



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE  
LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**

**Ing. Carlos Humberto Bonifasi De León**  
Asesorado por la Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos

Guatemala, abril de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE  
LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ING. CARLOS HUMBERTO BONIFASI DE LEÓN**

ASESORADO POR EL MSC. ING. WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Javier Fidelino García Tetzaguic
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 13 de noviembre de 2020.

**Ing. Carlos Humberto Bonifasi De Leon**

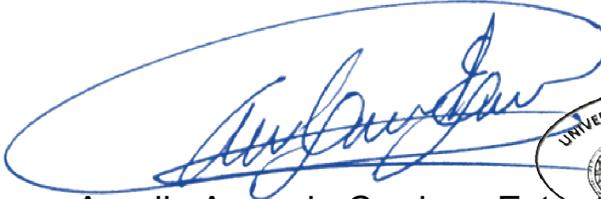
A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by a smaller 'H' and a large, bold 'B' with a horizontal stroke extending to the right.



LNG.DECANATO.OI.274.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**, presentado por: **Carlos Humberto Bonifasi De León**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc



**Guatemala, abril de 2022**

LNG.EEP.OI.274.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN  
PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA”**

presentado por **Carlos Humberto Bonifasi De León** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**





Guatemala 29 de noviembre 2021.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA”** del estudiante **Ing. Carlos Humberto Bonifasi De León** quien se identifica con número de carné **999003087** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo**  
**Coordinadora**  
**Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**

Guatemala, 29 de octubre 2021

Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cofi  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12

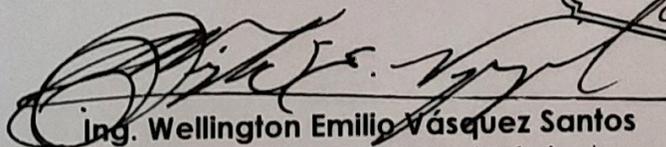
**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Carlos Humberto Bonifasi de León, Carné número 999003087, cuyo título es "**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA**", para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Bonifasi De León, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



**Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos**  
Mtro. en Ingeniería de Mantenimiento  
Asesor

Ingeniero Electrónico  
Wellington Emilio Vásquez Santos  
Maestro en Artes en  
Ingeniería de Mantenimiento  
Colegiado No. 11,627

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su misericordia, bondad, fidelidad y amor inagotable.
<b>Mis padres</b>	Por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, muchas gracias.
<b>Mi familia</b>	Carlos Bonifasi Rodas, Cristina de León; Jorge, José, Karla, Lázaro, Pedro, Karen y Marcos Bonifasi de León.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una fuente de conocimiento e inspiración para lograr mis objetivos académicos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme la capacidad técnica e intelectual necesaria para desenvolverme en el ámbito profesional.
<b>Mis asesores</b>	Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos y Mtro. Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres, por haberme guiado durante el desarrollo del trabajo de investigación.
<b>Familia y amigos en general</b>	Con agradecimiento.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. La industria siderúrgica en Guatemala .....	1
1.2. Productos laminados en caliente .....	2
1.2.1. Perfiles comerciales .....	2
1.2.2. Barras de construcción .....	3
1.3. Proceso de laminación en caliente .....	4
1.3.1. Laminación en caliente .....	6
1.4. Trenes de laminación .....	7
1.4.1. Cajas de laminación .....	8
1.4.2. Guías de laminación .....	10
1.4.3. Barrones .....	11
1.4.4. Plateas .....	11
1.4.5. Formabucles .....	12
1.5. Gestión del mantenimiento .....	13
1.6. Tipos de mantenimiento .....	13

1.6.1.	Mantenimiento correctivo .....	13
1.6.2.	Mantenimiento preventivo .....	14
1.6.3.	Mantenimiento basado en condición .....	14
1.6.4.	Mantenimiento cero horas .....	15
1.6.5.	Mantenimiento centrado en confiabilidad .....	15
1.7.	Modelos de mantenimiento .....	15
1.7.1.	Modelo correctivo .....	16
1.7.2.	Modelo condicional.....	16
1.7.3.	Modelo sistemático.....	16
1.7.4.	Modelo de alta disponibilidad .....	17
1.8.	Mantenimiento productivo total .....	18
1.8.1.	Mejora focalizada .....	18
1.8.2.	Mantenimiento autónomo .....	19
1.8.3.	Mantenimiento planeado .....	19
1.8.4.	Capacitación.....	19
1.8.5.	Control inicial.....	20
1.8.6.	Mejoramiento para la calidad .....	20
1.8.7.	Mantenimiento productivo total en la administración .....	20
1.8.8.	Salud, seguridad y medio ambiente .....	21
1.9.	Ciclo de trabajo del mantenimiento .....	21
1.9.1.	Ciclo sostenido de mantenimiento.....	22
1.9.1.1.	Planificación .....	23
1.9.1.2.	Programación .....	24
1.9.1.3.	Asignación.....	25
1.9.1.4.	Ejecución.....	25
1.9.2.	Ciclo de mejora continua .....	26
1.9.2.1.	Proceso de análisis causa raíz.....	27
1.9.2.2.	Implementación de mejoras .....	28

