar un diagnóstico adecuado y de esta forma se pueda definir soluciones adecuadas y provechosas. En la figura 20, se muestra las horas programadas para producir por año y comprende desde el 2018 al 2021, además de la cantidad de horas que la línea de producción de barras de construcción N°1 estuvo parada (interrupciones) por problemas en los equipos por causas del mantenimiento, así como el porcentaje que representan estas horas de parada (interrupción) respecto a las horas programadas por año. Par el caso en estudio, se tendrá como año base el 2019. En ese año se tuvo parada la línea de producción 964 horas debido a problemas generados por mantenimiento. En la figura adjunta, se muestra las toneladas de acero dejado de producir las cuales ascienden a 46,156 toneladas producto de las horas que el equipo estuvo parado, así como la pérdida en dólares que son alrededor de \$ 5,538,758.

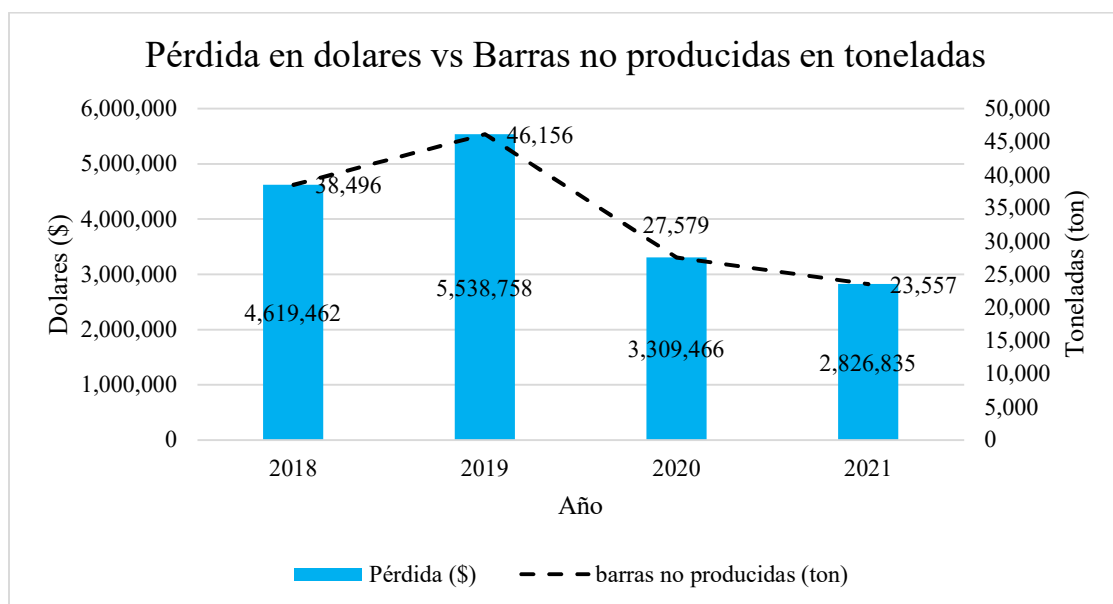
**Figura 20**

*Horas de paros imprevistos respecto a horas programadas para producir.*



**Figura 21**

*Perdidas por tonelaje no producido*

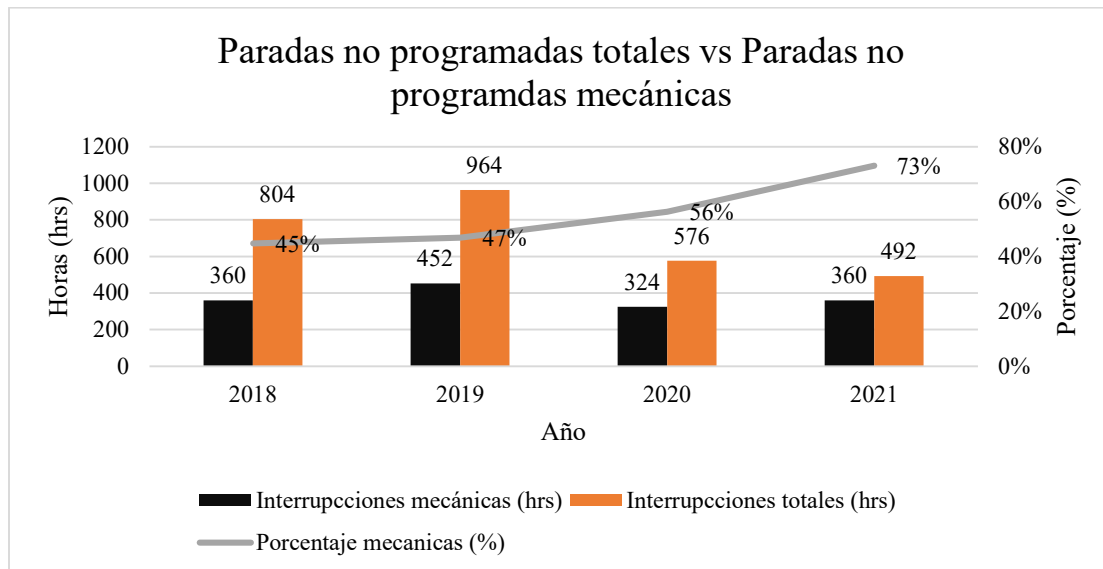


A continuación, se presentan los porcentajes de las horas de paradas debidas a problemas mecánicos. Este porcentaje se obtiene de la relación entre las horas de parada debido a problemas mecánicos y las horas totales de parada.



**Figura 22**

*Paros por problemas mecánicos*



Se evidencia en la figura 22 una tendencia de crecimiento del porcentaje de las horas de parada debido a la parte mecánica. Esto indica que existe una problemática que debe ser solucionada para evitar que se generen daños permanentes en la maquinaria y que esto afecte a la producción de manera creciente.

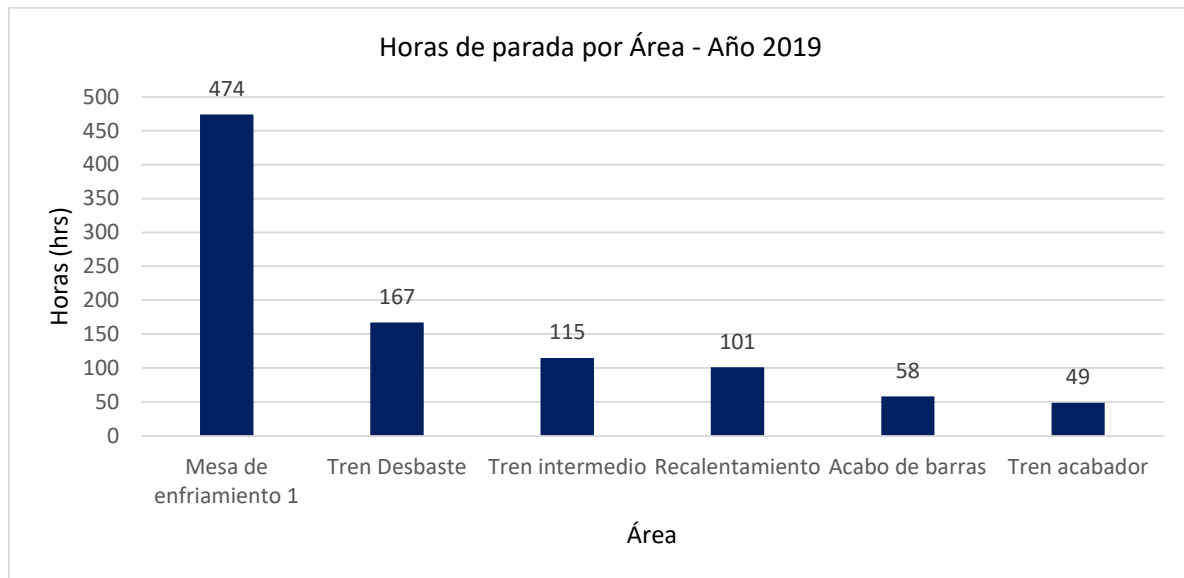
#### **4.2. DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS**

Debido a la gran cantidad de horas de interrupción en el proceso y las pérdidas que estas generan, es necesario revisar la disponibilidad de los equipos de la línea de producción de Barras de Construcción N°1, cabe recalcar que el año base para este estudio corresponde al 2019.

La figura 23, se muestra las horas que ha parado la línea de producción de barras de construcción N°1 en el año 2019 a causa de mantenimiento y siendo alrededor de 964 horas, estas horas están desglosadas por áreas.

**Figura 23**

*Horas de paradas por área*

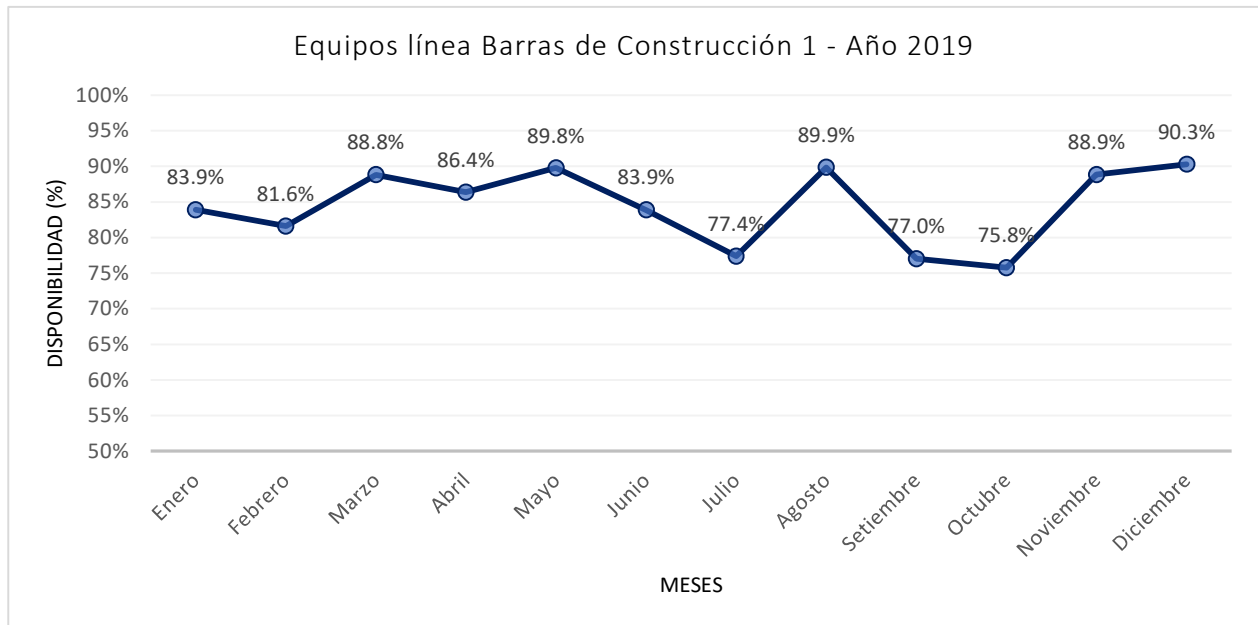


Los equipos del área de la mesa de enfriamiento 1 son los que mayor problema presentaron, parando el proceso de la línea de barras de construcción N°1 alrededor 471 horas, seguidos por los equipos del área del tren de desbaste y tren intermedio 167 y 115 horas respectivamente.

En la figura 24 se muestra la disponibilidad del 2019 de los equipos de la línea de producción de barras de construcción N°1. Para ese año se tuvo una disponibilidad promedio de 87.05%, la disponibilidad de los meses de julio, setiembre y octubre no fueron tomados en cuenta por tener valores atípicos. En el anexo 2, se muestra el cuadro con la información considerada para los cálculos de la disponibilidad de los equipos de la línea de producción.

**Figura 24**

*Disponibilidad de los equipos de la línea de producción*



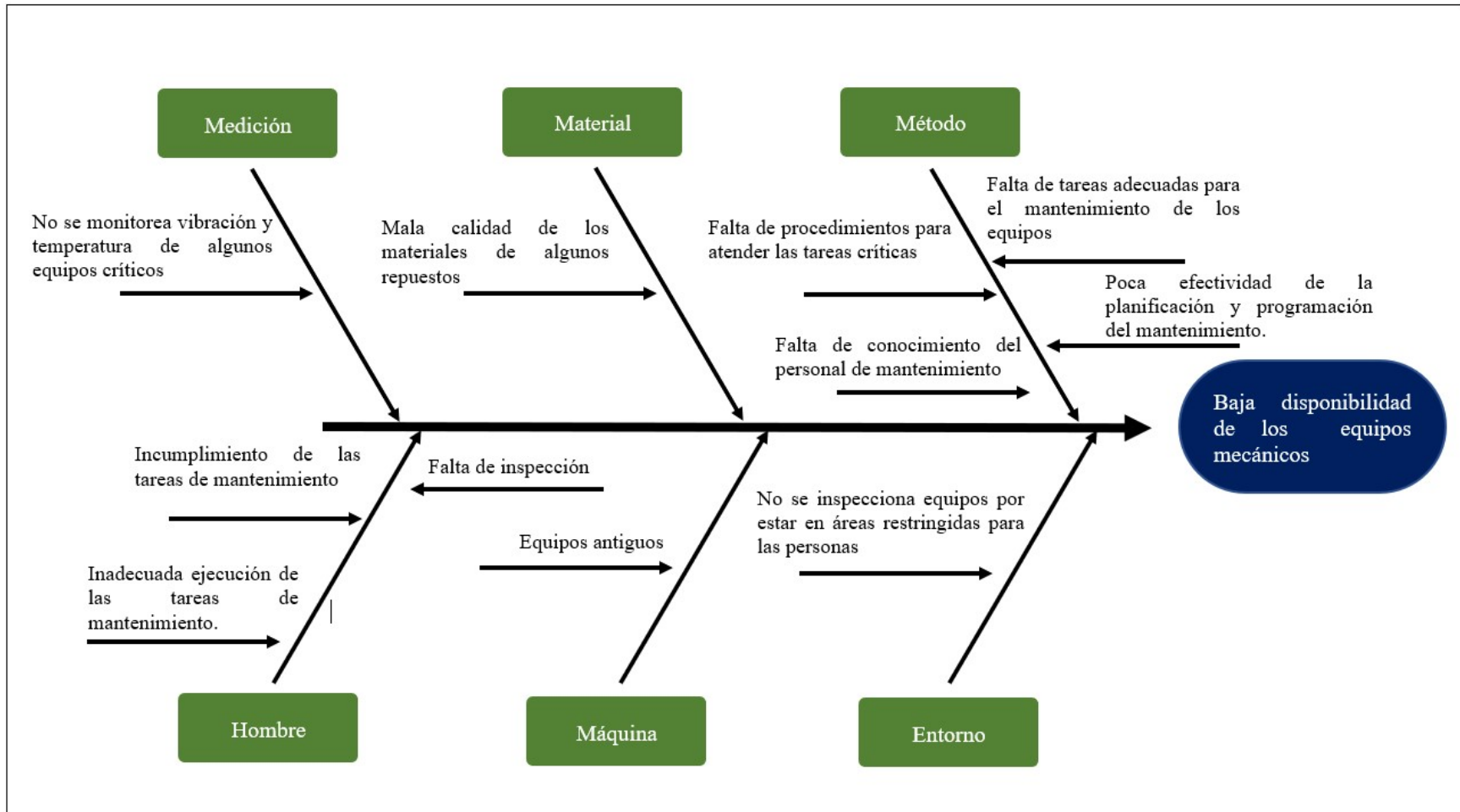
Los valores mensuales registrados evidencian una inestabilidad en el proceso y baja disponibilidad, situación que genera una oportunidad de mejora la cual puede contribuir a una mejor gestión de mantenimiento.

#### **4.3. CAUSAS PRINCIPALES DE LA BAJA DISPONIBILIDAD**

Para identificar las causas principales, se utilizó la herramienta de análisis del diagrama de Causa – Efecto el diagrama o Ishikawa.

**Figura 25**

*Diagrama de Ishikawa*



A continuación, se hace una breve descripción de las causas que originan la baja disponibilidad de los equipos mecánicos.

- **Medición.**

No se monitorea parámetros de vibración y temperatura de algunos equipos críticos. La razón es porque algunos de estos equipos se encuentran en una zona restringida, por ello no es posible hacer algún tipo de medición e inspección en pleno proceso debido a que se expone al personal a sufrir algún daño en su integridad física, además existen equipos que no están considerados para realizar este tipo de monitoreo.

- **Material.**

Mala calidad de los materiales de algunos repuestos. No se tiene una adecuada selección de proveedores que suministran las piezas mecánicas que sirven de repuesto para los equipos, por ello hay repuestos que no tienen las características técnicas exigidas por la ingeniería.

- **Método.**

Falta de procedimientos para atender las tareas críticas de mantenimiento. Existen tareas de mantenimiento que no están estandarizadas, por ello el personal asume la manera como debe realizarla y ésta a veces varía en cada intervención dependiendo del personal que se programe.

Falta de conocimiento del personal de mantenimiento. No todo el personal está capacitado para realizar las tareas de mantenimiento, por ello existen deficiencias al momento de ejecutar las tareas asignadas.

Falta de tareas adecuadas para el mantenimiento de los equipos. La estrategia con la que se cuenta no ha tenido cambios y se ha mantenido a pesar de que la producción se incrementa cada año y los equipos se someten a más exigencia. Poca efectividad de la planificación y programación del mantenimiento.

- **Hombre.**

Incumplimiento de las tareas de mantenimiento. El personal asignado no está preparado al momento de ejecutar la tarea, por ello emplean más tiempo de lo programado y no consiguen terminar con todas las tareas asignadas.

Inadecuada ejecución de las tareas de mantenimiento. La calidad de la ejecución de las tareas muchas veces no es la esperada.

Falta de inspección. El personal no realiza su inspección de la forma como está establecida y por ello incumple con sus inspecciones programadas.

- **Máquinas.**

Equipos antiguos. Gran parte de los equipos son antiguos y son exigidos trabajando por encima de su capacidad.

- **Entorno.**

No se inspecciona equipos por estar en áreas restringidas para el acceso de las personas. En este caso se hace la inspección cuando el equipo está detenido u operando en vacío.

#### **4.3.1. Jerarquización de las causas del problema.**

Para establecer la jerarquización de las causas, se utilizó la matriz de priorización causa – raíz. Esta herramienta determina la puntuación de cada causa tras la evaluación de la factibilidad y el beneficio, la causa que tenga el mayor puntaje es considerada como la causa central del problema. La puntuación de cada causa resulta de la suma del valor asignado a la factibilidad y el valor del beneficio. En la tabla 4 se muestran los resultados de la aplicación de la matriz.