	1.9.2.3.	Continuación de ciclo habitual y mejora continua .....	28
1.10.		Indicadores de mantenimiento.....	30
	1.10.1.	Tiempo promedio para fallar .....	30
	1.10.2.	Tiempo promedio para reparar .....	31
	1.10.3.	Disponibilidad por avería .....	31
	1.10.4.	Utilización .....	31
	1.10.5.	Rendimiento.....	31
	1.10.6.	Calidad .....	32
	1.10.7.	Eficiencia global de los equipos.....	32
	1.10.8.	Indicadores operativos en plantas de laminación ...	32
2.		DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
	2.1.	Fase 1. Recorrido en el taller y línea de producción.....	35
	2.2.	Fase 2. Tipos y técnicas de mantenimiento.....	40
	2.3.	Fase 3. Revisión documental .....	40
3.		PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
	3.1.	Resultados globales a la fecha de investigación .....	45
	3.2.	Resultados de Pareto por equipos .....	47
	3.3.	Resultados de Pareto por tipo de fallas .....	48
	3.4.	Resultado de indicadores de mantenimiento.....	53
	3.5.	Resultados de palabras claves.....	54
	3.6.	Discusión de resultados.....	56
4.		PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	59
	4.1.	Incremento de indicador de disponibilidad y OEE .....	59
	4.2.	Propuesta de modelo de mantenimiento correctivo.....	61
	4.3.	Propuesta de modelo de mantenimiento condicional .....	61

4.4.	Propuesta de modelo de alta disponibilidad.....	62
4.5.	Propuesta de mantenimiento productivo total .....	64
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES .....		69
REFERENCIAS .....		71
APÉNDICES.....		79
ANEXOS.....		83

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Perfiles comerciales .....	3
2.	Barras para construcción .....	3
3.	Proceso de laminación .....	4
4.	Palanquilla.....	5
5.	Palanquilla para calentamiento .....	5
6.	Laminación en caliente.....	6
7.	Conjunto laminador .....	7
8.	Esquema de un tren de laminación .....	8
9.	Tren de laminación.....	8
10.	Caja de laminación.....	9
11.	Partes de una caja de laminación .....	10
12.	Guía de laminación .....	10
13.	Barrón .....	11
14.	Platea .....	12
15.	Formabucle o <i>looper</i> .....	12
16.	Pilares del mantenimiento productivo total.....	18
17.	Ciclo de trabajo del mantenimiento .....	22
18.	Planificación del mantenimiento .....	24
19.	Las cuatro disciplinas de la ejecución .....	26
20.	Diagrama espina de pescado.....	27
21.	Función de mantenimiento .....	29
22.	Almacenamiento de grasas lubricantes.....	36
23.	Almacenamiento de guías para montaje .....	36

24.	Diagrama de ensamblador de cajas .....	37
25.	Sistema de armado de cajas de laminación .....	38
26.	Ensamble de caja con cilindro de laminación .....	38
27.	Cantidad de fallas por equipos .....	47
28.	Minutos de fallas por equipos .....	48
29.	Cantidad de fallas en cajas de laminación.....	49
30.	Tiempo por causa de fallas en cajas.....	49
31.	Cantidad de fallas en guías .....	50
32.	Tiempo por causa de fallas en guías .....	51
33.	Cantidad de fallas en formabucles.....	51
34.	Tiempo de fallas en formabucles .....	52
35.	Palabras claves en cajas de laminación .....	55
36.	Palabras claves en guías de laminación.....	56
37.	Incremento de disponibilidad por avería y OEE .....	60

## TABLAS

I.	Modelos, tipos y técnicas de mantenimiento .....	17
II.	Indicadores en planta de laminación .....	33
III.	Personal en el taller de cajas de laminación .....	39
IV.	Equipos asignados al taller de cajas .....	39
V.	Tipos de cajas de laminación .....	40
VI.	Clasificación por causa de falla, equipos y zonas .....	41
VII.	Registro de fallas .....	41
VIII.	Clasificación y cantidad de fallas globales .....	45
IX.	Fallas por cajas de laminación .....	46
X.	Fallas por guías de laminación .....	46
XI.	Fallas por formabucles .....	47
XII.	Resumen de indicadores de mantenimiento .....	53

XIII.	Disponibilidad por avería y eficiencia global de los equipos .....	54
XIV.	Matriz de adherencia al TPM .....	57
XV.	Incremento de indicador de disponibilidad y OEE .....	59
XVI.	Matriz propuesta de mantenimiento .....	63
XVII.	Matriz de gestión de taller de cajas de laminación .....	65