**Tabla 4***Matriz de priorización de causa raíz*

Causa	Factibilidad	Beneficio	Total
1. Falta de tareas adecuadas para el mantenimiento de los equipos.	7	8	15
2. Incumplimiento de las tareas de mantenimiento.	7	7	14
3. Inadecuada ejecución de las tareas de mantenimiento.	4	6	10
4. Falta de conocimiento del personal de mantenimiento	3	4	7
5. Falta de inspección.	3	3	6
6. Poca efectividad de la planificación y programación del mantenimiento.	3	3	6
7. Equipos antiguos.	4	2	6
8. No se monitorea parámetros de vibración y temperatura de algunos equipos críticos.	3	2	5
9. No se inspecciona equipos por estar en áreas restringidas para el acceso de las personas.	3	2	5
10. Mala calidad de los materiales de algunos repuestos.	2	2	4

En consenso con el equipo de trabajo, se decidió tomar en cuenta las tres primeras causas que tengan la mayor puntuación.

#### **4.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL.**

En el capítulo I, ítem 1.3.2, se muestra el organigrama del área de mantenimiento la cual está integrada por los siguientes cargos: Jefe mecánico, jefe eléctrico electrónico, ingeniero de mantenimiento, planificador de mantenimiento, inspector de mantenimiento predictivo, mecánico

de mantenimiento, mecánico de turno, electricistas electrónicos de mantenimiento y electricistas electrónicos de turno. A continuación, se detallan algunas funciones que realizan los integrantes de la disciplina de mantenimiento mecánico.

- **Jefe de mantenimiento mecánico**

Administra los recursos de mantenimiento asignados, garantiza y asegura el cumplimiento de la planificación y programación de las tareas de mantenimiento, gestiona los indicadores de mantenimiento estableciendo medidas correctivas para los desvíos, revisa y da el visto bueno de las tareas priorizadas, así como los programas de mantenimiento, y gestiona los costos mensuales de mantenimiento.

- **Planificador de Mantenimiento.**

Elabora el programa de mantenimiento mensual y semanal, difunde en las reuniones programadas el cumplimiento del programa de mantenimiento e indicadores de gestión, programa y conduce las reuniones de programación del mantenimiento.

- **Inspector de mantenimiento predictivo.**

Elabora y ejecuta los planes de mantenimiento predictivo, elabora informes y reporta las anomalías encontradas, así mismo realiza el seguimiento y asegura el levantamiento de las mismas.

- **Mecánico de mantenimiento.**

Ejecuta las actividades planificadas de mantenimiento, registra en el software todas las intervenciones de mantenimiento, genera órdenes para atención de las anomalías, mantiene actualizada su lista técnica de repuestos.



- **Mecánico de turno.**

Cumple con la ejecución de las inspecciones programadas en su turno, registra en el software las anomalías encontradas, genera órdenes para atención de las anomalías, asiste a la operación y mantenimiento en paradas programadas, atiende las emergencias presentadas durante su turno como es paradas no programadas.

Dentro de la gestión del mantenimiento de la empresa, se desarrollan las siguientes estrategias de mantenimiento: Mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo (programado y no programado).

Dentro del mantenimiento preventivo se prioriza las siguientes tareas:

- Limpieza.
- Revisión: Esta se desarrolla por intermedio de las inspecciones de tal forma que pueden ser sensoriales y oculares, y también con la ayuda de instrumentos de medición como: amperímetros, medidores de vibración, voltímetros, etc.
- Lubricación: Consiste en la lubricación de los componentes de los equipos, así como en las inspecciones de las centrales de lubricación forzada que suministran el aceite y grasa.
- Ajuste: Esta tarea nace como resultado de las anomalías reportadas en la revisión y consiste en el cambio de piezas y tareas que están ligadas al restablecimiento del equipo.

En cuanto al mantenimiento predictivo, se aplican tres técnicas predictivas: Análisis vibracional, termografía y análisis de aceite.

Sin embargo, las estrategias utilizadas no están justificadas mediante un análisis o evaluación previa donde se determine cual es la estrategia recomendada para la gestión del mantenimiento de los equipos de la línea de producción de Barras de Construcción N°1.

En la figura 26 se muestra el flujo de la planificación y programación del mantenimiento.

**Figura 26**

*Flujo de la planificación y programación del mantenimiento*

Flujo	Tarea	Responsable
Generación de la orden de mantenimiento	Generación de ordenes de mantenimiento automáticas y manuales (anomalías reportadas y mejoras).	*Mantenedores
Priorización de las ordenes de mantenimiento	Asignar una prioridad para la atención de la orden de mantenimiento	*Mantenedores
Planificación de la ordenes de mantenimiento	Asignar los recursos necesarios para la correcta ejecución.	*Mantenedores
Programación de la orden de mantenimiento	Elaborar la programación con las tareas de las ordenes de mantenimiento priorizadas.	Planificador de mantenimiento
Ejecución de la orden de mantenimiento	Ejecutar en in-situ (campo) las tareas de mantenimiento asignadas por responsables y tiempos establecidos	*Mantenedores
Realizar el cierre técnico de la orden de mantenimiento	Posterior a la ejecución, se debe registrar en el software (SAP) las evidencias de la ejecución y recomendaciones.	*Mantenedores
Realizar seguimiento	En caso de existir alguna recomendación realizada en la etapa anterior.	*Mantenedores

*Nota.* Mantenedores, mecánico de mantenimiento, mecánico de tuno, electricistas electrónicos de mantenimiento y electricistas electrónicos de turno.

## **5. CAPITULO V: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

A continuación, se presenta la propuesta de solución para el problema de la baja disponibilidad de los equipos mecánicos de la línea de barras de construcción N°1. Propuesta que se presenta el desarrollo e implementación de la metodología del RCM para dar cumplimiento con el objetivo principal y objetivos específicos planteados en este trabajo de investigación.

### **5.1. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.**

La metodología que se empleará en este trabajo de investigación debe estar enfocada a mejorar la gestión del mantenimiento, ello permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos, disminuir las paradas no programadas por mantenimiento, reducir los costos de mantenimiento y por último a generar ingresos para la empresa.

### **5.2. SELECCIÓN DE LA MEJOR METODOLOGÍA**

Andrade y Ramos (2020) utilizando la metodología del proceso analítico jerárquico, evaluó las metodologías del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, Mantenimiento productivo total TPM, Metodología de las 5S y Lean maintenance, con la finalidad de seleccionar la más idónea para resolver problemas relacionados con el plan de mantenimiento, paradas no programadas, baja disponibilidad de los equipos y por último altos costos de mantenimiento. Los resultados de la evaluación mediante la metodología del proceso analítico jerárquico concluyen que el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), es la más destacable para solucionar los problemas mencionados.

Por otro lado, la selección de la metodología adecuada para la gestión del mantenimiento de los equipos depende de la evolución en el tiempo de las fallas  $\lambda(t)$ , y del valor calculado del parámetro Beta ( $\beta$ ). La relación entre estos parámetros, ubican la fase en la curva de la bañera.

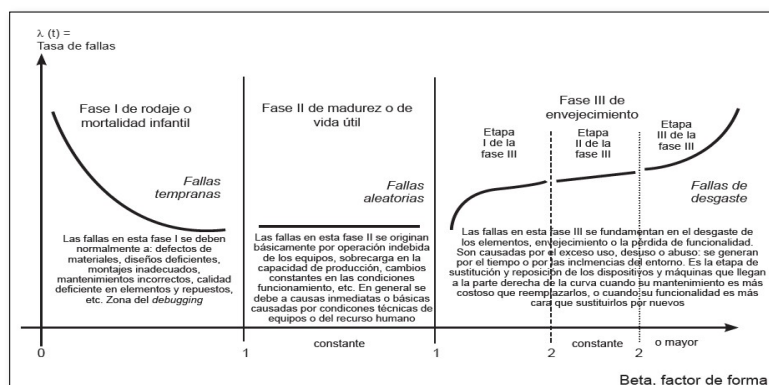
La fase I corresponde a la condición inicial o puesta en marcha, en esta fase las fallas se presentan por errores durante el montaje del equipo, concepción, construcción y pruebas, las acciones más aplicables son las correctivas y modificaciones.

La fase II es la de madurez donde ya se presentan una tasa de fallas constantes. En esta fase, las fallas se presentan de manera aleatoria o también pueden ser previsibles, las causas que la provocan son: Operación inadecuada, sobre esfuerzo del equipo, inadecuadas prácticas de mantenimiento, entre otros. Lo más recomendable dentro de esta fase para minimizar las causas de las fallas, es implementar buenas prácticas basadas en estrategias de mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento productivo total TPM las cuales deben implementarse una de forma optimizada.

En la fase III corresponde a la última etapa, aquí la tasa de fallas es creciente, este es el período de desgaste y deterioro de los activos. En esta fase, las fallas se presentan debido a la fatiga de los componentes, antigüedad del equipo y la existencia de un desgaste general. Lo recomendable en esta fase para mitigar y restablecer los equipos es aplicar una estrategia de mantenimiento basada en el RCM.

**Figura 27**

*Curva de la bañera o Davies*



*Nota.* Adaptado de Castela (2016).

Para determinar la metodología utilizada en este presente trabajo de investigación, se calculó el parámetro Beta ( $\beta$ ) mediante la distribución de Weibull, utilizando datos registrados del año 2019 de las paradas no programadas de los equipos de la línea barras de construcción N°1.

$$y = RM(x_i); \quad x = MTBF; \quad RM(x_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}; \quad x' = \ln(x); \quad y' = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - y}\right)\right)$$

$$\beta = \left( \frac{n * (\sum(x' * y')) - \sum x' * \sum y'}{n * \sum(x')^2 - (\sum x')^2} \right)$$

Donde:

$i$  = número de muestra

$n$  = cantidad de muestras

$\beta$  = beta

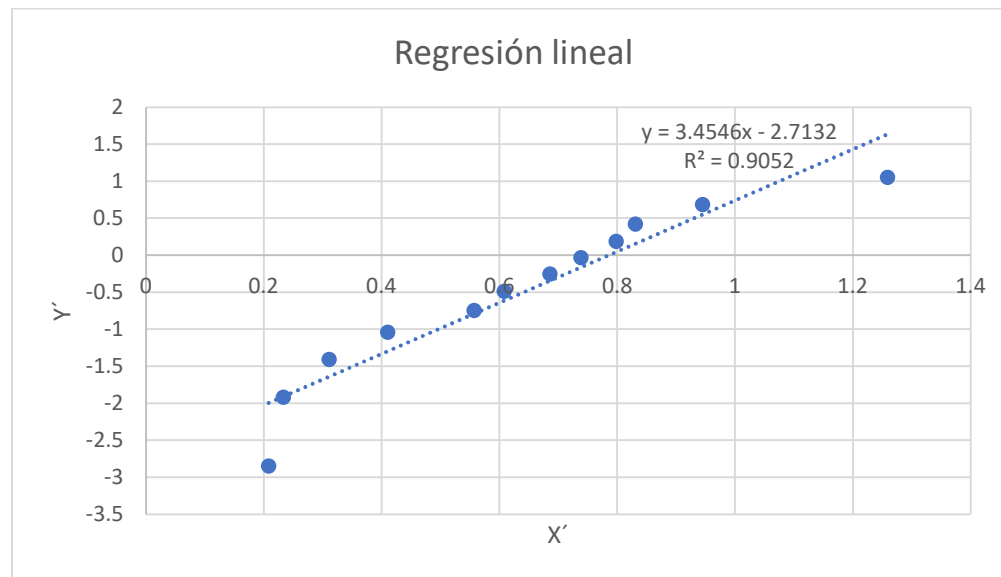
**Tabla 5**

*Cantidad de muestras y MTBF*

N° Muestra	X	RM (xi)
1	1.23	0.05645161
2	1.26	0.13709677
3	1.36	0.21774194
4	1.51	0.2983871
5	1.75	0.37903226
6	1.84	0.45967742
7	1.99	0.54032258
8	2.09	0.62096774
9	2.22	0.7016129
10	2.30	0.78225806
11	2.57	0.86290323
12	3.52	0.94354839

**Tabla 6***Valores de la regresión lineal*

Nº Muestra	X	Y	LN (X)	LN(LN(1/1-Y))	X'Y'	(X') ^2	(Y') ^2
1	1.23	0.05645161	0.20701417	-2.845458285	-0.589050183	0.0428548663259	8.096632852
2	1.26	0.13709677	0.23111172	-1.914247621	-0.442405062	0.0534126275667	3.664343955
3	1.36	0.21774194	0.30748470	-1.404170849	-0.431761052	0.0945468405791	1.971695773
4	1.51	0.2983871	0.41210965	-1.037403987	-0.427524195	0.1698343643046	1.076207032
5	1.75	0.37903226	0.55961579	-0.741337623	-0.414864238	0.3131698301066	0.549581471
6	1.84	0.45967742	0.60976557	-0.485175833	-0.295843519	0.3718140523342	0.235395589
7	1.99	0.54032258	0.68813464	-0.252018579	-0.173422714	0.4735292810289	0.063513364
8	2.09	0.62096774	0.73716407	-0.03032111	-0.022351633	0.5434108601673	0.00091937
9	2.22	0.7016129	0.79750720	0.190094315	0.151601584	0.6360177274871	0.036135849
10	2.30	0.78225806	0.83290912	0.421630212	0.35117965	0.6937376070685	0.177772036
11	2.57	0.86290323	0.94390590	0.686660297	0.648142705	0.8909583459917	0.471502363
12	3.52	0.94354839	1.25846099	1.055834013	1.328725917	1.5837240623702	1.114785463
<b>Sumatoria</b>	<b>23.64</b>	<b>6.00</b>	<b>7.58</b>	<b>-6.36</b>	<b>-0.32</b>	<b>5.86</b>	<b>17.46</b>

**Figura 28***Diagrama de regresión lineal*

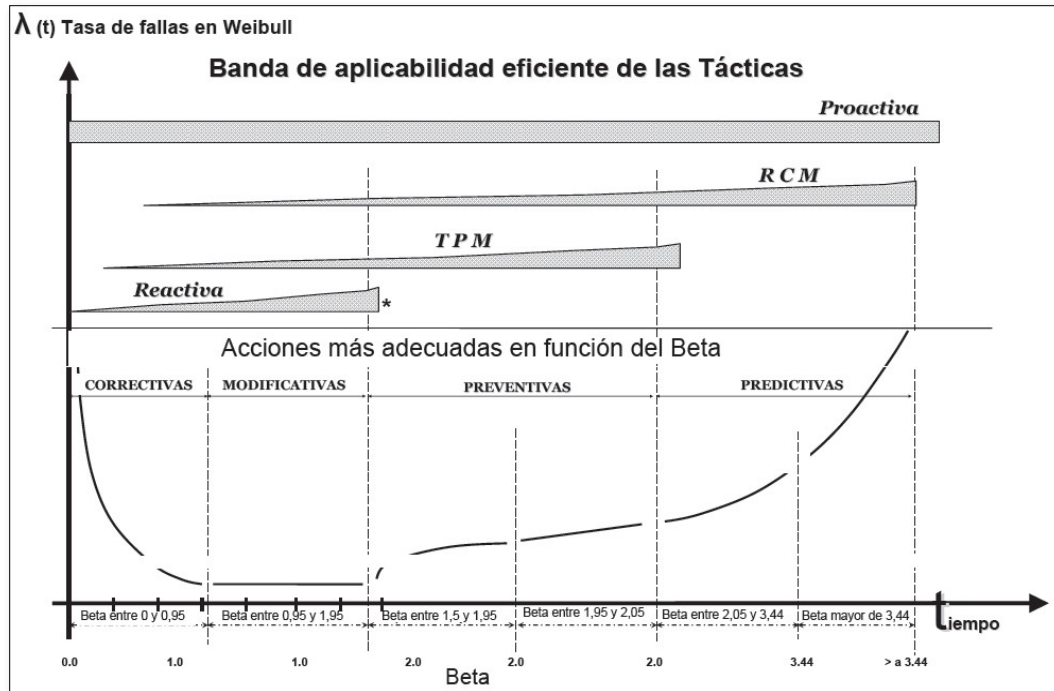
$$\beta = \left( \frac{12 * (-0.32) - ((7.58) * (-6.36))}{12 * 5.86 - (7.58)^2} \right)$$

$$\beta = 3.454$$

Dado que el valor calculado de Beta es mayor a 1 ( $\beta > 1$ ), la frecuencia de falla comienza a aumentar y coincide con la fase III de envejecimiento del equipo. Por lo tanto, se adoptó la metodología del RCM.

**Figura 29**

*Banda de aplicabilidad eficiente de la estrategia de mantenimiento*



*Nota.* Adaptado de Castela (2016).

### 5.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL RCM.

Amendola (2016) propone el siguiente proceso para la implementación del RCM:

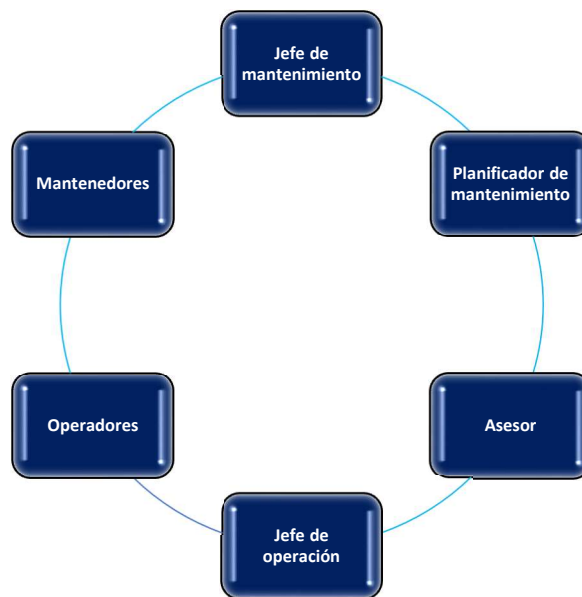
- Designación de los integrantes del equipo de trabajo para la implementación.
- Selección del sistema o equipos.
- Desarrollar el análisis de modos y efectos de falla AMEF.
- Aplicación del árbol lógico de decisiones del RCM.

### 5.3.1. Designación de los integrantes del equipo de trabajo.

Para la conformación del equipo de trabajo se recomienda que sea multidisciplinario, además no solo debe estar conformado por el personal del área mantenimiento, también deben integrarlo personal del área de producción. Para nuestro caso en estudio, el equipo quedó conformado por los siguientes integrantes.

**Figura 30**

*Equipo de trabajo para la implementación del RCM*



El asesor deberá tener conocimiento y experiencia con la aplicación de la metodología del RCM. Los mantenedores y operadores deberán ser dos como mínimo de cada área y deberán tener pleno conocimiento de los equipos y del proceso.



### 5.3.2 Selección de los sistemas o equipos.

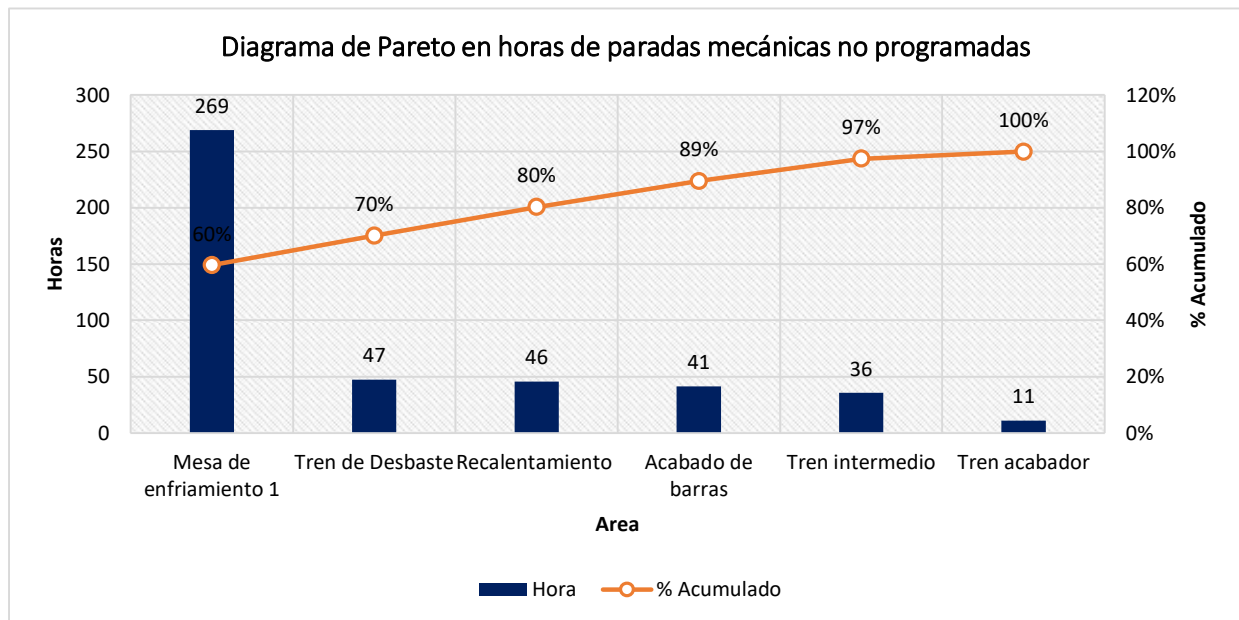
En este caso se consideró la selección de los equipos mecánicos de la línea de barras de construcción N°1. Amendola (2016) propone que para de la selección de equipos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Sistemas y/o equipos críticos del proceso.
- Equipos que poseen un alto número de intervenciones no programadas.
- Equipos que presenten un alto nivel de riesgo con respecto a la seguridad y ambiente.
- Equipos que representen un costo elevado de mantenimiento.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados para la selección de los equipos; en primer lugar, se elaboró un diagrama de Pareto de las paradas no programadas ocasionadas por la disciplina mecánica.

**Figura 31**

*Pareto de paradas mecánicas no programadas por área*

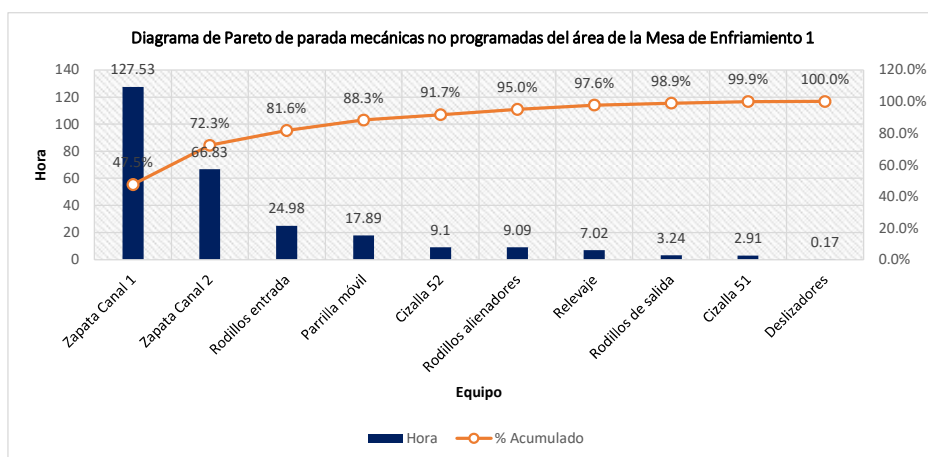


El diagrama de Pareto de la figura 31 muestra que los principales problemas mecánicos ocurren en las áreas de la Mesa de Enfriamiento 1, Tren de Desbaste y Recalentamiento. Las horas de paradas no programadas por la disciplina mecánica son alrededor de 452 horas.

En segundo lugar, se elaboró un diagrama de Pareto de los equipos de cada una de las áreas donde se presentan los principales problemas, con la finalidad de identificar cuáles son los equipos están generando dichos problemas.

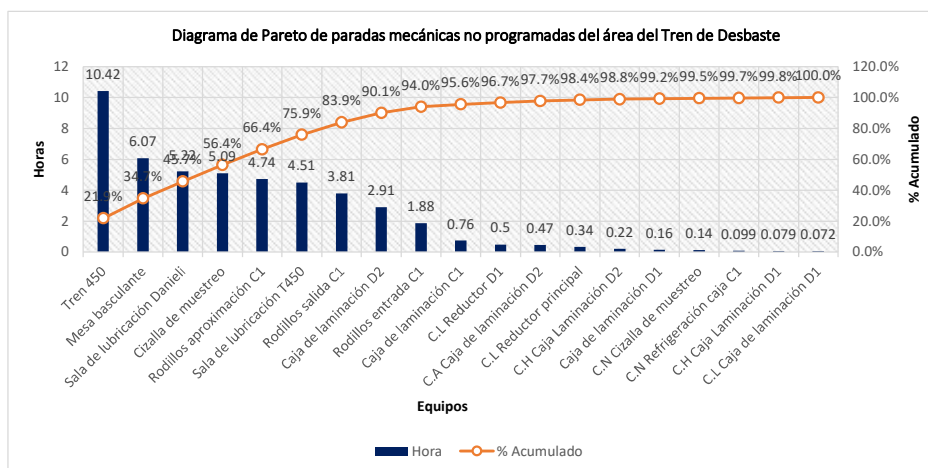
**Figura 32**

*Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos de la mesa de enfriamiento 1*



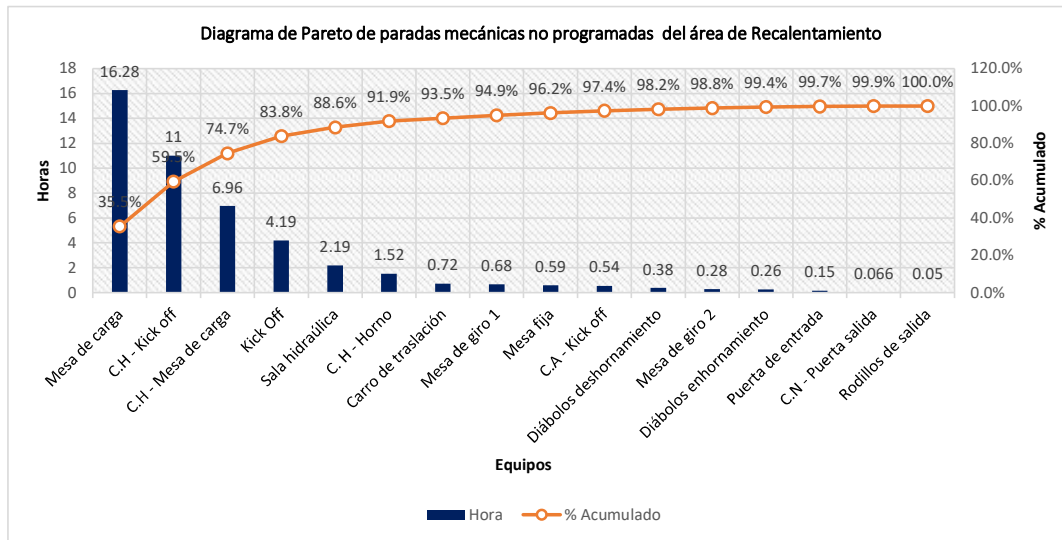
**Figura 33**

*Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos del Tren de Desbaste*



**Figura 34**

*Pareto de paradas mecánicas no programadas de los equipos de Recalentamiento*



En resumen, según los diagramas de Pareto, son 12 equipos los que acumulan 362 horas de paradas no programadas de un total de 452 horas.

**Tabla 7**

*Equipos mecánicos que causan las mayores paradas no programadas*

Área	Equipo
Recalentamiento	Mesa de carga
	Central hidráulica del horno
	Kick Off
Tren de Desbaste	Tren 450
	Mesa basculante
	Central de lubricación
	Danieli
	Cizalla de muestreo
	Rodillos aproximación C1
	Sala de lubricación T450
Mesa de Enfriamiento 1	Zapata Canal 1
	Zapata Canal 2
	Rodillos entrada

A continuación, se hace una descripción de los elementos que componen cada uno de los equipos mencionados en la figura adjunta:

**Figura 35**

*Lista de elementos de los equipos del área de Recalentamiento*

Área: Recalentamiento		
Equipo: Mesa de Carga		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-REC-MCA-EME01	Ejes de transmisión mesa	Transmitir potencia y giro a los sprockets de la mesa
LL-LB1-REC-MCA-EBR01	Ejes de transmisión brazos	Transmitir potencia a los sprockets de los brazos de elevación
LL-LB1-REC-MCA-BEL01	Brazos de elevación	Guía y apoyo de la palanquilla
LL-LB1-REC-MCA-SME01	Sprockets de mesa	Transmitir potencia y movimiento a las cadenas de la mesa.
LL-LB1-REC-MCA-CTR01	Cadenas de transferencia	Transferir la palanquilla hacia los brazos.
LL-LB1-REC-MCA-SBR01	Sprockets de brazo	Transmitir potencia y movimiento a las cadenas de los brazos.
LL-LB1-REC-MCA-RME01	Reductores mesa	Transmitir potencia y movimiento a las cadenas de la mesa.
LL-LB1-REC-MCA-RBR01	Reductor brazos	Transmitir potencia y giro al eje de transmisión de los brazos.
LL-LB1-REC-MCA-AME01	Acople dentado	Acoplar el reductor con el eje de la mesa.
LL-LB1-REC-MCA-ABR01	Acople de rejilla	Acoplar el reductor con el eje de los brazos
Equipo: Kick off		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-REC-KOF-BKO01	Brazos kick Off	Posesionar la palaquilla sobre los diabólos de deshormamiento
Equipo: Central de hidráulica del horno		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-REC-HHO-BHI01	Bombas de presión	Bombear el aceite hacia los cilindros.
LL-LB1-REC-HHO-TAL01	Tanque de almacenamiento	Almacenar el aceite.
LL-LB1-REC-HHO-BVA01	Bloque de válvulas	Soporte de las válvulas direccionales.
LL-LB1-REC-HHO-VDM01	Válvula direccional mesa	Controlar el funcionamiento de los cilindros de la mesa.
LL-LB1-REC-HHO-VADE01	Válvula direccional elevación solera	Controlar el funcionamiento de los cilindros de elevación.
LL-LB1-REC-HHO-VADT01	Válvula direccional traslación solera	Controlar el funcionamiento de los cilindros de traslación.
LL-LB1-REC-HHO-VADK01	Válvula direccional kick off	Controlar el funcionamiento de los cilindros del kick off.
LL-LB1-REC-HHO-VABOP01	Válvula bola principal	Permitir la apertura y cierre para el pase del flujo del aceite.
LL-LB1-REC-HHO-CES01	Cilindros elevación solera	Permitir la elevación de la solera del horno.
LL-LB1-REC-HHO-CTS01	Cilindro traslación solera	Permitir la traslación de la solera del horno.
LL-LB1-REC-HHO-CEM01	Cilindro elevación mesa	Permitir la elevación de los brazos de la mesa de carga.
LL-LB1-REC-HHO-CEK01	Cilindros elevación kick off	Permitir la elevación del kick off.
LL-LB1-REC-HHO-CTK01	Cilindro traslación kick off	Permitir la traslación de la kick off.
LL-LB1-REC-HHO-FPR01	Filtro principal	Filtrar las impurezas del aceite.
LL-LB1-REC-HHO-BRE01	Bomba de recirculación	Bombear el aceite hacia el intercambiador de calor.
LL-LB1-REC-HHO-ICA01	Intercambiador de calor	Permitir enfriar el aceite.
LL-LB1-REC-HHO-THK01	Tubería hidráulica Kick off	Transportar el aceite hacia los cilindros hidráulicos del Kick off y de retorno al tanque.
LL-LB1-REC-HHO-THE01	Tubería hidráulica elevación	Transportar el aceite hacia los cilindros hidráulicos de elevación y de retorno al tanque.
LL-LB1-REC-HHO-THT01	Tubería hidráulica traslación	Transportar el aceite hacia el cilindro hidráulico de traslación y de retorno al tanque.
LL-LB1-REC-HHO-THM01	Tubería hidráulica mesa de carga	Transportar el aceite hacia los cilindros hidráulicos de la mesa de carga y de retorno al tanque
LL-LB1-REC-HHO-MH01	Mangueras hidráulicas	Transportar el aceite hacia los cilindros hidráulicos de la mesa de carga y de retorno al tanque

**Figura 36***Lista de elementos de los equipos del área del Tren de Desbaste*

Área: Tren de Desbaste		
Equipo: Tren 450		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-TDE-T450-REDP01	Reductor principal	Transmitir potencia a la caja trío
LL-LB1-TDE-T450-ACOM01	Acople de engranajes	Acoplar el motor con el reductor principal y transmitir potencia
LL-LB1-TDE-T450-CAJT01	Caja trío	Transmitir potencia a la caja de laminación C1.
LL-LB1-TDE-T450-ACOR01	Acople rígido	Acoplar el reductor principal con la caja trío.
LL-LB1-TDE-T450-ALAS01	Alargadera superior	Acoplar la caja trío con la caja de laminación C1 y transmitir potencia
LL-LB1-TDE-T450-ALAM01	Alargadera intermedia	Acoplar la caja trío con la caja de laminación C1 y transmitir potencia
LL-LB1-TDE-T450-ALAI01	Alargadera inferior	Acoplar la caja trío con la caja de laminación C1 y transmitir potencia
LL-LB1-TDE-T450-SOPA01	Soporte de alargaderas	Permitir apoyar las alargaderas tres alargaderas.
LL-LB1-TDE-T450-ACOTS01	Acople trebol superior	Acoplar las cajas de laminación C1 y C2 y transmitir potencia.
LL-LB1-TDE-T450-ACOTM01	Acople trebol intermedio	Acoplar las cajas de laminación C1 y C2 y transmitir potencia.
LL-LB1-TDE-T450-ACOTI01	Acople trebol inferior	Acoplar las cajas de laminación C1 y C2 y transmitir potencia.
LL-LB1-TDE-T450-SOPT01	Soporte de acoples trebol	Permitir apoyar los ejes del acople trebol.
Equipo: Central de Lubricación Tren 450		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-TDE-L450-BOML01	Bombas de lubricación	Bombear el aceite hacia los equipos del tren 450.
LL-LB1-TDE-L450-INTC01	Intercambiador de calor	Permitir enfriar el aceite.
LL-LB1-TDE-L450-VALB01	Válvula de bola	Permitir regular la presión de bombeo.
LL-LB1-TDE-L450-FILTA01	Filtro de aceite	Filtrar las impurezas del aceite.
LL-LB1-TDE-L450-TAQA01	Tanque de almacenamiento	Almacenar el aceite.
LL-LB1-TDE-L450-TUBR01	Tubería de aceite reductor	Transportar aceite hacia el reductor
LL-LB1-TDE-L450-TUBT01	Tubería de aceite caja trío	Transportar aceite hacia la caja trío
Equipo: Central de Lubricación Danieli		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-TDE-LDAN-BOML01	Bombas de lubricación	Bombear el aceite hacia los equipos de laminación Danieli
LL-LB1-TDE-LDAN-INTC01	Intercambiador de calor	Permitir enfriar el aceite.
LL-LB1-TDE-LDAN-VALB01	Válvula de bola	Permitir regular la presión de bombeo.
LL-LB1-TDE-LDAN-FILTA01	Filtro de aceite	Filtrar las impurezas del aceite.
LL-LB1-TDE-LDAN-TAQA01	Tanque de almacenamiento	Almacenar el aceite.
LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR01	Tubería de aceite reductor D1	Transportar aceite hacia el reductor D1
LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR02	Tubería de aceite reductor D2	Transportar aceite hacia el reductor D2
LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR03	Tubería de aceite reductor D3	Transportar aceite hacia el reductor D3

### Figura 37

#### *Lista de elementos de los equipos del área de la Mesa de enfriamiento 1*

Área: Mesa de Enfriamiento 1		
Equipo: Zapata canal 1		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01	Reductor	Transmitir potencia a las zapatas
LL-LB1-ME1-ZCA1-ZAPZ01	Zapata	Guiar y evacuar la barra hacia la parrilla de enfriamiento.
LL-LB1-ME1-ZCA1-MODZ01	Modulos fundidos	Sirve de soporte de las zapatas del canal 1 y 2, rodillos de entrada y de las barras
LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01	Rodillo de entrada	Transportar la barra hasta la salida de las zapatas canal 1 y 2
LL-LB1-ME1-ZCA2-ACPRO01	Acople de garras	Acoplar el motor con el rodillos de entrada y transmitir potencia
Equipo: Zapata canal 2		
Código	Elemento	Función
LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ01	Reductor	Transmitir potencia a las zapatas
LL-LB1-ME1-ZCA2-ZAPZ01	Zapata	Guiar y evacuar la barra hacia la parrilla de enfriamiento.

En resumen, se listaron 77 elementos que componen cada uno de los equipos del área de la Mesa de enfriamiento 1, Tren de desbaste y Recalentamiento.

Por último, se realizó el análisis de criticidad de los 77 elementos.