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H2</b>	Altura dos
<b>H1</b>	Altura uno
<b>B2</b>	Ancho dos
<b>B1</b>	Ancho uno
<b>S2</b>	Área o sección dos
<b>S1</b>	Área o sección uno
<b>FM160</b>	Cajas tren acabador
<b>FM240</b>	Cajas tren desbaste
<b>FM200</b>	Cajas tren intermedio
<b>C</b>	Crítico
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>°</b>	Grados
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>#</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>V1</b>	Velocidad de entrada uno
<b>V2</b>	Velocidad de salida dos



## GLOSARIO

<b>Activo físico</b>	Cualquier unidad o sistema que agrega valor en una empresa de productos o servicios.
<b>ACR</b>	Análisis Causa Raíz.
<b>Análisis de causa raíz</b>	Estudio sistemático para determinar las causantes de las desviaciones del comportamiento establecido como normal de un sistema o proceso.
<b><i>Benchmarking</i></b>	Evaluación comparativa.
<b>Caja de laminación</b>	Activo físico utilizado en la industria siderúrgica para provocar el fenómeno de laminación.
<b>Cizalleta</b>	Elemento parte del formabucle que facilita el corte y extracción de muestras en el proceso de laminación.
<b>Gestión</b>	Administración de recursos tangibles e intangibles, con el fin de optimizar la obtención de valor para lo cual están destinados.
<b>ISO</b>	<i>Internacional Organization for Standardization.</i>

<b>Laminación</b>	Proceso de manufactura por medio de deformación mecánica de un material ferroso, donde existe una reducción de área y alargamiento en varias etapas hasta la obtención del producto terminado.
<b>Looper o formabucle</b>	Equipo mecánico compuesto por un mecanismo lector por radiación para control de frecuencias. También es el conector entre las cajas de laminación.
<b>Modelo</b>	Patrón o guía que se utiliza para llevar a cabo una acción o serie de pasos para determinado fin.
<b>NC</b>	No crítico.
<b>OEE</b>	<i>Overall Equipment Effectiveness.</i>
<b>Palanquilla</b>	Materia prima utilizada para el proceso de laminación de barras y perfiles.
<b>PM</b>	<i>Preventive Maintenance.</i>
<b>PdM</b>	Predictive Maintenance.
<b>SC</b>	Semicrítico.

<b>Siderurgia</b>	Proceso de transformación que sufre el mineral de hierro, desde su etapa extractiva hasta la metalurgia secundaria, donde ya se obtiene un material para otros procesos metalúrgicos.
<b>TPM</b>	<i>Total Productive Maintenance.</i>
<b>TPPF</b>	Tiempo Promedio para Falla.
<b>TPPR</b>	Tiempo Promedio para Reparar.
<b>VOSO</b>	Ver, oír, sentir y oler.



## RESUMEN

Los procesos industriales requieren eliminar desperdicios que provocan impactos económicos negativos a la empresa. Estos hacen del negocio menos competitivo, ya que se incrementan los costos operacionales y de mantenimiento. El taller de cajas de laminación tiene injerencia directa en la operación del proceso productivo. Se ha evidenciado fallas repetitivas que interrumpen el proceso de laminación; esto provoca incumplimiento al programa de producción y se refleja en pérdidas económicas.

Para el desarrollo de la investigación se realizaron recorridos en el taller y la línea de producción para identificar las condiciones físicas donde se observe cierto grado de desperdicios. Luego, se revisó la documentación histórica de los datos de cálculo para los indicadores de mantenimiento. Se revisaron los reportes diarios del período investigado y se identificaron fallas que se repiten de manera periódica.

Se estableció una matriz de mantenimiento con base en los pilares del mantenimiento productivo total. Este modelo utiliza la búsqueda de eliminación de desperdicios y el aprovechamiento de los recursos disponibles para el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la empresa.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

La planta de laminación en caliente de perfiles y barras ubicada en el departamento de Escuintla ha demostrado un crecimiento positivo en sus indicadores de productividad hasta la fecha de inicio de esta investigación. Sin embargo, es necesario que se mejoren ciertas prácticas de mantenimiento para reducir fallas repetitivas, repentinas y catastróficas que traen incumplimiento a las metas globales del negocio.

Las cajas de laminación son los activos físicos que están más expuestos a las severidades inherentes del proceso de conformado: agua, polvo de hierro, cascarilla, esfuerzos mecánicos y el contacto directo con la palanquilla a 1150 °C, los cuales provocan que estos sean los más probables en fallar. Una falla de este tipo implica costos que perjudican las metas ya establecidas en la estrategia corporativa.