**Figura 38**

*Análisis de criticidad de los elementos de los equipos de la Mesa de enfriamiento, Tren de desbaste y Recalentamiento*

Item	Código	Elemento	Frecuencia de falla	Consecuencias					Jerarquización	Riesgo	
				Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Seguridad Ambiente Salud	Total consecuencia		Valor	Criticidad
1	LL-LB1-REC-MCA-EME01	Eje de transmisión mesa	1	10	4	2	2	44	2	44	Semi Critico
2	LL-LB1-REC-MCA-EBR01	Eje de transmisión brazos	1	6	4	2	2	28	1	28	No Critico
3	LL-LB1-REC-MCA-BEL01	Brazo de elevación	1	2	2	1	2	7	1	7	No Critico
4	LL-LB1-REC-MCA-SME01	Sprockets de mesa	3	2	1	1	2	5	1	15	No Critico
5	LL-LB1-REC-MCA-CTR01	Cadenas de transferencia	4	6	2	2	2	16	2	64	Semi Critico
6	LL-LB1-REC-MCA-SBR01	Sprockets de brazo	3	2	1	1	2	5	1	15	No Critico
7	LL-LB1-REC-MCA-RME01	Reductores mesa	1	2	1	2	2	6	1	6	No Critico
8	LL-LB1-REC-MCA-RBR01	Reductor brazos	1	2	1	2	2	6	1	6	No Critico
9	LL-LB1-REC-MCA-AME01	Acoples dentados	1	2	4	2	2	12	1	12	No Critico
10	LL-LB1-REC-MCA-ABR01	Acople de rejilla	1	2	4	2	2	12	1	12	No Critico
11	LL-LB1-REC-HHO-BHI01	Bombas de presión	3	2	2	2	8	14	2	42	Semi Critico
12	LL-LB1-REC-HHO-TAL01	Tanque de almacenamiento	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
13	LL-LB1-REC-HHO-BVA01	Bloque de válvulas	1	6	4	2	8	34	1	34	No Critico
14	LL-LB1-REC-HHO-VDM01	Válvula direccional mesa	3	6	4	2	8	34	3	102	Critico
15	LL-LB1-REC-HHO-VADE01	Válvula direccional elevación solera	3	6	4	2	8	34	3	102	Critico
16	LL-LB1-REC-HHO-VADT01	Válvula direccional traslación solera	3	6	4	2	8	34	3	102	Critico
17	LL-LB1-REC-HHO-VADK01	Válvula direccional kick off	3	6	4	2	8	34	3	102	Critico
18	LL-LB1-REC-HHO-VBO01	Válvula bola principal	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
19	LL-LB1-REC-HHO-CES01	Cilindros elevación solera	4	6	2	2	8	22	2	88	Semi Critico
20	LL-LB1-REC-HHO-CTS01	Cilindro traslación solera	4	6	2	2	8	22	2	88	Semi Critico
21	LL-LB1-REC-HHO-CEM01	Cilindro elevación mesa	4	6	2	2	8	22	2	88	Semi Critico
22	LL-LB1-REC-HHO-CEK01	Cilindros elevación kick off	4	6	2	2	8	22	2	88	Semi Critico
23	LL-LB1-REC-HHO-CTK01	Cilindro traslación kick off	4	6	2	2	8	22	2	88	Semi Critico
24	LL-LB1-REC-HHO-FPR01	Filtro principal	2	2	1	1	8	11	1	22	No Critico
25	LL-LB1-REC-HHO-BRE01	Bomba de recirculación	2	10	4	2	8	50	3	100	Critico
26	LL-LB1-REC-HHO-ICA01	Intercambiador de calor	1	10	4	2	2	44	2	44	Semi Critico
27	LL-LB1-REC-HHO-THK01	Tubería hidráulica Kick off	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
28	LL-LB1-REC-HHO-THE01	Tubería hidráulica elevación	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
29	LL-LB1-REC-HHO-THT01	Tubería hidráulica traslación	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
30	LL-LB1-REC-HHO-THM01	Tubería hidráulica mesa de carga	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
31	LL-LB1-REC-HHO-MH01	Mangueras hidráulicas	3	2	4	2	8	18	2	54	Semi Critico
32	LL-LB1-REC-KOF-BKO01	Brazos kick Off	4	4	2	2	4	14	2	56	Semi Critico
33	LBC1-REC-KIOF-SOPKO01	Soportes de Kick Off	2	2	1	1	2	5	1	10	No Critico
34	LBC1-REC-KIOF-PANKO01	Pantallas refrigeradas	1	2	2	2	4	10	1	10	No Critico
35	LBC1-DES-MEBA-REDME01	Reductor mesa basculante	1	10	4	2	6	48	2	48	Semi Critico
36	LBC1-DES-MEBA-ROLME01	Rodillos de traslado	3	2	2	1	6	11	1	33	No Critico
37	LBC1-DES-MEBA-BIEME01	Bielas articuladas	2	4	4	2	6	24	2	48	Semi Critico

38	LBC1-DES-MEBA-EJEME01	Eje excéntrico	2	4	4	2	6	24	2	48	Semi Critico
39	LBC1-DES-MEBA-HOQME01	Horquilla	2	4	4	2	6	24	2	48	Semi Critico
40	LL-LB1-TDE-A450-REDP01	Reductor principal	2	10	4	2	6	48	3	96	Critico
41	LL-LB1-TDE-A450-ACOM01	Acople de engranajes	1	10	1	2	2	14	1	14	No Critico
42	LL-LB1-TDE-A450-CAJT01	Caja trío	1	10	4	2	6	48	2	48	Semi Critico
43	LL-LB1-TDE-A450-ACOR01	Acople rígido	1	10	1	2	2	14	1	14	No Critico
44	LL-LB1-TDE-A450-ALAS01	Alargadera superior	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
45	LL-LB1-TDE-A450-ALAM01	Alargadera intermedia	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
46	LL-LB1-TDE-A450-ALAI01	Alargadera inferior	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
47	LL-LB1-TDE-A450-SOPA01	Soporte de alargaderas	1	2	4	1	2	11	1	11	No Critico
48	LL-LB1-TDE-A450-ACOTS01	Acople trebol superior	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
49	LL-LB1-TDE-A450-ACOTM01	Acople trebol intermedio	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
50	LL-LB1-TDE-A450-ACOTI01	Acople trebol inferior	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
51	LL-LB1-TDE-A450-SOPT01	Soporte de acople trebol	3	6	2	2	2	16	2	48	Semi Critico
52	LL-LB1-TDE-L450-BOMLO1	Bombas de lubricación	3	2	1	2	8	12	1	36	No Critico
53	LL-LB1-TDE-L450-INTC01	Intercambiador de calor	1	10	4	2	2	44	2	44	Semi Critico
54	LL-LB1-TDE-L450-VALB01	Válvula de bola	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
55	LL-LB1-TDE-L450-FILTA01	Filtro de aceite	2	2	1	1	8	11	1	22	No Critico
56	LL-LB1-TDE-L450-TAQA01	Tanque de almacenamiento	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
57	LL-LB1-TDE-L450-TUBRO1	Tubería de aceite reductor	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
58	LL-LB1-TDE-L450-TUBT01	Tubería de aceite caja trío	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
59	LL-LB1-TDE-LDAN-BOMLO1	Bombas de lubricación	3	2	1	2	8	12	1	36	No Critico
60	LL-LB1-TDE-LDAN-INTC01	Intercambiador de calor	1	10	4	2	2	44	2	44	Semi Critico
61	LL-LB1-TDE-LDAN-VALB01	Válvula de bola	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
62	LL-LB1-TDE-LDAN-FILTA01	Filtro de aceite	2	2	1	1	8	11	1	22	No Critico
63	LL-LB1-TDE-LDAN-TAQA01	Tanque de almacenamiento	1	1	4	1	8	13	1	13	No Critico
64	LL-LB1-TDE-LDAN-TUBRO1	Tubería de aceite reductor D1	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
65	LL-LB1-TDE-LDAN-TUBRO2	Tubería de aceite reductor D2	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
66	LL-LB1-TDE-LDAN-TUBRO3	Tubería de aceite reductor D3	3	4	4	2	8	26	2	78	Semi Critico
67	LBC1-DES-CM450-SOPCM01	Soporte de cizalla	3	2	4	1	2	11	1	33	No Critico
68	LBC1-DES-CM450-CUCM01	Cuchilla	3	2	1	1	2	5	1	15	No Critico
69	LBC1-DES-CM450-BASCM01	Base	3	2	1	1	2	5	1	15	No Critico
70	LBC1-DES-CM450-BRCM01	Brazo	3	2	1	1	2	5	1	15	No Critico
71	LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01	Reductor	2	4	2	1	6	15	1	30	No Critico
72	LL-LB1-ME1-ZCA1-ZAPZ01	Zapata	4	10	2	2	2	24	3	96	Critico
73	LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01	Rodillos	4	6	2	2	2	16	2	64	Semi Critico
74	LL-LB1-ME1-ZCA1-MODZ01	Modulos	4	6	2	2	2	16	2	64	Semi Critico
75	LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02	Reductor	2	4	2	1	6	15	1	30	No Critico
76	LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02	Zapata	4	10	2	2	2	24	3	96	Critico
77	LL-LB1-ME1-ZCA2-ACPRO01	Acople de garras	1	1	2	2	2	6	1	6	No Critico



Del análisis de criticidad, se obtuvieron 8 elementos críticos, 36 elementos semicríticos 33 y elementos no críticos:

**Tabla 8**

*Resultado del análisis de criticidad*

Ítem	Tipo	Cantidad
1	Crítico	8
2	Semi crítico	36
3	No crítico	33

### 5.3.3 Desarrollo del análisis de modos y efectos de falla AMEF

Par el desarrollo se consideró los equipos críticos y semi críticos evaluados en el análisis de criticidad, ver las tablas adjuntas.

**Tabla 9**

*AMEF Eje de transmisión mesa*

Equipo: Mesa de Carga			Código: LL-LB1-REC-MCA		
Elemento: Ejes de transmisión mesa			Código: LL-LB1-REC-MCA-EME01		
Función	Falla funcional		Modos de fallo	Efectos de las fallas	
1 Transmitir potencia de 5.5 kW y giro de 3.4 RPM a los sprockets de la mesa	A Incapaz de transmitir potencia a los sprockets de la mesa	1	Rotura del eje de transmisión de la mesa	Pérdida de la función del eje de transmisión de la mesa. Se detiene la operación de la mesa de carga y de la línea de producción	
		2	Rodamientos del eje de transmisión agarrotados	Pérdida de la función del eje de transmisión de la mesa. Se detiene la operación de la mesa de carga y de la línea de producción	

**Tabla 10**

*AMEF Cadenas de transferencia*

Equipo: Mesa de Carga			Código: LL-LB1-REC-MCA		
Elemento: Cadenas de transferencia de la mesa			Código: LL-LB1-REC-MCA-CTR01		
Función	Falla funcional		Modos de fallo	Efectos de las fallas	
1 Transferir las palanquillas hasta los brazos de elevación	B Incapaz de transferir las palanquillas hasta los brazos de elevación	1	Cadena desalineada	Se sale la cadena de transferencia del sprocket, se interrumpe la transferencia de las palanquillas, pérdida de la función del sprocket y se detiene la operación de la mesa de carga y la línea de producción	
		2	Falta de regulación de la cadena, puede estar larga o ajustada	La cadena de transferencia puede estar larga o ajustada. Si está larga la cadena se sale del sprocket, si esta ajustada genera sobrecarga en el motor. En ambos casos se interrumpe la transferencia de las palanquillas, generando la pérdida de la función de la	

		cadena de transferencia. Se detiene la operación de la mesa de carga y la línea de producción
3	Bloqueo de la cadena (objetos presentes en la mesa de carga)	Se genera una sobrecarga en el motor generando la pérdida de función de la cadena de transferencia, además se detiene la operación de la mesa de carga y línea de producción
4	Polines de la cadena trabados	Se genera una sobrecarga en el motor generando la pérdida de función de la cadena de transferencia, además se detiene la operación de la mesa de carga y línea de producción
5	Eslabones de la cadena en mal estado	Se rompe la cadena de transferencia generando la pérdida de función de la cadena de transferencia, además se detiene la operación de la mesa de carga y línea de producción
6	Cadena no se puede regular (regulador de cadena en mal estado)	La cadena de transferencia puede estar larga o ajustada. Si está larga la cadena se sale del sprocket, si esta ajustada genera sobrecarga en el motor. En ambos casos se interrumpe la transferencia de las palanquillas, generando la pérdida de la función de la cadena de transferencia. Se detiene la operación de la mesa de carga y la línea de producción

**Tabla 11**

*AMEF Bomba de presión*

Equipo: Central hidráulica del horno			Código: LL-LB1-REC-HHO		
Elemento: Bombas de presión			Código: LL-LB1-REC-HHO-BHI01		
Función	Falla funcional		Modos de fallo	Efectos de las fallas	
<b>1</b> Bombear aceite con la presión de 130 bar a los cilindros hidráulicos del kick off, mesa de carga y soleras de elevación y traslación	A	Bomba pierde presión	1	Fuga de aceite por los sellos de la bomba	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central hidráulica y línea de producción se afectan de manera mínima; existen riesgos de seguridad y el medio ambiente
			2	Componentes internos de la bomba con desgaste o dañados	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central hidráulica y línea de producción se afectan en lo mínimo.
	B	Bomba no entrega el caudal requerido	1	Ingreso de aire al interior de la bomba	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central hidráulica y línea de producción se afectan en lo mínimo.
			1	Válvula de la tubería de succión cerrada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central hidráulica y línea de producción se afectan en lo mínimo.
	C	La bomba no succiona el aceite del tanque de almacenamiento	2	Bomba trabada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central hidráulica y línea de producción se afectan en lo mínimo.

**Tabla 12***AMEF Válvulas direccionales*

<b>Equipo: Central hidráulica del horno</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO</b>	
<b>Elemento: Válvulas direccionales</b>		Código: LL-LB1-REC-HHO-VDM01 LL-LB1-REC-HHO-VADE01 LL-LB1-REC-HHO-VADT01 LL-LB1-REC-HHO-VADK01	
<b>Función</b>	Falla funcional	Modos de fallo	Efectos de las fallas
<b>1</b> Controlar el movimiento de los cilindros hidráulicos del kick off, mesa de carga y soleras de elevación y traslación	D Incapaz de accionarse la válvula direccional	1 Partículas extrañas traban spool de la válvula direccional	Perdida de la función de la válvula direccional. Se detiene la operación de la central hidráulica y línea de producción
		2 Spool y alojamientos internos de la válvula direccional en mal estado	Perdida de la función de la válvula direccional. Se detiene la operación de la central hidráulica y línea de producción

**Tabla 13***AMEF Cilindros hidráulicos*

<b>Equipo: Central hidráulica del horno</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO</b>	
<b>Elemento: Cilindros hidráulicos</b>		Código: LL-LB1-REC-HHO-CES01 LL-LB1-REC-HHO-CTS01 LL-LB1-REC-HHO-CEM01 LL-LB1-REC-HHO-CEK01 LL-LB1-REC-HHO-CTK01	
<b>Función</b>	Falla funcional	Modos de fallo	Efectos de las fallas
<b>1</b> Generar el movimiento de la solera de elevación y traslación, brazos del kick off y mesa de carga	E Disminución de la velocidad de retracción y extensión del cilindro hidráulico	1 Fugas de aceite por los sellos y/o conexiones del cilindro hidráulico.	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento, disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de cilindro hidráulico. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente
		2 Componentes internos en mal estado	Disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de cilindro hidráulico. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente

	F	Los cilindros hidráulicos no realizan el movimiento simultáneo con su cilindro par	1	Desincronización del movimiento retracción y extensión de los cilindros hidráulicos	Este modo de falla a futuro genera daños severos en las estructuras de soporte del horno, además genera desfase y desalineamiento de la carga en el interior del horno. Se limita la función del cilindro hidráulico, sin embargo, se detiene la operación de la central hidráulica y la operación de la línea de producción
			2	Soltura mecánica del cilindro hidráulico	Este modo de falla a futuro genera daños severos en las estructuras de soporte del horno, además genera desfase y desalineamiento de la carga en el interior del horno. Se limita la función de cilindro hidráulico, sin embargo, se detiene la operación de la central hidráulica la operación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad

**Tabla 14**

*AMEF Bomba de recirculación*

Equipo: Central hidráulica del horno		Código: LL-LB1-REC-HHO			
Elemento: Bomba de recirculación		Código: LL-LB1-REC-HHO-BRE01			
Función	Falla funcional	Modos de fallo		Efectos de las fallas	
<b>1</b> Bombear el aceite hidráulico desde el tanque de almacenamiento hacia el intercambiador de calor y viceversa	G Bomba pierde presión	1	Fuga de aceite por los sellos de la bomba	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento y pérdida de la función de la bomba. Se detiene la operación de la central hidráulica, línea de producción y se generan riesgos para el medio ambiente	
		2	Componentes internos de la bomba con desgaste o dañados	El aceite hidráulico eleva su temperatura y se genera la pérdida de la función de la bomba. Se detiene la operación de la central hidráulica y línea de producción	
	H La bomba no succiona el aceite del tanque de almacenamiento	1	Válvula de la tubería de succión cerrada	Pérdida de la función de la bomba. Se detiene la operación de la central hidráulica y línea de producción	
		2	Bomba trabada	Pérdida de la función de la bomba. Se detiene la operación de la central hidráulica y línea de producción	

**Tabla 15**

*AMEF Intercambiador de calor*

<b>Equipo: Central hidráulica del horno</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO</b>			
<b>Elemento: Intercambiador de calor</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO-ICA01</b>			
<b>Función</b>		<b>Falla funcional</b>		<b>Modos de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<b>1</b> Enfriar el aceite hidráulico hasta temperaturas comprendidas entre 35°C y 45°C	I	Incapaz de enfriar el aceite hasta las temperaturas exigidas	1	Tubos internos del intercambiador obstruidos	Aumento de la temperatura del aceite hidráulico y pérdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central hidráulica y de la línea de producción
	J	Presencia de agua en el tanque de almacenamiento	1	Tubos internos del intercambiador con picaduras	Aumento de la temperatura del aceite hidráulico, presencia de agua en todos los elementos de la central hidráulica y pérdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central hidráulica y de la línea de producción

**Tabla 16**

*AMEF Tuberías hidráulicas*

<b>Equipo: Central hidráulica del horno</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO</b>			
<b>Elemento: Tuberías hidráulicas</b>		<b>Código: LL-LB1-REC-HHO-THK01 LL-LB1-REC-HHO-THE01 LL-LB1-REC-HHO-THT01 LL-LB1-REC-HHO-THM01</b>			
<b>Función</b>		<b>Falla funcional</b>		<b>Modos de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<b>1</b> Transportar el aceite desde el tanque de almacenamiento hasta los cilindros hidráulicos y viceversa	K	Disminución de la velocidad de retracción y extensión del cilindro	1	Fugas de aceite por las juntas	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento, disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de cilindro hidráulico. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente
			2	Fugas de aceite por los cordones de soldadura	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento, disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de cilindro hidráulico. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente
	L	Vibración de la tubería	1	Soltura mecánica en los soportes de fijación de tubería hidráulica	Este modo de falla en el tiempo genera daños en las uniones por soldadura y juntas de la tubería. No se detiene la operación de la central hidráulica y la línea de producción

**Tabla 17**      *AMEF Mangueras de presión*

Equipo: Central hidráulica del horno				Código: LL-LB1-REC-HHO		
Elemento: Mangueras de presión				Código: LL-LB1-REC-HHO-MH01		
Función		Falla funcional		Modos de fallo		Efectos de las fallas
1	Transportar el aceite desde el tanque de almacenamie nto hasta lo cilindros hidráulicos y viceversa	M	Pérdida de presión y disminución de la velocidad de retracción y extensión del cilindro	1	Fugas de aceite por las juntas	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento, disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de las mangueras hidráulicas. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente
				2	Daños en el cuerpo de la manguera	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento, disminución de la velocidad retracción y extensión del cilindro hidráulico, y se limita la función de las mangueras hidráulicas. No se detiene la función de la central hidráulica, pero se afecta el ritmo de la laminación de la línea de producción, así mismo se generan riesgos por seguridad y el medio ambiente

**Tabla 18**

*AMEF Brazo kick off*

Equipo: Kick off			Código: LL-LB1-REC-KOF			
Elemento: Brazo kick off			Código: LL-LB1-REC-KOF-BKO01			
Función		Falla funcional	Modos de fallo		Efectos de las fallas	
1	Ingresar al horno, recepcionar la palanquilla y posesionarla sobre los diábolos de deshornamiento, luego debe retornar a su posición inicial	A	Brazo es incapaz de posicionar la palanquilla y de retornar a su posición inicial	1	Desgaste de la cabeza del palpador	La palanquilla en el interior del horno no hace contacto con la cabeza del palpador, perdiéndose de la función del brazo kick off. Se detiene la operación del kick off y la operación de la línea de producción
				2	Palpador agarrotado	Palpador no realiza ningún movimiento por estar agarrotado y se tiene la pérdida de función del brazo kick off. Se detiene la operación del kick off y la operación de la línea de producción

**Tabla 19**

*AMEF Reductor principal*

Equipo: Tren 450		Código: LL-LB1-TDE-T450		
Elemento: Reductor principal		Código LL-LB1-TDE-T450-REDP01		
Función	Falla funcional	Modo de fallo		Efectos de las fallas
<b>1</b> Transmitir la potencia de 2400 kW a la caja de transmisión trío	A No transmitir potencia a la caja de transmisión trío	1	Desgranamiento inminente del metal antifricción (babbitt)	Motor no recibe alerta de fallo de la central de lubricación del T450, se destroran los cojinetes de metal antifricción (babbitt) generando la pérdida de función del reductor principal. Se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
		2	Rotura del dentado del eje piñón de entrada	Ruido y vibración, pérdida de función del reductor principal. Se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
		3	Rotura del dentado de la rueda de salida	Ruido y vibración, pérdida de función del reductor principal. Se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
		4	Desgaste excesivo de los cojinetes de metal antifricción (babbitt)	Ruido y vibración, pérdida de función del reductor principal. Se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
	B Limitar el ritmo de laminación de la línea de operación	1	Disminuye el ingreso de la cantidad de lubricante en los cojinetes de metal antifricción (babbitt)	Elevada temperatura de los cojinetes de metal antifricción (babbitt) y genera pérdida parcial de la función del reductor principal. Se disminuye el ritmo de laminación de la línea de producción
		2	Disminución de la presión de aceite Presión mín: 1.2 bar Presión max: 1.8 bar	Elevada temperatura de los cojinetes de metal antifricción (babbitt) y genera pérdida parcial de la función del reductor principal. Se disminuye el ritmo de laminación de la línea de producción
<b>2</b> Contener el aceite en la parte interna del reductor	C Incapaz de contener el aceite	1	Sellos o retenes en mal estado	No genera la pérdida de la función de reductor. No se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y de la línea de producción. Existen riegos de atentar contra el medio ambiente
		2	Elevada presión de aceite Presión máxima 1.8 bar	No genera la pérdida de la función de reductor. No se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y de la línea de producción. Existen riegos de atentar contra el medio ambiente
<b>3</b> Permitir evacuar los gases	D No permite evacuar los gases	1	Respirador obstruido	Los gases generados se quedan en el interior del reductor. No se genera pérdida de la función del reductor, no se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y línea de producción

**Tabla 20***AMEF Bomba de lubricación*

<b>Equipo: Central de lubricación T450</b>		<b>Código: LLB1-TDE-L450</b>			
<b>Elemento: Bomba de lubricación</b>		<b>Código LLB1-TDE-L450-LUB-BOMB01</b>			
<b>Función</b>		<b>Falla funcional</b>		<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<b>1</b>	Bombear aceite 4 bar de presión hacia el reductor principal y la caja de transmisión trio	A	Perdida de presión	1 Fuga de aceite	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la línea se afecta en lo mínimo; sin embargo hay riesgos de seguridad y medio ambiente
				2 Desgaste de componentes internos	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación T450 y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
		B	Perdida de caudal	1 Ingreso de aire al interior de la bomba	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación T450 y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
		C	La bomba no succiona	1 Válvula de la tubería de succión cerrada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación T450 y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
				2 Bomba trabada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación T450 y de la línea de producción se afecta en lo mínimo

**Tabla 21***AMEF Intercambiador de calor*

<b>Equipo: Central de lubricación T450</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-L450</b>			
<b>Elemento: Intercambiador de calor</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-L450-INTC01</b>			
<b>Función</b>		<b>Falla funcional</b>		<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<b>1</b>	Enfriar el aceite hasta temperaturas comprendidas entre 35°C y 45°C	D	Aumento de la temperatura del aceite.	1 Tubos internos del intercambiador obstruidos	Aumento de la temperatura del aceite y perdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central de lubricación T450 y de la línea de producción
		E	Presencia de agua en el tanque de almacenamiento	1 Tubos internos del intercambiador con picaduras	Aumento de la temperatura del aceite, presencia de agua en todos los elementos de la central de lubricación y perdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central lubricación T450 y de la línea de producción



**Tabla 22**

*AMEF Intercambiador de calor*

<b>Equipo: Central de lubricación T450</b>		<b>Código: LLB1-TDE-L450</b>		
<b>Elemento: Tuberías</b>		Código: LL-LB1-TDE-L450-TUBR01 LL-LB1-TDE-L450-TUBT01		
	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Efectos de las fallas
<b>1</b>	Transportar el aceite desde el tanque de almacenamiento hasta el reductor principal y la caja de transmisión trío y viceversa	F Disminución del flujo de aceite	1 Fugas de aceite por las juntas	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento y pérdida de la función de las tuberías y equipos que lubrica, se detiene la operación y existe riesgos de seguridad y medio ambiente
			2 Fugas de aceite por los cordones de soldadura	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento y pérdida de la función de las tuberías y equipos que lubrica, se detiene la operación y existe riesgos de seguridad y medio ambiente
		G Vibración de la tubería	1 Soltura mecánica en los soportes de fijación de tubería	Este modo de falla en el tiempo genera daños en las uniones por soldadura y juntas de la tubería. No se detiene la operación de la central de lubricación T450 y la línea de producción

**Tabla 23**

*AMEF Bomba de lubricación*

<b>Equipo: Central de lubricación Danieli</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-LDAN</b>		
<b>Elemento: Bombas de lubricación</b>		Código: LL-LB1-TDE-LDAN-BOML01		
	Función	Falla funcional	Modo de fallo	Efectos de las fallas
<b>1</b>	Bombear aceite a 5 bar de presión hacia los reductores de las cajas de laminación Danieli 1, 2, y 3	A Pérdida de presión	1 Fuga de aceite	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la línea se afecta en lo mínimo; sin embargo, hay riesgos de seguridad y medio ambiente
			2 Desgaste de componentes internos	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación Danieli y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
		B Pérdida de caudal	1 Ingreso de aire al interior de la bomba	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación Danieli y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
		C La bomba no succiona	1 Válvula de la tubería de succión cerrada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación Danieli y de la línea de producción se afecta en lo mínimo
			2 Bomba trabada	Pérdida de la función de la bomba, se coloca en servicio la bomba de respaldo. La operación de la central de lubricación Danieli y de la línea de producción se afecta en lo mínimo

**Tabla 24***AMEF Intercambiador de calor*

<b>Equipo: Central de lubricación Danieli</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-LDAN</b>		
<b>Elemento: Intercambiador de calor</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-LDAN-INTC01</b>		
<b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>	
<b>1</b> Enfriar el aceite hasta temperaturas comprendidas entre 35°C y 45°C	D Aumento de la temperatura del aceite.	1 Tubos internos del intercambiador obstruidos	Aumento de la temperatura del aceite y pérdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central de lubricación Danieli y de la línea de producción	
	E Presencia de agua en el tanque de almacenamiento	1 Tubos internos del intercambiador con picaduras	Aumento de la temperatura del aceite, presencia de agua en todos los elementos de la central de lubricación y pérdida de la función del intercambiador de calor. Se detiene la operación de la central lubricación Danieli y de la línea de producción	

**Tabla 25***AMEF Tuberías*

<b>Equipo: Central de lubricación Danieli</b>		<b>Código: LLB1-TDE-LDAN</b>		
<b>Elemento: Tuberías</b>		<b>Código: LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR01 LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR02 LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR03</b>		
<b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>	
<b>1</b> Transportar el aceite desde el tanque de almacenamiento hasta el reductor principal y la caja de transmisión trío y viceversa	F Disminución del flujo de aceite	1 Fugas de aceite por las juntas	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento y pérdida de la función de las tuberías y equipos que lubrica, se detiene la operación y existe riesgos de seguridad y medio ambiente	
		2 Fugas de aceite por los cordones de soldadura	Bajo nivel de aceite en el tanque de almacenamiento y pérdida de la función de las tuberías y equipos que lubrica, se detiene la operación y existe riesgos de seguridad y medio ambiente	
	G Vibración de la tubería	1 Soltura mecánica en los soportes de fijación de tubería	Este modo de falla en el tiempo genera daños en las uniones por soldadura y juntas de la tubería. No se detiene la operación de la central de lubricación Danieli y la línea de producción	

**Tabla 26**

*AMEF Alargaderas*

Equipo: Tren 450			Código: LLB1-TDE-T450		
Elemento: Alargaderas (superior, intermedia e inferior)			Código: LL-LB1-TDE-T450-ALAS01 LL-LB1-TDE-T450-ALAM01 LL-LB1-TDE-T450-ALAI01		
Función		Falla funcional	Modo de fallo		Efectos de las fallas
1	Transmitir potencia y acoplar la caja trío con la caja de laminación C1	A No transmite potencia a la caja de laminación C1	1	La alargadera se desacopla del rodillo de la caja de laminación C1	Se pierde la función de la alargadera, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción
			2	La alargadera se desacopla del eje de salida de la caja de transmisión trío	Se pierde la función de la alargadera, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción
			3	Dientes del cabezal de la alargadera rotos	Se pierde la función de la alargadera, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción
	B Cabeceo del cabezal de la alargadera	1	Desgaste de agujero trébol del cabezal	Se afloja el seguro del pin que une el cabezal de la alargadera con el cilindro de la caja de laminación. Existe probabilidad de desacoplamiento, sin embargo, por el momento no genera la pérdida de función de la alargadera	
		2	Desgaste del eje trébol del cilindro de laminación	Se afloja el seguro del pin que une el cabezal de la alargadera con el cilindro de la caja de laminación. Existe probabilidad de desacoplamiento, sin embargo, por el momento no genera la pérdida de función de la alargadera	
	C Temperatura elevada del cabezal de la alargadera	1	Lubricación inadecuada	Se detiene el accionamiento del Tren 450 y se lubrica la alargadera completa, así mismo se detiene la línea de producción	

**Tabla 27**

*AMEF Acoples trébol*

Equipo: Tren 450			Código: LL-LB1-TDE-T450		
Elemento: Acople trébol (superior, intermedio e inferior)			Código: LL-LB1-TDE-T450-ACOTS01 LL-LB1-TDE-T450-ACOTM01 LL-LB1-TDE-T450-ACOTI01		
Función		Falla funcional	Modo de fallo		Efectos de las fallas
1	Transmitir potencia y acoplar las cajas de laminación C1 y C2 y	A No transmite potencia a la caja de laminación C2	1	El eje trébol se desacopla del rodillo de la caja de laminación C1 o C2	Se pierde la función del acople trébol, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción
			2	Rotura del eje trébol (superior, intermedio o inferior)	Se pierde la función del acople trébol, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción

		3	Rotura del casquillo trébol (superior, intermedio o inferior)	Se pierde la función del acople trébol, se detiene el accionamiento del tren 450 y la operación de la línea de producción
B	Cabeceo y/o golpeo del acople trébol	1	Desgaste de los ejes trébol (superior, intermedio o inferior)	Limita la operación del acople trébol; sin embargo, no se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
		2	Desgaste del casquillo trébol (superior, intermedio o inferior)	Limita la operación del acople trébol; sin embargo, no se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción
		3	Desgaste de las chumaceras del soporte de acoples trébol	Limita la operación del acople trébol; sin embargo, no se detiene la operación del accionamiento del tren 450 y la línea de producción

**Tabla 28**

*AMEF Soporte de acoples trébol*

Equipo: Tren 450		Código: LL-LB1-TDE-T450		
Elemento: Soporte de acoples trébol		Código: LL-LB1-TDE-T450-SOPT01		
Función	Falla funcional	Modo de fallo	Efectos de las fallas	
1 Sirve de soporte de los acoples trébol	A Temperatura elevada en las chumaceras del soporte de los acoples trébol	1 Cojinetes de metal antifricción (babbitt) con desgaste	Soltura mecánica de los ejes trébol respecto a los cilindros de la caja de laminación C1 y C2. Pérdida de la función del soporte. Existe la posibilidad de rotura del casquillo y eje trébol	
		2 Falta de lubricación	Soltura mecánica de los ejes trébol respecto a los cilindros de la caja de laminación C1 y C2. Pérdida de la función del soporte. Existe la posibilidad de rotura del casquillo y eje trébol	
2 Regular las alturas de los acoples trébol	B No regula la altura del acople trébol	1 Reguladores obstruidos	Desalineamiento de los ejes trébol respecto a los cilindros de la caja de laminación C1 y C2. Pérdida de la función de regular altura. Existe la posibilidad de rotura del casquillo y eje trébol	

**Tabla 29**

*AMEF Zapata 1*

<b>Equipo: Zapata Canal 1</b>		<b>Código: LL-LB1-ME1-ZCA1</b>		
<b>Elemento: Zapata 1</b>		<b>Código: LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>		
<b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>	<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>	
<b>1</b> Frenar y entregar las barras a la parrilla fija de la mesa de enfriamiento 1 en la posición referencia	<b>A</b> Incapaz de entregar las barras a la mesa de enfriamiento 1, éstas se quedan dentro del canal	<b>1</b> Dilatación de los componentes de la zapata: Reglas, escuadras y reguladores	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 1 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad	
		<b>2</b> Desgaste de la pista superior de las zapatas	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 1 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además se generan riesgos de seguridad	
		<b>3</b> Desgaste de los componentes de la unión móvil flexible entre las zapatas y escuadras	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 1 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad	
		<b>4</b> Desgaste de los componentes de la unión móvil flexible entre las escuadras y módulos fundidos	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 1 y se pierda la función de la zapata 1. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad	
		<b>5</b> Las zapatas no accionan por estar agarrotadas	Las barras se quedan dentro del canal, y se pierda la función de la zapata 1. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad	
		<b>7</b> Excéntrica y polín del accionamiento con desgaste	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 1 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad	
	<b>B</b> No entregar las barras en la posición referenciada en la parrilla fija de la mesa de enfriamiento 1	<b>1</b> Parámetros de operación inadecuados de la zapata canal 1	Genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla móvil y pérdida del rendimiento metálico; se pierde parte de la función de la zapata. No se detiene la operación mesa de enfriamiento 1 y línea de producción	
		<b>2</b> Parámetros de operación inadecuados de los rodillos de entrada a la mesa de enfriamiento 1	Genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla móvil y pérdida del rendimiento metálico; se pierde parte de la función de la zapata. No se detiene la operación mesa de enfriamiento 1 y línea de producción	

**Tabla 30**

*AMEF Zapata 2*

<b>Equipo: Zapata Canal 2</b>			<b>Código: LL-LB1-ME1-ZCA2</b>	
<b>Elemento: Zapata 2</b>			<b>Código: LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	
<b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>		<b>Modo de fallo</b>	<b>Efectos de las fallas</b>
<b>1</b> Frenar y entregar las barras a la parrilla fija de la mesa de enfriamiento 1 en la posición referencia	<b>A</b> Incapaz de entregar las barras a la mesa de enfriamiento 1, éstas se quedan dentro del canal	1	Dilatación de los componentes de las zapatas: Reglas, escuadras y reguladores	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
		2	Desgaste de la pista superior de las zapatas	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
		3	Desgaste de los componentes de la unión móvil flexible entre las zapatas y escuadras	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
		4	Desgaste de los componentes de la unión móvil flexible entre las escuadras y módulos fundidos	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
		5	Las zapatas no accionan por estar agarrotadas	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
		7	Excéntrica y polín del accionamiento con desgaste	Este modo de falla genera desnivel de las zapatas. Las barras impactan en la parte superior de las zapatas o se quedan dentro del canal 2 y se pierda la función de la zapata. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
	<b>B</b> No entregar las barras en la posición referenciada en la parrilla fija de la mesa de enfriamiento 1	1	Parámetros de operación inadecuados de la zapata	Genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla móvil y pérdida del rendimiento metálico; se pierde parte de la función de la zapata. No se detiene la operación mesa de enfriamiento 1 y línea de producción
		2	Parámetros de operación inadecuados de los rodillos de entrada a la mesa de enfriamiento 1	Genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla móvil y pérdida del rendimiento metálico; se pierde parte de la función de la zapata. No se detiene la operación mesa de enfriamiento 1 y línea de producción