El taller de cajas en una planta de laminación presta servicio de armado de cajas de laminación y participa en tareas operativas de cambio de productos en el proceso. Esto es una desventaja, ya que disminuye el tiempo y recurso humano disponible para ejecutar las iniciativas de mantenimiento.

Este proyecto de investigación pretende recomendar un modelo de gestión del mantenimiento que asegure y aumente la confiabilidad de los activos físicos mencionados, enfocándose en la determinación de las mejores prácticas aplicables.

- La pregunta central de la investigación es:
  - ¿Qué modelo de mantenimiento se puede utilizar en un taller de cajas de laminación de una empresa siderúrgica?
  
- Las preguntas auxiliares de la investigación son:
  - ¿Qué tipos y técnicas de mantenimiento se han implementado para evitar fallas repetitivas en las cajas de laminación a la fecha de la investigación?
  - ¿Cuáles son las fallas y el impacto que tienen las cajas de laminación sobre los indicadores de mantenimiento?
  - ¿Cuáles son los modelos, tipos y técnicas de mantenimiento que debe gestionar el taller de cajas de laminación para evitar fallas repetitivas?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer un modelo de gestión de mantenimiento para utilizar en un taller de cajas de laminación de una industria siderúrgica.

### **Específicos**

- Identificar los tipos y técnicas de mantenimiento que a la fecha de la investigación han sido implementados, para evitar fallas repetitivas en las cajas de laminación.
- Sintetizar las fallas reportadas en las cajas de laminación para determinar las que más impactan en los indicadores de mantenimiento.
- Establecer una matriz de modelos, tipos y técnicas de mantenimiento que gestione el taller de cajas de laminación, enfocada en evitar fallas repetitivas.



## RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La ruta de investigación utilizada fue mixta. El alcance de investigación es descriptivo. El tipo de investigación fue no experimental. Se utilizó una ruta cuantitativa porque implicó recolección de datos, análisis e interpretación de estos. Además, se realizó visita a la fábrica y taller para tener una visión general de cómo se estaban haciendo las diferentes actividades. El alcance cubierto es descriptivo porque se identificaron las variables de medición de desempeño y se establecieron escalas de adherencia a las técnicas indicadas en las bases del mantenimiento productivo total. El tipo de investigación quedó como propuesta para que pueda implementarse de acuerdo con la madurez que la fábrica vaya adquiriendo con los modelos y tipos de mantenimiento.

El trabajo de investigación inició con una revisión documental. En esta se identificó que los procesos de laminación en caliente están destinados para fabricar productos utilizados en estructuras metálicas y en la construcción de obra gris. Además, se conoció a detalle que estos procesos están conformados por una variedad de activos físicos que componen un todo llamado tren de laminación. Se identificó que durante la transformación de la materia prima durante el proceso de laminación están involucrados equipos que tienen contacto directo con la materia prima. Estos equipos son las cajas de laminación, guías de laminación y formabucles, los cuales están en constante rotación para ser calibrados con base en el producto que se necesite fabricar en cada período de tiempo.

Por último, se recopiló información para la gestión de mantenimiento, utilizando algunos tipos, modelos e indicadores que, junto al ciclo de trabajo,

permiten un manejo eficiente de las tareas rutinarias y programadas que ejecuta el personal del taller. Se terminó el mantenimiento productivo total como medio para el incremento de los indicadores de disponibilidad y eficiencia global de equipos mediante el desarrollo de los pilares del TPM, que finalmente es una forma de gerenciar el mantenimiento priorizando la reducción o eliminación de desperdicios que afectan la rentabilidad del negocio.

Después de la contextualización se realizó un recorrido en el taller de cajas de laminación. Este tiene la función de mantener los equipos disponibles, calibrados y en buenas condiciones para manufacturar cada uno de los productos vendidos por la empresa. Se identificó que algunas tareas ejecutadas por el personal tienen un grado de oportunidad de mejora. El manejo de los lubricantes y la inspección de los rodamientos como parte de las tareas autónomas de mantenimiento requieren refuerzo de controles del ciclo de trabajo del mantenimiento; además, la capacitación del personal debe ir acompañada de seguimientos al aprendizaje. Esto es evidente debido a las oportunidades de mejora observadas.

Se delimitaron las fallas asociadas al taller de acuerdo con la naturaleza de estas, tales como: fallas por operación, mantenimiento, indefinidas y de material. Luego se graficaron los tipos de fallas respecto de cada uno de los equipos gestionados por el taller, para realizar finalmente un análisis del impacto que tiene cada una en los indicadores de mantenimiento y de eficiencia de la planta, tal como disponibilidad y eficiencia global de los equipos. Por último, se realizó una propuesta de tipos y modelos de mantenimiento que puedan favorecer a la reducción y eliminación de las averías. Se plantea un sistema de gestión de mantenimiento productivo total, el cual se enfoca en la eliminación de accidentes, defectos y desperdicios. Esta propuesta busca que la empresa sea más eficiente y competitiva.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se realizó con la intención de proponer la sistematización de las actividades operacionales y de mantenimiento del taller de cajas de laminación de una empresa siderúrgica guatemalteca. Esta se encarga de la producción de productos laminados en caliente.

El nivel de competitividad que enfrentan las industrias en la actualidad ha llevado a buscar soluciones viables y oportunas que aseguren la sobrevivencia de estas. Para el sector industrial de productos laminados en caliente existen amenazas internas y externas que pueden comprometer la rentabilidad de los negocios. En este caso el costo, la calidad y la satisfacción del cliente son los activadores que lleven a las acciones que generen ese valor agregado que hará la diferencia entre los negocios.

En una línea de laminación en caliente intervienen varios departamentos que de acuerdo con su nivel despeño tienen una incidencia positiva o negativa en los resultados del proceso y del negocio en general. Es por esto que cada departamento que la conforma debe guiar sus procesos con foco en optimización de recursos, alta calidad y satisfacción de los clientes externos e internos.

La línea productiva que se estudió cuenta con las divisiones de producción, mantenimiento general, costos, gestión humana y logística. Se seleccionó el taller de cajas de laminación del departamento de producción, ya que es el que incide grandemente en los resultados operativos de la fábrica. Este es el responsable de abastecer a la línea productiva de las cajas de laminación, guías de laminación y formabucles para la elaboración de cada producto que se vende. Se asocian

tareas de preparación y calibración de cajas, mantenimiento de estas y las actividades relacionadas con los cambios de productos.

Se han evidenciado fallas repetitivas desfavorables a los indicadores de mantenimiento y costos de producción. Los indicadores afectados son el tiempo promedio entre fallos, tiempo promedio de reparación, disponibilidad por avería y eficiencia global de los equipos. Los reportes diarios de producción indican que periódicamente reinciden fallas asociadas al trabajo realizado por el personal del taller de cajas de laminación, que son asignadas de acuerdo con su naturaleza como avería por mantenimiento, operación, de material e indefinidas.

Además, han existido fallas que repercuten en eventos potenciales de accidentes laborales y un nivel de desperdicio de residuos que perjudican el medio ambiente. El buen desempeño de este taller traerá grandes beneficios económicos para el negocio y sus trabajadores, sin descartar los resultados positivos en seguridad industrial, clima laboral y medio ambiente.

Para el despliegue de esta investigación se realizó un recorrido para una inspección visual de las condiciones físicas del manejo del taller y se verificaron los tipos de mantenimiento utilizados a la fecha de la investigación. Luego se recopiló información de los reportes de producción para constatar las fallas existentes y que son asignadas al taller de cajas de laminación. Se ordenaron los tiempos en minutos de cada falla para cada equipo, para posteriormente graficar por el diagrama de Pareto las de mayor injerencia en los indicadores mencionados. Se calculó el TPPF, TPPR, disponibilidad por avería y el OEE para determinar el impacto de los tiempos perdidos por la repetitividad de las fallas.

Se propuso sistemáticamente un modelo de gestión que involucra la implementación de algunos tipos y modelos de mantenimiento. Además, se

planteó llevar a la práctica el sistema de mantenimiento productivo total. Este permitirá dirigir todos los esfuerzos hacia la reducción y eliminación de desperdicios de las funciones de mantenimiento que no permiten tener resultados satisfactorios en la gestión del taller.

En el primer capítulo del marco teórico se definen los fundamentos técnicos y teóricos que soportó el estudio de la situación actual, con el cual se realizó una propuesta que se adecua a esta línea de producción. Se establecieron los equipos que componen un conjunto laminador y que son los encargados del proceso básico de laminación, tales como, cajas, guías de laminación y formabucles. Se estableció que existen tipos y modelos de mantenimiento que tienen muchas ventajas para las industrias que tienen foco en reducción de costos y desperdicios.

En el segundo capítulo se desarrolló la investigación efectuando un recorrido en el área de estudio para identificar las condiciones actuales de trabajo, observar los tipos de mantenimiento y revisar la documentación histórica de los resultados. Se observó que la mayoría de las actividades están dirigidas hacía acciones correctivas sobre los equipos, cuando ya ocurrió la falla. Se recopilaron los datos de tiempos de interrupciones de los reportes diarios de producción para realizar un análisis de la naturaleza de todas estas averías identificadas durante la operación de la línea productiva.

En el tercer capítulo, que corresponde a la presentación y discusión de resultados, se realizó un análisis de las fallas ocurridas en cada uno de los equipos gestionados por el taller. Se realizaron gráficas de Pareto para determinar los tipos de fallas más repetitivos en cada uno de los equipos. Se realizó un estudio de las palabras identificadas en los reportes de averías y se identificaron las que más se repetían, para luego asociarlas a las fallas en los

equipos. Toda esta revisión sirvió para validar que es necesario un redireccionamiento en la gestión del taller.