*AMEF Rodillos de entrada*

Equipo: Zapata Canal 1			Código: LL-LB1-ME1-ZCA1		
Elemento: Rodillos de entrada			Código: LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01		
Función		Falla funcional	Modo de fallo		Efectos de las fallas
1	Transportar la barra desde la entrada hasta un punto de referencia de la salida de las zapatas canal 1 y 2	A No son capaces de completar el recorrido completo del transporte de las barras	1	Rodillos con canales pronunciados producto del desgaste	Barras impactan en la zapatas o cuerpo del rodillo (diámetro exterior) o, se pierde la función de los rodillos de entrada. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
			2	Rodillos trabados o fuera de servicio (más de 3 rodillos)	Las barras se alcanzan entre sí y se impactan, también genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla fija se pierde la función de los rodillos de entrada. Se detiene la operación de la mesa de enfriamiento y de la línea de producción. Además, se generan riesgos de seguridad
	B	No son capaces de transportar la barra hasta la salida referencia de las zapatas	1	Rodillos desnivelados	Genera descontrol de la posición de las barras en la parrilla fija de la mesa de enfriamiento1, se pierde parte de la función de los rodillos de entrada. Se detiene la operación mesa de enfriamiento 1 y de la línea de producción

#### 5.3.4 Aplicación del árbol lógico de decisiones del RCM.

Para definir que estrategia de mantenimiento se debe establecer para cada modo de falla, es necesario seguir la secuencia del árbol lógico de decisiones del RCM y registrar los resultados en la hoja de decisiones del RCM. A continuación, se presentan los resultados:

Hoja de decisión de la Mesa de carga

Área: Recalentamiento										Equipo: Mesa de carga										
										Elemento: Ejes de transmisión mesa Cadenas de transferencia de la mesa										
Referencia			Consecuencias					H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta			Intervalo inicial	A realizarse por		
F	F	M	H	S	E	O	O1	O2	O3	H	H5	S4								
	F	F					N1	N2	N3	4										
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección visual del eje de transmisión de la mesa de carga (giro libre)			Diario	Mantenedor mecánico		
																Inspección del apriete de los pernos de fijación de los			4 meses	

									soportes de los ejes de transmisión			
1	A	2	S	N	N	S	S		Lubricación de los rodamientos de los ejes de transmisión	1 semana	Lubricador	
1	B	1	S	N	N	S	S		Inspección del apriete de los seguros de los sprockets de la mesa de carga	2 meses	Mantenedor mecánico	
									Inspección del alineamiento de las cadenas de transferencia			
1	B	2	S	N	N	S	S		Inspección del tensado de las cadenas de transferencia	2 meses	Mantenedor mecánico	
1	B	3	S	N	N	S	S		Inspección visual del movimiento de las cadenas de transferencia (movimiento libre)	Diario	Mantenedor mecánico	
1	B	4	S	N	N	S	S		Lubricación de los polines de las cadenas de transferencia	3 días	Lubricador	
									Inspección visual de los componentes de la cadena de transferencia	2 meses	Mantenedor mecánico	
1	B	5	S	N	N	S	N	S	Mantenimiento preventivo de las cadenas de transferencia	6 meses	Mantenedor	
1	B	6	S	N	N	S	N	S	Mantenimiento preventivo de los reguladores de las cadenas de transferencia	4 meses	Mantenedor	

**Tabla 33**

*Hoja de decisión de la Central hidráulica del horno*

<b>Área: Recalentamiento</b>									<b>Equipo: Central hidráulica del horno</b>			
									<b>Elemento: Bombas de presión</b>			
									<b>Válvulas direccionales</b>			
									<b>Cilindros hidráulicos</b>			
									<b>Bomba de recirculación</b>			
									<b>Intercambiador de calor</b>			
									<b>Tuberías hidráulicas</b>			
									<b>Mangueras de presión</b>			
<b>Referencia</b>		<b>Consecuencias</b>		H	H	H	<b>Acción a falta de</b>		<b>Tarea Propuesta</b>	<b>Intervalo inicial</b>	<b>A realizarse por</b>	
<b>F</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	1	2				
	<b>F</b>	<b>F</b>					S1	S2				
							O	O				
							1	2				
							N	N				
							1	2				



1	A	1	S	S			S			(Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de presión)	4 meses	Mantenedor mecánico
											Diario	Mantenedor mecánico
										Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de presión		
1	A	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de presión	4 años	Mantenedor mecánico
1	B	1	S	N	N	N	S			Inspección del apriete de pernos de las juntas de la bomba de presión	6 meses	Mantenedor mecánico
1	C	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		
1	C	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de presión	2 años	Mantenedor mecánico
1	D	1	S	N	N	S	S			(Inspección mediante el análisis del aceite)	3 meses	Inspector predictivo
1	D	2	S	N	N	N	N	N	S	Cambio periódico de las válvulas direccionales	4 años	Mantenedor mecánico
1	E	1	S	S			S			(Inspección visual de fugas de aceite en los cilindros hidráulicos)	4 meses	Mantenedor mecánico
1	E	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de los cilindros hidráulicos	2 años	Mantenedor mecánico
1	F	1	S	S			S			Monitorear las presiones de los cilindros hidráulicos en tiempo real	Semanal	Mantenedor mecánico
											Diario	
										Inspección visual de los manómetros de presión de los cilindros hidráulicos		
										Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por los cilindros hidráulicos		
1	F	2	S	S			S			Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines de los cilindros hidráulicos	2 mes	Mantenedor mecánico
1	G	1	S	N	N	S	S			(Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de recirculación)	4 meses	Mantenedor mecánico
										Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento		Mantenedor mecánico
											Diario	
1	G	2	S	N	N	S	N	S		Mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación	4 años	Mantenedor mecánico
1	H	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		

1	H	2	S	N	N	S	N	N	S	Mantenimiento preventivo de la bomba de recirculación	4 años	Mantenedor mecánico
1	I	1	S	N	N	S	N	S		Mantenimiento preventivo del intercambiador de calor	1 año	Mantenedor mecánico
1	I	2	S	N	N	N	N	N	S	Cambio periódico del intercambiador de calor	5 años	Mantenedor mecánico
1	K	1	S	S			S			(Inspección visual de fugas de aceite de las tuberías hidráulicas)	4 meses	Mantenedor mecánico
1	K	2	S	S			S			(Inspección visual de fugas de aceite de las tuberías hidráulicas)	4 meses	Mantenedor mecánico
1	L	1	S	N	N	N	S			Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	5 mes	Mantenedor
1	M	1	S	S		S	S			(Inspección de las fugas de aceite en las juntas y cuerpo de las mangueras hidráulicas)	4 mes	Mantenedor
1	M	1	S	N	N	N	N	N	S	Cambio periódico de las mangueras hidráulicas	1 año	Mantenedor

**Tabla 34**

*Hoja de decisión del Kick off*

Área: Recalentamiento													Equipo: Kick off			
													Elemento: Brazo kick off			
Referencia			Consecuencias					H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	H	H	S4				
	F	F					O	O	O	4	5					
							1	2	3							
							N	N	N							
							1	2	3							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambio periódico de palpador de los brazos kick off	4 mes	Mantenedor	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Limpieza interna de los brazos kick off aplicando aire comprimido a 5 bar de presión	Diaria	Mantenedor	

**Tabla 35**

*Hoja de decisión del Tren 450*

Área: Tren de desbaste											Equipo: Tren 450				
											Elemento: Reductor principal				
Referencia			Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual de las señales del sistema de seguridad	Semanal	Mantenedor mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S						(Inspección mediante la técnica de análisis vibracional)	Semanal	Inspector de predictivo
														6 meses	
1	A	3	S	N	N	S	S						Inspección por videoscopia (Inspección mediante la técnica de análisis vibracional)	Semanal	Inspector de predictivo
														6 meses	
1	A	4	S	N	N	S	S						Inspección por videoscopia Inspección por videoscopia	6 meses	Inspector de predictivo
1	B	1	S	N	N	S	S						Inspección mediante la técnica de termografía	Semanal	Inspector de predictivo
1	B	2	S	N	N	S	S						Inspección visual de la presión de aceite en el reductor	Diaria	Mantenedor
2	C	1	S	N	N	N	S						Inspección visual de la carcasa y soportes del reductor	Mensual	Mantenedor
2	C	2	S	N	N	S	S						Inspección visual de la presión de aceite en el reductor	Diaria	Mantenedor
3	D	1	S	N	N	N	S						Inspección visual del respirador de gases del reductor	2 meses	Mantenedor

**Tabla 36**

*Hoja de decisión de la Central de lubricación del Tren 450*

Área: Tren de Desbaste													Equipo: Central de lubricación del tren 450							
													Elemento: Bomba de lubricación							
													Intercambiador de calor							
													Tuberías de aceite							
Referencia			Consecuencias					H	H	H	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por				
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	H	H	S4								
							O	O	O								4	5		
							1	2	3											
							N	N	N											
							1	2	3											

1	A	1	S	S				S		(Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de lubricación)	3 meses	Inspector predictivo
										(Inspección mediante el análisis del aceite)	3 meses	Inspector predictivo
										Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de presión	Diario	Mantenedor mecánico
1	A	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de lubricación	2 años	Mantenedor mecánico
1	B	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		
1	C	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		
1	C	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de lubricación	2 años	Mantenedor mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	S		Mantenimiento preventivo del intercambiador de calor	1 año	Mantenedor mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	S		Cambio periódico del intercambiador de calor	5 años	Mantenedor mecánico
1	F	1	S	N	N	S	S			(Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de lubricación)	4 meses	Inspector de predictivo
										Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento	Diario	Mantenedor mecánico
1	F	2	S	N	N	S	S			Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	4 meses	Inspector de predictivo
1	G	1	S	N	N	S	S			Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	5 mes	Mantenedor

**Tabla 37**

*Hoja de decisión de la Central de lubricación Danieli*

Área: Central de Lubricación Danieli										Equipo: Lubricación Danieli					
										Elemento: Bombas de lubricación Intercambiador de calor Tuberías					
Referencia			Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	O1	S2	S3	H	H5	S4			
	F	F					N1	N2	N3	4					
1	A	1	S	S			S						(Inspección visual de fugas de las bombas de lubricación)	3 meses	Inspector predictivo

										(Inspección mediante el análisis del aceite)	3 meses	Inspector predictivo
										Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de lubricación	Diario	Mantenedor mecánico
1	A	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de lubricación	2 años	Mantenedor mecánico
1	B	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		
1	C	1	S	N	N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento programado (analizar rediseño)		
1	C	2	S	N	N	N	N	S		Mantenimiento preventivo de las bombas de lubricación	2 años	Mantenedor mecánico
1	D	1	S	N	N	S	N	S		Mantenimiento preventivo del intercambiador de calor	1 año	Mantenedor mecánico
1	E	1	S	N	N	S	N	S		Cambio periódico del intercambiador de calor	5 años	Mantenedor mecánico
1	F	1	S	N	N	S	S			(Inspección de las fugas de aceite en las juntas de las tuberías mediante ultrasonido)	4 meses	Inspector de predictivo
										Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento	Diario	Mantenedor mecánico
1	F	2	S	N	N	S	S			(Inspección de las fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías mediante ultrasonido)	4 meses	Inspector de predictivo
1	G	1	S	N	N	S	S			Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	5 mes	Mantenedor mecánico

**Tabla 38**

*Hoja de decisión del Tren 450*

Área: Tren de Desbaste													Equipo: Tren 450			
													Elemento: Alargaderas (superior, intermedia e inferior)			
Referencia			Consecuencias					H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	H	H5	S4				
	F	F					O	O	O	4						
							1	2	3							
							N	N	N							
							1	2	3							
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección del apriete del seguro del pin de unión de las alargaderas lado caja de laminación 1	Semanal	Mantenedor mecánico	

1	A	2	S	N	N	S	S		Inspección del apriete del seguro del pin de unión de las alargaderas lado caja de transmisión trío	Semanal	Mantenedor mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	S	Mantenimiento preventivo de las alargaderas	6 meses	Mantenedor mecánico
1	B	1	S	N	N	S	N	S	Mantenimiento preventivo de los alojamientos de las alargaderas	3 meses	Mantenedor mecánico
1	B	2	S	N	N	S	N	S	Mantenimiento preventivo de los ejes del cilindro de laminación	3 meses	Mecánico talleres
1	C	1	S	N	N	S	S		Lubricación de las alargaderas	7 días	Lubricador

**Tabla 39**

*Hoja de decisión del Tren 450*

Área: Tren de Desbaste											Equipo: Tren 450				
											Elemento: Acople trébol (superior, intermedio e inferior)				
Referencia			Consecuencias				H 1	H 2	H 3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	H	H5	S4			
	F	F					O	O	O	4					
							1	2	3						
							N	N	N						
							1	2	3						
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección del apriete de los seguros de los topes de los casquillos	2 días	Mantenedor
1	A	2	S	N	N	S	S						Inspección de posibles fisuras en el eje trébol por medio de tintes penetrantes (en el taller)	Programado	Mantenedor
1	A	3	S	N	N	S	S						Inspección de posibles fisuras del casquillo por medio de tintes penetrantes (en el taller)	Programado	Mantenedor
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Cambio de eje trébol. (Para restauración del eje trébol, se debe definir un procedimiento de recuperación.)	Programado	Mantenedor
1	B	2	S	N	N	S	N	S					Cambio del casquillo trébol. (Para la restauración del eje trébol, se debe definir un procedimiento de recuperación.)	Programado	Mantenedor
1	B	3	S	N	N	S	N	S					Lubricación de las chumaceras	2 días	Lubricador

**Tabla 40**

*Hoja de decisión del Tren 450*

Área: Tren de Desbaste													Equipo: Tren 450			
													Elemento: Soporte de acoples trébol			
Referencia			Consecuencias					H	H	H	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	H	H5	S4				
	F	F					O	O	O	4						
							1	2	3							
							N	N	N							
							1	2	3							
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual de cojinetes de metal antifricción	3 días	Mantenedor mecánico	
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Lubricación de los cojinetes de metal antifricción	Diaria	Lubricador	
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Mantenimiento preventivo de los reguladores de alturas de los acoples trébol	Semanal	Mantenedor mecánico	

## 5.4 ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

En el plan de mantenimiento, se detalla las tareas propuestas registradas en la hoja de decisiones del RCM.

**Tabla 41**

*Plan de mantenimiento. Fuente. Elaboración propia*

<b>Código</b>	<b>Tarea de mantenimiento</b>	<b>Tipo de mantenimiento</b>	<b>Responsable</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>LL-LB1-REC-HHO-BHI01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las juntas de las bombas de presión	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-BHI01</b>	Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de presión: (Presión mínima 120 bar -presión máxima 130 bar)	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-BHI01</b>	Retirar las bombas de presión, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-BHI01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la bomba de presión: Torque de apriete 84 Nm	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-BHI01</b>	Inspección del estado del aceite hidráulico mediante la técnica del análisis del aceite	Mantenimiento por condición	Inspector predictivo	3 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-VDM01</b>	Cambiar la válvula direccional de la mesa de carga	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-VADE01</b>	Cambiar la válvula direccional de la solera de elevación	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-VADT01</b>	Cambiar la válvula direccional de la solera de traslación	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-VADK01</b>	Cambiar las válvulas direccionales del kick off	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Inspección visual de fugas de aceite del cilindro hidráulico de la solera de elevación	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTS01</b>	Inspección visual de fugas de aceite del cilindro hidráulico de la solera de traslación	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEM01</b>	Inspección visual de fugas de aceite del cilindro hidráulico de la mesa de carga	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEK01</b>	Inspección visual de fugas de aceite del cilindro hidráulico de elevación kick off	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTK01</b>	Inspección visual de fugas de aceite del cilindro hidráulico de traslación kick off	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses



<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Retirar el cilindro hidráulico de la solera de elevación, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	2 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTS01</b>	Retirar el cilindro hidráulico de la solera de traslación, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	2 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEM01</b>	Retirar el cilindro hidráulico de la mesa de carga, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	2 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEK01</b>	Retirar el cilindro hidráulico de elevación kick off, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	2 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTK01</b>	Retirar el cilindro hidráulico de traslación kick off, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	2 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Monitorear de la presión del cilindro hidráulico de la solera de elevación en tiempo real (verificación del sincronismo del movimiento en ambos cilindros)	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Inspección visual de la presión de ingreso al cilindro hidráulico de la solera de elevación: Presión mínima 110 bar – presión máxima 120 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTS01</b>	Inspección visual de la presión de ingreso al cilindro hidráulico de la solera de traslación: Presión mínima 110 bar – presión máxima 120 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEM01</b>	Inspección visual de la presión de ingreso al cilindro hidráulico de la mesa de carga: Presión mínima 110 bar – presión máxima 120 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEK01</b>	Inspección visual de la presión de ingreso al cilindro hidráulico de elevación kick off: Presión mínima 110 bar – presión máxima 120 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTK01</b>	Inspección visual de la presión de ingreso al cilindro hidráulico de traslación kick off: Presión mínima 110 bar – presión máxima 120 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por el cilindro hidráulico de la solera de elevación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario

<b>LL-LB1-REC-HHO-CTS01</b>	Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por el cilindro hidráulico de la solera de traslación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEM01</b>	Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por el cilindro hidráulico de la mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEK01</b>	Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por el cilindro hidráulico de elevación del kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTK01</b>	Inspección visual del libre desplazamiento de los equipos accionados por el cilindro hidráulico de traslación del kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-CES01</b>	Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines del cilindro hidráulico de la solera de elevación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTS01</b>	Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines del cilindro hidráulico de la solera de traslación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEM01</b>	Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines del cilindro hidráulico de la mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CEK01</b>	Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines del cilindro hidráulico de elevación kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-CTK01</b>	Inspección del apriete de los pernos de la base y seguros de los pines del cilindro hidráulico de traslación kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-BRE01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las juntas de la bomba de recirculación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-BRE01</b>	Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-HHO-BRE01</b>	Retirar las bombas de recirculación, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	4 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-ICA01</b>	Retirar el intercambiador de calor, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y limpieza de los conductos obstruidos	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	1 año
<b>LL-LB1-REC-HHO-ICA01</b>	Cambiar del intercambiador de calor	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	5 años
<b>LL-LB1-REC-HHO-THE01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en la tubería hidráulica del circuito del cilindro de elevación de la solera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THT01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en la tubería hidráulica del circuito del cilindro de traslación de la solera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THM01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en la tubería hidráulica del circuito del cilindro de mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses

<b>LL-LB1-REC-HHO-THK01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en la tubería hidráulica del circuito del cilindro del kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THE01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería hidráulica y fijación de los soportes del circuito del cilindro de elevación de la solera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THT01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería hidráulica y fijación de los soportes del circuito del cilindro de traslación de la solera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THM01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería hidráulica y fijación de los soportes del circuito del cilindro de mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-THK01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería hidráulica y fijación de los soportes del circuito del cilindro del kick off	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-MH01</b>	Inspección de las fugas de aceite en las juntas y cuerpo de las mangueras hidráulicas	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-HHO-MH01</b>	Cambiar de las mangueras hidráulicas	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	1 año
<b>LL-LB1-REC-MCA-EME01</b>	Inspección visual del libre giro de los ejes de transmisión de la mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-MCA-EME01</b>	Inspección del apriete de los pernos de fijación de los soportes del eje de transmisión: Torque de apriete 209 Nm	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-MCA-EME01</b>	Lubricación de los rodamientos de los ejes de transmisión	Mantenimiento por condición	Lubricador	semanal
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Inspección del apriete de los seguros de los sprockets de la mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Inspección del alineamiento de las cadenas de transferencia de acuerdo con el procedimiento indicado	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Inspección visual del libre movimiento de las cadenas de transferencias de la mesa de carga	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Lubricación de los polines de las cadenas de transferencia	Mantenimiento por condición	Lubricador	3 días
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Inspección visual de los componentes de la cadena de transferencia	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-REC-MCA-CTR01</b>	Limpieza y revisión de los reguladores de tensado de las cadenas de transferencia	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses

<b>LL-LB1-REC-KOF-BKO01</b>	Cambio del palpador de los brazos kick off	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-REC-KOF-BKO01</b>	Limpieza interna de los brazos kick off aplicando aire comprimido a 5 bar de presión	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	Diaria
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección visual de las señales del sistema de seguridad	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección del reductor principal mediante la técnica de análisis vibracional	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección del reductor principal mediante videoscopia	Mantenimiento por condición	Inspector predictivo	6 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección mediante la técnica de termografía	Mantenimiento por condición	Inspector predictivo	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección visual de la presión de aceite en el reductor	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diaria
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección visual de la carcasa y soportes del reductor	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Mensual
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección visual de la presión de aceite en el reductor	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diaria
<b>LL-LB1-TDE-T450-REDP01</b>	Inspección visual del respirador de gases del reductor	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAS01</b>	Inspección del apriete del seguro del pin de unión de la alargadera lado caja de laminación 1 y lado caja transmisión trío	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAM01</b>	Inspección del apriete del seguro del pin de unión de la alargadera lado caja de laminación 1 y lado caja transmisión trío	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAI01</b>	Inspección del apriete del seguro del pin de unión de la alargadera lado caja de laminación 1 y lado caja transmisión trío	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAS01</b>	Realizar la inspección y limpieza interna de los componentes de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAM01</b>	Realizar la inspección y limpieza interna de los componentes de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	6 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAI01</b>	Realizar la inspección y limpieza interna de los componentes de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	6 meses

<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAS01</b>	Reacondicionamiento los alojamientos de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Proveedor	3 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAM01</b>	Reacondicionamiento los alojamientos de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Proveedor	3 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAI01</b>	Reacondicionamiento los alojamientos de la alargadera	Mantenimiento preventivo	Proveedor	3 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAS01</b>	Lubricación de la alargadera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAM01</b>	Lubricación de la alargadera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ALAI01</b>	Lubricación de la alargadera	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTS01</b>	Inspección del apriete de los seguros de los topes de los casquillos lado caja de laminación C1 y lado caja de laminación C2	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 días
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTM01</b>	Inspección del apriete de los seguros de los topes de los casquillos lado caja de laminación C1 y lado caja de laminación C2	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 días
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTI01</b>	Inspección del apriete de los seguros de los topes de los casquillos lado caja de laminación C1 y lado caja de laminación C2	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 días
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTS01</b>	Inspección de posibles fisuras en el eje trébol y casquillo por medio de tintes penetrantes, la inspección de realizará en taller	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTM01</b>	Inspección de posibles fisuras en el eje trébol y casquillo por medio de tintes penetrantes, la inspección de realizará en taller	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTI01</b>	Inspección de posibles fisuras en el eje trébol y casquillo por medio de tintes penetrantes, la inspección de realizará en taller	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTS01</b>	Cambio de eje trébol y casquillo (Para restauración del eje trébol y el casquillo, se recomienda realizar un procedimiento del proceso.)	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTM01</b>	Cambio de eje trébol y casquillo (Para restauración del eje trébol y el casquillo, se recomienda realizar un procedimiento del proceso.)	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	2 meses
<b>LL-LB1-TDE-T450-ACOTI01</b>	Cambio de eje trébol y casquillo (Para restauración del eje trébol y el casquillo, se recomienda realizar un procedimiento del proceso.)	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	2 meses

<b>LL-LB1-TDE-T450-SOPT01</b>	Inspección visual de cojinetes de metal antifricción	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	3 días
<b>LL-LB1-TDE-T450-SOPT01</b>	Lubricación de los cojinetes de metal antifricción	Mantenimiento por condición	Lubricador	Diario
<b>LL-LB1-TDE-T450-SOPT01</b>	Limpieza y revisión de los reguladores de alturas de los acoples trébol	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LLB1-TDE-L450-LUB-BOMB01</b>	Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de lubricación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LLB1-TDE-L450-LUB-BOMB01</b>	Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de presión: Presión mínima 4.2 bar – Presión máxima 5 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LLB1-TDE-L450-LUB-BOMB01</b>	Inspección del estado del aceite hidráulico mediante la técnica del análisis del aceite	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	3 meses
<b>LLB1-TDE-L450-LUB-BOMB01</b>	Retirar las bombas de lubricación, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	4 años
<b>LL-LB1-TDE-L450-INTC01</b>	Limpieza y revisión de los tubos internos del intercambiador de calor	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	1 año
<b>LL-LB1-TDE-L450-INTC01</b>	Cambio periódico del intercambiador de calor	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	5 años
<b>LL-LB1-TDE-L450-TAQA01</b>	Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-TDE-L450-TUBR01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-TDE-L450-TUBT01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-TDE-L450-TUBR01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	5 meses
<b>LL-LB1-TDE-L450-TUBT01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	5 meses
<b>LLB1-TDE-LDAN-LUB-BOM01</b>	Inspección visual de fugas de aceite por las juntas de las bombas de lubricación	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LLB1-TDE-LDAN-LUB-BOM01</b>	Inspección visual de los manómetros de presión de las bombas de presión: Presión mínima 4.5 bar – presión máxima 5.3 bar	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LLB1-TDE-LDAN-LUB-BOM01</b>	Inspección del estado del aceite hidráulico mediante la técnica del análisis del aceite	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	3 meses

<b>LLB1-TDE-LDAN-LUB-BOM01</b>	Retirar las bombas de lubricación, realizar el desarmado para la inspección de los componentes internos y reemplazar los componentes defectuosos	Mantenimiento preventivo	Proveedor	4 años
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-INTC01</b>	Limpieza y revisión de los tubos internos del intercambiador de calor	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	1 año
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-INTC01</b>	Cambio periódico del intercambiador de calor	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	5 años
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TAQ01</b>	Inspección visual del nivel de aceite en el tanque de almacenamiento	Mantenimiento por condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR01</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR02</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR03</b>	Inspección visual de fugas de aceite en las uniones soldadas de las tuberías	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR01</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	5 meses
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR02</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	5 meses
<b>LL-LB1-TDE-LDAN-TUBR03</b>	Inspección del apriete de pernos de las juntas de la tubería y fijaciones de los soportes	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	5 meses
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>	Inspección visual de la pista superior de las zapatas	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>	Cambio de componentes en mal estado: bocina, alojamientos y pines	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	3 meses
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>	Inspección visual de los seguros y pasadores de los pines en todas las uniones flexibles	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	3 días
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>	Lubricación de las uniones móviles flexibles	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Diaria
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-REDZ01</b>	Cambio de componentes en mal estado: Excéntrica y polín	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-MODZ01</b>	Control del desgaste de las paredes laterales de los módulos fundidos	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	15 días
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-MODZ01</b>	Inspección visual del alineamiento de los módulos fundidos	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	1 mes

<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01</b>	Control del desgaste del diámetro exterior de los rodillos de entrada	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	2 días
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01</b>	Inspección visual del buen funcionamiento de los rodillos: Sin vibración, ruidos extraños, giro libre	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Diario
<b>LL-LB1-ME1-ZCA1-RODZ01</b>	Inspección del nivel de los rodillos de entrada: Se debe utilizar algún patrón como referencia	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	Inspección visual de la pista superior de las zapatas	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Semanal
<b>LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	Cambio de componentes en mal estado: bocina, alojamientos y pines	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	3 meses
<b>LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	Inspección visual de los seguros y pasadores de los pines en todas las uniones flexibles	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	3 días
<b>LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	Lubricación de las uniones móviles flexibles	Monitoreo de condición	Mantenedor mecánico	Diaria
<b>LL-LB1-ME1-ZCA2-REDZ02</b>	Cambio de componentes en mal estado: Excéntrica y polín	Mantenimiento preventivo	Mantenedor mecánico	4 meses



#### 5.4.1 Repuestos y herramientas.

En el análisis de criticidad y la elaboración del AMEF, se identificó la necesidad de adquirir algunos repuestos, así mismo herramientas que faciliten y aseguren la buena ejecución de las tareas de mantenimiento propuestas.

**Tabla 42**

*Repuestos y herramientas*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Cámara de endoscopia	unidad	01
2	Líquidos penetrantes	juego	01
3	Torquímetro	unidad	01
4	Manómetros de presión	unidad	04
5	Bomba de recirculación	unidad	01
6	Válvula direccional mesa	unidad	03
7	Válvula direccional elevación solera	unidad	01
9	Válvula direccional traslación solera	unidad	01
10	Válvula direccional kick off	unidad	08
11	Intercambiador de calor	unidad	01

#### 5.5. RESULTADOS ESPERADOS DE LA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.

Para determinar los beneficios de la propuesta, se propuso tres escenarios: Escenario conservador, escenario ideal y escenario optimista. Los egresos por la implementación del RCM se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla 43**

*Egresos por la implementación del RCM*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (dólares)	Costo total (dólares)
1	Cámara de endoscopia	unidad	01	2,500	2,500
2	Líquidos penetrantes	juego	01	200	200
3	Torquímetro	unidad	01	900	900
4	Manómetros de presión	unidad	04	250	1000
5	Bomba de recirculación	unidad	01	4,000	4,000
6	Válvula direccional mesa	unidad	03	900	2,700
7	Válvula direccional elevación solera	unidad	02	1,300	2,600

9	Válvula direccional traslación solera	unidad	01	1,300	1,300
10	Válvula direccional kick off	unidad	08	900	7,200
11	Intercambiador de calor	unidad	01	5,000	5,000
12	Desarrollo del plan de mantenimiento basado en el RCM	horas	360	15	5,400
13	Capacitación del personal	horas	120	15	1,800
14	Otros	unidad	1	3,460	3,460
Total		-	-	-	38,060

### 5.5.1. Evaluación de escenarios.

- **Escenario conservador.** La disponibilidad promedio del año 2019 es 87.05% y las horas de producción disponibles fueron 6,305 horas; para este escenario se planteó mejorar la disponibilidad en 1.5%, con ello la nueva disponibilidad es 88.55%. Para efectos del cálculo del nuevo tiempo de las horas de paradas no programadas, se utilizó la ecuación de disponibilidad de los equipos.

$$\text{Tiempo de parada} = \frac{\text{Horas de producción disponibles}}{\text{Disponibilidad}} - \text{Horas de producción disponibles}$$

$$\text{Tiempo de parada} = \frac{6,035 \text{ horas}}{88.55\%} - 6,305 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de parada} = 815 \text{ horas}$$

Las horas de paradas no programadas del año 2019 son alrededor de 963 horas, y el tiempo de parada no programadas propuesto corresponde a 815 horas, la diferencia son las horas recuperadas que son alrededor de 149 horas. En la figura 5.52 se muestra el beneficio correspondiente a las horas recuperadas.

$$\text{Producción (ton)} = \text{Horas recuperadas} * \text{peso palanquilla} * \text{factor 1}$$

$$\text{Beneficio (dólares)} = \text{Producción(ton)} * \text{margen} \left( \frac{\text{dólares}}{\text{ton}} \right)$$

$$\text{Factor 1} = \text{Rendimiento metálico (\%)} * \text{utilización (\%)} * \text{ritmo de laminación} \left( \frac{\text{barras}}{\text{hora}} \right)$$

El factor 1 corresponde a la multiplicación del rendimiento metálico de la palanquilla, la utilización de la línea de producción y el ritmo de laminación de la línea de producción. Por ser información confidencial de la empresa, los valores de cada uno de ellos no son mostrados en esta investigación.

El margen de ganancia de una tonelada de acero, para este caso el valor que se indica corresponde a un promedio del historial de la empresa, los valores tomados no se muestran por ser información confidencial de la empresa.

**Tabla 44**

*Beneficio escenario conservador*

<b>Horas recuperadas</b>	<b>Peso de palanquilla (ton)</b>	<b>Factor 1 (barras/hora)</b>	<b>Margen (dólares/ton)</b>	<b>Producción (ton)</b>	<b>Beneficio (dólares)</b>
<b>149</b>	0.723	48.05	110	5,177	569,424

Entonces, para el escenario conservador se tiene un beneficio de 569,424 dólares.

- **Escenario ideal.** En este escenario se propuso aumentar la disponibilidad en 2% entonces, el nuevo valor de la disponibilidad es 89.05%. Teniendo en cuenta los datos del año base 2019, se realizan los cálculos siguiendo el procedimiento del escenario conservador.

$$\text{Tiempo de parada} = \frac{6,035 \text{ horas}}{89.05\%} - 6,305 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de parada} = 775 \text{ horas}$$

**Tabla 45**

*Beneficio escenario ideal*

<b>Horas recuperadas</b>	<b>Peso de palanquilla (ton)</b>	<b>Factor 1 (barras/hora)</b>	<b>Margen (dólares/ton)</b>	<b>Producción (ton)</b>	<b>Beneficio (dólares)</b>
<b>189</b>	0.723	48.05	110	6,566	722,290

Para este escenario ideal se tiene un beneficio de 722,290 dólares.

- **Escenario optimista.** La disponibilidad aumenta en 3%, siendo el nuevo valor de la disponibilidad 90.05%. De la misma manera realizamos los cálculos como en los escenarios anteriores.

$$\text{Tiempo de parada} = \frac{6,035 \text{ horas}}{90.05\%} - 6,305 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de parada} = 697 \text{ horas}$$

**Tabla 46**

*Beneficio escenario optimista*

<b>Horas recuperadas</b>	<b>Peso de palanquilla (ton)</b>	<b>Factor 1 (barras/hora)</b>	<b>Margen (dólares/ton)</b>	<b>Producción (ton)</b>	<b>Beneficio (dólares)</b>
267	0.723	48.05	110	9,276	1,020,378

Este escenario tiene un beneficio de 1,020,378 dólares.

## 5.6. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

Para efectuar los cálculos de la recuperación de la inversión se tuvo en cuenta el costo de la inversión, se determinó un flujo de caja proyectado a ocho años de acuerdo con la política de la empresa, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el indicador del Beneficio / Costo, ver tabla 5.1 a tabla 5.4. Cabe destacar que se han considerado las siguientes condiciones a la hora de realizar los cálculos: (a) la inversión para implementar la propuesta sea de \$ 38,068; (b) que el EBITDA para el año 1 sea de \$ 722,290 (beneficio del escenario ideal); (c) que el porcentaje del aumento del EBITDA para el año 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 sea del 13%, 5%, 3%, 4%, 4%, 4%, 4%, respectivamente; (d) que el porcentaje del Impuesto a la Renta sea del 29.50%; (e) que el

porcentaje de la depreciación anual sea de 10%; y (f) que el COK del proyecto por políticas de la empresa sea del 12%.

**Tabla 47**

*Beneficio por implementación de la propuesta*

Descripción	Monto
Horas recuperadas (horas)	189
Producción recuperada (ton)	6,566
Margen (dólares/ton)	110
Beneficio (dólares)	722,290
Beneficio (soles)	2'773,593.6

**Nota.** Se asumió una tasa de cambio de S/ 3.84 según el Banco Central de Reserva del Perú en enero 2023.

**Tabla 48**

*Participación del beneficio por la implementación de la propuesta*

Descripción	Monto
Utilidad neta de la empresa en el 2019	S/ 89'157,000.00
85% de participación de la barra de construcción	S/ 75'783,450
Beneficio con la implementación año 1	S/ 2'773,593.6
Participación del beneficio	3.7%

**Tabla 49***Flujo de Caja Proyectado (\$)*

Flujo de Caja Proyectado	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Ebitda		722,290.00	816,187.70	856,997.09	882,707.00	918,015.28	954,735.89	992,925.32	1,032,642.34
(-) Depreciación		-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00	-3,806.00
(-) Amortización		-	-	-	-	-	-	-	-
EBIT		718,484.00	812,381.70	853,191.09	878,901.00	914,209.28	950,929.89	989,119.32	1,028,836.34
(-) Gastos Financieros		-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Ingresos Financieros		-	-	-	-	-	-	-	-
EBT		718,484.00	812,381.70	853,191.09	878,901.00	914,209.28	950,929.89	989,119.32	1,028,836.34
(-) Impuesto a la Renta		-211,952.78	-239,652.60	-251,691.37	-	-269,691.74	-	-291,790.20	-303,506.72
					259,275.79		280,524.32		
Utilidad Después de Impuestos		506,531.22	572,729.10	601,499.71	619,625.20	644,517.54	670,405.57	697,329.12	725,329.62
(+) Depreciación		3,806.00	3,806.00	3,806.00	3,806.00	3,806.00	3,806.00	3,806.00	3,806.00
Flujo de Caja Proyectado	-38,060.00	510,337.22	576,535.10	605,305.71	623,431.20	648,323.54	674,211.57	701,135.12	729,135.62

**Tabla 50***Indicadores Financieros*

Indicador	Resultado
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 3'025,351.26
Tasa Interna de Retorno (TIR)	1353%
Beneficio/Costo	80.49

En la tabla 50 se muestra un VAN mayor a cero (\$ 3'025,351.26), la TIR de 1353%, que es mayor a la tasa de descuento establecida (12%) y el beneficio/costo es mayor a 1 (80.49); por lo que por cada dólar invertido se estaría recuperando \$ 80.49.

Se calculó el periodo de recuperación de la inversión obteniendo un valor de 0.07, este valor quiere decir que aproximadamente en 27 días se recuperará la inversión.