En el cuarto capítulo, y con base en el anterior, se estableció que se pueden implementar los tipos y modelos de mantenimiento correctivos, condicionales y de alta disponibilidad. Además, se propone el sistema de mantenimiento productivo total, por su enfoque en la eliminación de desperdicios y ambigüedades administrativas, que limitan las funciones del ciclo de trabajo de mantenimiento sostenido y de mejora continua.





# **1. MARCO TEÓRICO**

Este capítulo inicia con una breve descripción de los productos laminados largos, su proceso de obtención y los principales activos que hacen posible esa transformación. Se hace referencia a los conceptos de gestión de mantenimiento que permitirán cimentar una administración que asegure la disponibilidad de los activos físicos involucrados en la fabricación de barras de construcción y perfiles comerciales.

## **1.1. La industria siderúrgica en Guatemala**

La industria siderúrgica en Guatemala, desde sus inicios en 1953 hasta la fecha de esta investigación, ha evolucionado y crecido sustancialmente. Aun cuando se hayan dado altibajos provocados por competencia internacional, efectos climáticos y salubres, este sector industrial se ha logrado levantar para continuar con el desarrollo socioeconómico del país.

La industria del acero ha evolucionado sus procesos productivos para elaborar nuevos productos y mayores toneladas de acero. Guatemala aún sigue siendo un mercado en crecimiento por ser un país con oportunidad de inversión para el desarrollo de la construcción de viviendas, edificios, máquinas y estructuras metálicas. La tecnología ha jugado un rol destacable en la evolución de esta industria. La calidad de los productos, capacidad de mayores toneladas de producción y hacerlo de manera eficiente son parte de los favores de la automatización de los activos utilizados para tal fin.

## **1.2. Productos laminados en caliente**

Se le abona a la industria del acero el desarrollo económico que desató la revolución industrial en la década de 1900 y que hasta la fecha ha sido uno de los principales impulsores del avance de los países industrializados. De acuerdo con Enríquez-Berciano *et al.* (2012) mediante el proceso de laminación se obtienen productos comerciales utilizados para la construcción, tales como vigas, perfiles, barras y rieles, que son la materia prima para las edificaciones, puentes, casas y máquinas industriales en general.

Los productos comerciales obtenidos de la laminación pueden ser diversos; estos a su vez se fabrican según las necesidades o requerimientos del usuario. De acuerdo con Bunte (2012) los productos obtenidos de la laminación no plana son las barras corrugadas, perfiles comerciales, alambón y tubos. Los perfiles comerciales pueden tener geometría circular, cuadrada, rectangular y con ángulos; estas varían según la aplicación.

### **1.2.1. Perfiles comerciales**

Los productos perfiles son los utilizados para una gran variedad de estructuras metálicas en general. Los más comunes y vendidos en el mercado son los angulares, cuadrados, redondos y platinas. Estos son ofrecidos en el mercado por distribuidoras del fabricante y por minoristas a nivel nacional y centroamericano.

Figura 1. **Perfiles comerciales**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica,

### **1.2.2. Barras de construcción**

Las barras para construcción o de acero para refuerzo son los materiales utilizados principalmente para obras de construcción gris, tales como, viviendas, edificios, puentes, cimientos de máquinas, entre otros. Estos productos son característicos por su forma circular y protuberancias o relieves que dan la apariencia característica de la corruga.

Figura 2. **Barras para construcción**



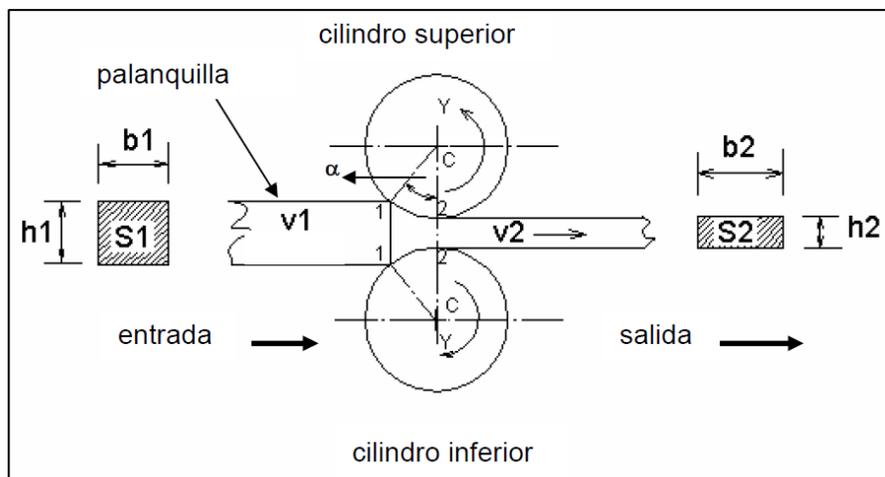
Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

### 1.3. Proceso de laminación en caliente

La palanquilla es la materia prima de la laminación, y un juego de cilindros de aleaciones de hierro-carbono son necesarios para transformarla en un producto útil y comercial. Esta transformación se hace con la palanquilla calentada a 1150 grados centígrados, que es la temperatura establecida para procesos de laminación en caliente de aceros de bajo carbono.

Los cilindros son los que permiten y resisten el esfuerzo de la deformación plástica que sufre la palanquilla al pasar en medio de los cilindros laminadores, hasta obtener el producto final deseado.

Figura 3. Proceso de laminación



Fuente: Gerdau *Laminación LAM 000. Introducción y conceptos operador*. Consultado el 13 de octubre de 2021. Recuperado de <https://johnguio.files.wordpress.com/2013/09/clase-magistral-laminacion3b3n.pdf>.

La siguiente figura muestra un grupo de palanquillas colocadas en reposo para su próxima transformación en el tren de laminación.

Figura 4. **Palanquilla**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

En forma general, la palanquilla es el resultado de colar acero líquido sobre los moldes de la máquina colada continua después del proceso de metalurgia secundaria en las plantas de acería. El uso de la palanquilla es para procesos de laminación en caliente, esta es introducida a un horno de recalentamiento para tal fin. De acuerdo con Aguilar-Rivas (2011) la palanquilla obtenida en el proceso de fundición mencionado tiene la característica de formar tres estructuras de solidificación en su sección, y que su calidad dependerá de los controles que se tengan en el tiempo que transcurre la solidificación.

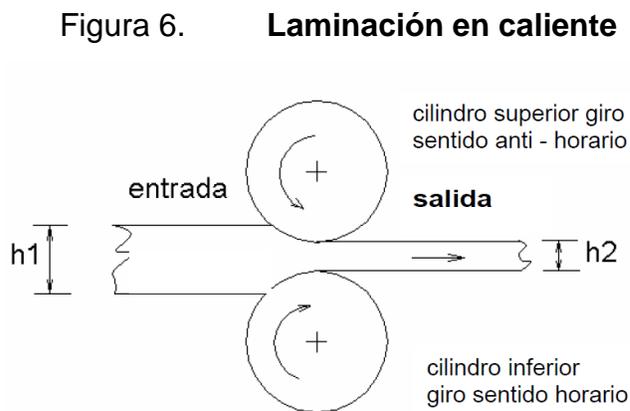
Figura 5. **Palanquilla para calentamiento**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

### 1.3.1. Laminación en caliente

Laminación es un proceso de deformación mecánica, mediante el cual se hace pasar un material ferroso entre dos cilindros que giran en sentido contrario. Esta deformación va acompañada de una reducción de área, cambio de la geometría perimetral y alargamiento, obteniendo así un material con propiedades físicas y mecánicas distintas al primero. De acuerdo con Enríquez-Berciano *et al.*(2012) laminación es un proceso que involucra una deformación plástica para lo obtención de un material con forma distinta a la inicial.



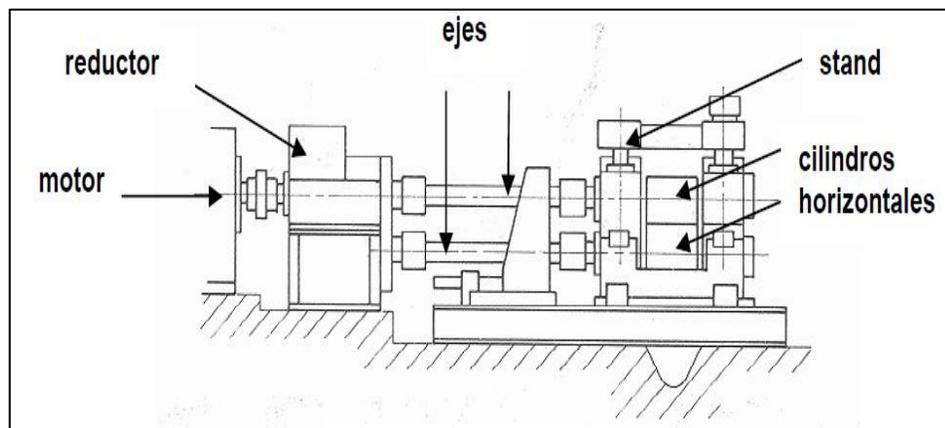
Fuente: Gerdau (2020). *Laminación LAM 000. Introducción y conceptos operador.*

Realizarlo en caliente permite reducir la resistencia a la deformación del acero en el proceso de reducción de área, debido a esto la temperatura es un parámetro crítico en las siderúrgicas que fabrican productos laminados. Además, la deformación en caliente asegura el logro de las propiedades mecánicas y físicas exigidas en la fabricación de perfiles y barras de construcción.