**Tabla 51***Período de Recuperación de la Inversión*

Año	Flujos de Caja Proyectados	Período de Recuperación
0	\$ -38,060.00	\$ -38,060.00
1	\$ 510,337.22	\$ 472,277.22
2	\$ 576,535.10	\$ 1,048,812.32
3	\$ 605,305.71	\$ 1,654,118.03
4	\$ 623,431.20	\$ 2,277,549.24
5	\$ 648,323.54	\$ 2,925,872.78
6	\$ 674,211.57	\$ 3,600,084.35
7	\$ 701,135.12	\$ 4,301,219.47
8	\$ 729,135.62	\$ 5,030,355.09
Periodo de Recuperación		0.07

## **6. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se menciona las conclusiones encontradas en cada uno de los capítulos de este trabajo de investigación, así mismo se elaboró algunas recomendaciones importantes que ayudarán al cumplimiento de los objetivos.

### **6.1. CONCLUSIONES**

- Para definir alguna metodología o estrategia de mantenimiento eficiente para los equipos o activos, es necesario conocer su situación actual; para ello se debe evaluar la disponibilidad y estimar los parámetros de la función de Weibull para ubicar en qué fase de la curva de la bañera se encuentran los equipos. En este trabajo de investigación se calculó una disponibilidad de 87.05% y se estimó el valor del parámetro de la función de Weibull, Beta  $\beta = 3.45$  ubicándose en la fase III de envejecimiento.
- La implementación de la metodología del RCM se desarrolló en los elementos de los equipos que generaron el 80% de los problemas. Para ello fue necesario utilizar la herramienta de análisis del diagrama de Pareto y el análisis de criticidad de cada uno de los elementos de los equipos. Como resultado se obtuvieron 12 equipos de los cuales se analizaron 77 elementos.
- Vemos que, de acuerdo a las evaluaciones realizadas, este trabajo de investigación se realizó para un grupo de elementos, previa evaluación sería prudente extender esta investigación hacia el resto de los equipos de la línea de barras de construcción N°1.
- Es de vital importancia que el equipo de trabajo para la implementación del RCM tenga representantes de producción, así mismo debe haber un asesor experimentado en el tema. Esto garantiza excelentes resultados, no podemos imaginar elaborar los modos de fallos y hoja de decisión del RCM solo con el personal de mantenimiento y sin alguien experimentado en el tema.



- Las tareas de mantenimiento que implican la aplicación de la técnica de análisis de vibración serán realizadas por medio de un inspector de mantenimiento predictivo, quien hará el monitoreo de vibración en las fechas programadas de acuerdo a la frecuencia indicada en el plan de mantenimiento. Al mediano plazo, la empresa deberá evaluar la alternativa de implementar el monitoreo de vibración on-line, la toma continua permite detectar inmediatamente cualquier cambio en la vibración del equipo, también reduce los intervalos de recolección de datos por parte del inspector de mantenimiento predictivo.
- Por último, la evaluación económica realizada fue teniendo en cuenta los criterios e indicadores financieros que la empresa utiliza para evaluar los proyectos de inversión. En este trabajo de investigación se probó que la propuesta de implementación del RCM es la más recomendable y viable para los intereses de la empresa.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Algunas tareas donde no se programa ninguna tarea de mantenimiento y se recomienda un rediseño, deberán ser atendidas por la empresa. Su desarrollo implica la creación de procedimientos y/o estándares para la buena ejecución de tareas correctivas en equipos críticos, así mismo es necesario evaluar mejoras en los elementos de los equipos, ello implica realizar modificaciones en los diseños tanto de formas como de materiales.
- El personal de mantenimiento debe estar debidamente entrenado y capacitado con la metodología del RCM. La buena ejecución y cierre de las tareas aseguran el éxito de la gestión.
- El plan de mantenimiento y el análisis de criticidad de los equipos deberán tener una frecuencia de revisión, lo recomendable sería establecer una revisión anual.



## BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (2018). Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. UNE-EN 13306:2018.

Madrid: AENOR.

Amendola, L., Depool, M., Tibaire, A., Sánchez, A., Oilivero, H., & Borrell, L. (2016).

Proposal of a model of cost benefit risks in decision making the. Journal Project

Management

and

Engineering,

<https://www.aepro.com/files/congresos/2016cartagena/01031.4538.pdf>.

Andrade, R., & Ramos, M. (2020). Propuesta de la metodología RCM en la gestión de

mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado

Primario en una empresa minera. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

(UPC).

Ángeles, W., & Panta, M. (16 de Enero de 2020). Mejora de procesos de la gestión de

inventarios para la optimización de los costos en una empresa importadora ferretera.

Obtenido de Mejora de procesos de la gestión de inventarios para la optimización de

los costos en una empresa importadora ferretera:

[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2617/IND\\_Angeles-](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2617/IND_Angeles-Panta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[Panta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2617/IND_Angeles-Panta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Bojorquez, F. (2018). Diseño de un plan de mantenimiento productivo total para el área de

texturizado en una empresa productora de yeso. Tesis (Título de ingeniero Industrial

y Sistemas). 14-16. Navojoa: Instituto Tecnológico de Sonora. Retrieved Agosto 10,

2021, from [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/237\\_fabiola\\_bojorquez.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/237_fabiola_bojorquez.pdf)

Cadena, P., Redón, R., Jorge, A., Salinas, E., Cruz, F., & Sangerman, D. (2017). Métodos

cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un

acercamiento en las ciencias sociales. 8(7).

- Carpio, A. (2016). Planteamiento del proceso constructivo de un puente peatonal de acero estructural que permita el acceso con seguridad a la Universidad de Guayaquil. (Tesis de Grado). Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Castela, F. (2016). MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Curva de la bañera. <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>: mantenimientoindustrialweb.
- Cedeño, W., & Gorozabel, F. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 49-65 - Doi: <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edesep.0029>.
- Centeno, A. (2022). Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos críticos de la empresa J.G.L. Ingenieros Consultores y Constructores E.I.R.L., Moquegua. (Tesis de Grado). Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Chucas, J. (2022). Propuesta de Mantenimiento Basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de los tractores John Dere de la Empresa Ecosac Agrícola S.A.C. (Tesis de Grado). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Díaz, F. (2018). Conformado mediante deformación plástica de metales. Cuautitlán Izcalli - [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m8/Conformado\\_Metales.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m8/Conformado_Metales.pdf): Universidad Nacional Autónoma de México.
- Enríquez, J., Tremps, E., Elío, S., & Fernández, D. (2010). LAMINACIÓN. Madrid - [https://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2\\_MONO\\_2010.pdf](https://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2_MONO_2010.pdf): Monografías sobre Tecnología del Acero. Parte IV.

- Escajadillo, D., & Ramírez, R. (2022). Informe de SIDER Perú. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos104/informe-sider-peru/informe-sider-peru>
- Escobar, C., Murillo, J., Garrido, B., & Palacio, A. (2021). Propuesta para mejorar el nivel de servicio de Atención al Cliente en la Industria Farmacéutica. *Revista oletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 3 - Doi: <https://doi.org/10.17981/bilo.3.1.2021.04>.
- Fabbri, M. (2015, Julio). Las técnicas de investigación: la observación. Retrieved Septiembre 1, 2021, from [humyar.unr.edu.ar/escuelas/3/materiales%20de%20catedras/trabajo%20de%20campo/solefabril.htm](http://humyar.unr.edu.ar/escuelas/3/materiales%20de%20catedras/trabajo%20de%20campo/solefabril.htm)
- Gallach, F., Soler, V., Molina, A., & Bernabeu, E. (2020). Diagrama de Pareto y Lean Manufacturing. *Revista APLICADA*, 19.
- Gómez, M., Suárez, J., Botiño, Y., & Zumalacárregui, L. (2020). Aplicación del análisis modal de fallas y efectos al proceso de encapsulado del Palmex. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 121-131 - Doi: <https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevBiol/article/view/336>.
- Gonzáles, V. (2018). Indicadores de mantenimiento en las insituciones universitarias públicas de la Costa Oriental del Lago. 1(1), 57-72.
- Google. (03 de Febrero de 2022). Google Maps. Obtenido de <https://www.google.com/search?sxsrf=APq-WBup68rQMooM3XYZM70sHXz9N7IEqg:1643911658676&q=ACEROS+DEL+NORTE+PERU&npsic=0&rflfq=1&rldoc=1&rllag=-8630868,-78890940,421357&tbm=lcl&sxsrf=APq-WBup68rQMooM3XYZM70sHXz9N7IEqg:1643911658676&sa=X&ved=2ahUK-Ewivv9KTkOT1A>

- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2021). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. México: R2M. S.A Reliability and Risk Management.
- Huamanchuno, J. (2019). *Propuesto para la implementación de sistemas fotovoltaicos modulares para el consumo energético en el caserío Cutirrape, Distrito Olmos, Provincia y Región de Lambayeque*. (Tesis de Grado). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Huaynalaya, G. (2021). *Propuesta de mejora para la reducción de las paradas de producción en la zona de Acabados de la planta Aceros Arequipa aplicando herramientas Lean Manufacturing*. (Tesis de Grado). Lima: Universidad de Ciencias Aplicadas.
- Infraspeak. (2020). Disponibilidad vs. Fiabilidad vs. Mantenibilidad: ¿Cuál Es la Diferencia? Retrieved Agosto 10, 2021, from <https://blog.infraspeak.com/es/disponibilidad-fiabilidad-mantenibilidad/>
- Lozada, J. (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento productivo total para la maquinaria de recuperación de turbinas del CIRT en la empresa CELEC EP Hidroargoyan* (Tesis de Grado). Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Martínez, J. (2018). *Análisis de criticidad aplicado a sistemas productivos en la industria procesadora de alimentos, basado en el modelo semi-cuantitativo MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo)*. Bogotá: ASME. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Carlos\\_Parra29/publication/343135649\\_Analisis\\_de\\_criticidad\\_aplicado\\_a\\_sistemas\\_productivos\\_en\\_la\\_industria\\_procesadora\\_de\\_alimentos\\_basado\\_en\\_el\\_modelo\\_semi-cuantitativo\\_MCR\\_Matriz\\_de\\_Criticidad\\_por\\_Riesgo/links/5f184](https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Parra29/publication/343135649_Analisis_de_criticidad_aplicado_a_sistemas_productivos_en_la_industria_procesadora_de_alimentos_basado_en_el_modelo_semi-cuantitativo_MCR_Matriz_de_Criticidad_por_Riesgo/links/5f184)

- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 348-360 - Doi: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052019000300348&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052019000300348&script=sci_arttext&tlng=en).
- Molina, L. (2017). Aproximación conceptual aplicada de programa informático RCM. Medellín - <https://docplayer.es/95803669-Aproximacion-conceptual-aplicada-de-programa-informatico-rcm-luis-fernando-molina-ochoa-estudiante-maestria-en-ingenieria-enfasis-mantenimiento.html>: Universidad EAFIT.
- Muso, C., & Otavalo, A. (2018). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para el tren de laminación de productos pequeños (LPP) de la Empresa Novacero S.A. Planta Lasso. (Tesis de Grado). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Negrete, L. (2020). Propuesta de un diseño de un plan de mantenimiento preventivo total (TPM) en una línea de producción de envases plásticos en la empresa SENCO S.A. Tesis (Título Ingeniero Industrial). 25-50. Guayaquil: Universidad Estatal de Guayaquil. Retrieved Agosto 10, 2021, from <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51299/1/4.%20NEGRETE%20SATAN%20LUIS%20MIGUEL.pdf>
- Ovalles, J., Gisbert, V., & Pérez, A. (2017). Herramientas para el análisis de causa raíz (ACR). *Revista 3C Empresa: Investigación y Pensamiento Crítico*, 1(9), 1-9.
- Palacios, J. (2020). Implementación del plan de mantenimiento empleando el software Cloudfleet con la empresa GIT Masivo S.A. Tesis (Título ingeniero Mecánico). 58-60. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Retrieved Agosto 10, 2021, from <https://dspace->

uao.metacatalogo.com/bitstream/handle/10614/12656/T09478.pdf?sequence=5&is  
Allowed=y

Panel. (2020). Acero laminado. Obtenido de <https://polin.mx/blog/que-es-el-rolado-en-caliente/>

Pedraza, O. (2018). Implementación de un plan integral de mantenimiento basado en la metodología de la confiabilidad para el área del dimensionado de la Corporación Aceros Arequipa S.A. (Tesis de Grado). Lima: Universidad Privada del Norte.

Pumazon, A., & Villegas, M. (2020). Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Mejorar la Confiabilidad de los Equipos Eléctricos del Laminador 2 - Siderperu, Chimbote. (Tesis de Grado. Chimbote: Univesidad César Vallejo.

Renovetec. (2015). ¿Quieres saberlo todo sobre la elaboración de un plan de mantenimiento? (Renovec Tecnología) Retrieved Agosto 10, 2021, from <http://www.renovetec.com/irim/sobre-mantenimiento/planes-de-mantenimiento/que-es-un-plan-de-mantenimiento>

Romano, D. (2020). Plan de mantenimiento preventivo bajo la Norma ISO 9001:2015, para la Corporación Aceros de Guatemala S.A. (Tesis de Grado). 2020: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sánchez, B. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Sánchez, C., & Ardila, J. (2018). Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de activos en la Planta de producción de acero figurado bajo los lineamientos de la NTC ISO 55001. (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.



- SIDENOR. (09 de 2022). El rápido y exitoso revamping del tren de barras de Sidenor Basauri permite aumentar desde la actual productividad de 85 T/h hasta las 130T/h en caso de ser necesarios a futuro. Obtenido de <https://www.sidenor.com/es/revamping-tren-barras-sidenor/>
- Silva, J., & Flores, L. (2019). La actividad agrícola en localidades rurales en procesos conurbatorios: Una aproximación mediante el diagrama de Ishikawa. RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración, 49-79.
- Studocu. (2018). Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. UNE-EN 13306:2018. Madrid: AENOR.
- SYSOM. (2018). Mantenimiento Productivo Total. Retrieved Agosto 10, 2021, from <https://www.sysom.com.mx/asesorias-tpm/>
- Ugarte, L. (2021). Memoria Anual 2021 SIDERPERU S.A. Chimbote: GERDAU.
- Valuekeep. (2020). ¿Qué es el MTTR y MTBF? Retrieved Agosto 10, 2021, from <https://valuekeep.com/es/recursos/e-books-articulos/que-es-el-mttr-y-mtbf/>
- Villena, A. (2017). Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). 25-35. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved Agosto 10, 2021, from <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622200?locale-attribute=es>

## ANEXOS

### Anexo 1: Disponibilidad del 2019 de los equipos de la línea barras de construcción N°1

Mes	Días del mes	Horas calendario	Horas programadas	Horas disponibles	Frecuencia de fallas	Horas paradas	MTBF (hora/falla)	MTTR (hora/falla)	Disponibilidad (2019)
Enero	31	744	168	576	137	93	3.52	0.67	83.9%
Febrero	28	672	177	495	176	91	2.30	0.52	81.6%
Marzo	31	744	167	577	279	64	1.84	0.23	88.8%
Abril	30	720	170	550	239	75	1.99	0.31	86.4%
Mayo	31	744	187	557	194	57	2.57	0.29	89.8%
Junio	30	720	169	551	265	89	1.75	0.34	83.9%
Julio	31	744	221	523	297	118	1.36	0.40	77.4%
Agosto	31	744	172	572	231	58	2.22	0.25	89.9%
Setiembre	30	720	175	545	278	125	1.51	0.45	77.0%
Octubre	31	744	367	377	226	91	1.26	0.40	75.8%
Noviembre	30	720	199	521	376	58	1.23	0.15	88.9%
Diciembre	31	744	283	461	199	45	2.09	0.22	90.3%
Total	365	8760	2455	6305	2898	964	1.84	0.33	87.05%



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**DECANATO**



**ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°015-2023-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día jueves 20 de abril de 2023. Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/fab-awjc-gut>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°095-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 18 de abril de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Trabajo de Tesis modalidad ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE  
ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO  
M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ

PRESIDENTE  
SECRETARIO  
MIEMBRO  
ASESOR

Se recibió el Trabajo de tesis modalidad ordinaria titulada:

**“SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN N°1 DE SIDEPERU, PROVINCIA DEL SANTA, DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **MARTINEZ ARBOLEDA GUILLERMO ARTURO**

Finalizada la sustentación virtual del Trabajo de Tesis modalidad ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención **BUENO**.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

\_\_\_\_\_  
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO  
MIEMBRO

\_\_\_\_\_  
M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE  
SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
M.Sc. Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ  
ASESOR

ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **M.Sc. ING. OSCAR MENDEZ CRUZ**, usuario revisor del documento titulado:  
**“SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA  
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS DE LA  
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN N° 1 DE  
SIDERPERU, PROVINCIA DEL SANTA, DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

Cuyo autor es, **GUILLERMO ARTURO MARTINEZ ARBOLEDA**, identificado con  
documento de identidad N° **41518307**, declaro que la evaluación realizada por el Programa  
informático ha arrojado un porcentaje de similitud de **10%**, verificable en el Resumen de  
Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas  
dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento  
cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias  
establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 21 de abril del 2023



.....  
**M.Sc. ING. OSCAR MENDEZ CRUZ**  
**DNI: 17900167**  
**ASESOR**

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital



# SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN N°1 DE SIDERPERU, PROVINCIA DEL SANTA, D

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

1%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.uchile.cl

Fuente de Internet

<1%

7

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

repositorio.unac.edu.pe

  
M.Sc. ING. MENDEZ CRUZ OSCAR  
ASESOR - FIME



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Guillermo Arturo Martinez  
Título del ejercicio: TESIS GUILLERMO MARTINEZ  
Título de la entrega: SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL RC...  
Nombre del archivo: Informe\_de\_tesis\_Guillermo\_Martinez.docx  
Tamaño del archivo: 4.45M  
Total páginas: 136  
Total de palabras: 27,669  
Total de caracteres: 149,965  
Fecha de entrega: 04-feb.-2023 12:11a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2006042803



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS ORDINARIA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO/ELECTRICISTA

"SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN LA  
METODOLOGÍA DEL RCM PARA MEJORAR LA  
DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS DE LA  
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN  
N°1 DE SIDERPERU, PROVINCIA DEL SANTA,  
DEPARTAMENTO DE ANCASH"

Presentado Por:

Bach. GUILLERMO ARTURO MARTINEZ

Asesor:

M. Sc. Ing. OSCAR MENDEZ CRUZ  
LAMAYTEQUE-PERÚ

2023

M.Sc. ING. MENDEZ CRUZ OSCAR  
ASESOR – FIME