#### 1.4. Trenes de laminación

Un grupo laminador está conformado por una caja de laminación, caja de engranajes y motor eléctrico de corriente directa o alterna. Varios conjuntos laminadores instalados en línea conforman un tren de laminación.

Figura 7. Conjunto laminador

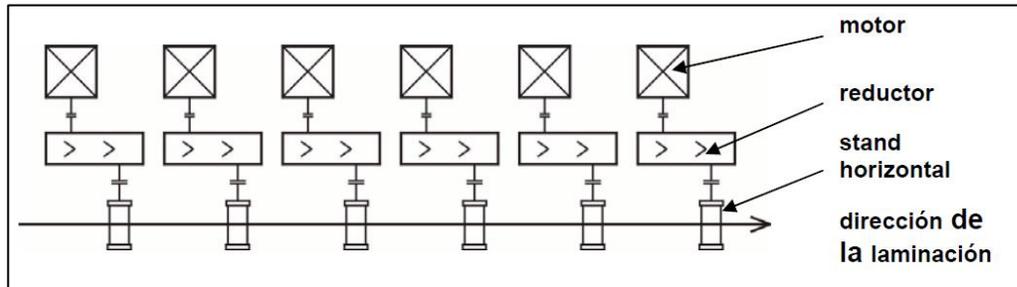


Fuente: Gerdau (2020). *Laminación LAM 000. Introducción y conceptos operador.*

De acuerdo con Enríquez-Berciano *et al.* (2012) existen otros equipos que hacen del proceso más especializado y complejo, tales como, formabucles o *loopers*, caminos de rodillos, cizallas, horno de recalentamiento y mesa de enfriamiento. Para fines de esta investigación se estará tratando únicamente las cajas de laminación.

En la figura 8 se observa un esquema básico de un tren de laminación continuo, existen otras configuraciones que para todos los casos se cuenta con los equipos mencionados en un grupo laminador.

Figura 8. Esquema de un tren de laminación



Fuente: Gerdau (2020). *Laminación LAM 000. Introducción y conceptos operador.*

La figura 9 muestra un tren de laminación en una planta productora de 100 000 a 150 000 toneladas al año.

Figura 9. Tren de laminación



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

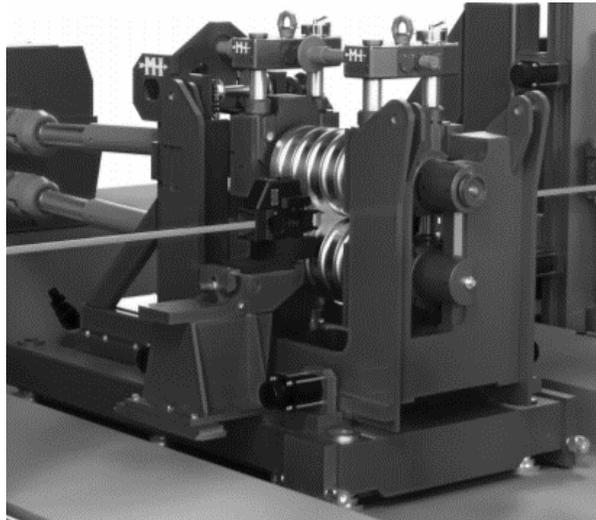
#### 1.4.1. Cajas de laminación

El activo físico utilizado que caracteriza la fabricación de los productos laminados, son llamados cajas de laminación. De acuerdo con Enríquez-Berciano *et al.* (2012) estas cajas están conformadas básicamente por una estructura

metálica que soporta en sus extremos dos cilindros. Estos últimos son de hierro fundido.

La estructura debe ser de acero con muy buena tenacidad y rigidez, por otro lado, los cilindros cumplen con una dureza que permita una buena resistencia al desgaste y una tenacidad que evite fracturas del tipo frágil.

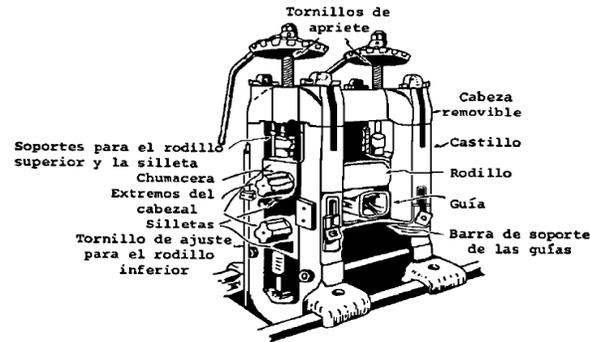
Figura 10. **Caja de laminación**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica,

En la práctica, las cajas de laminación tienen más componentes que aseguran su confiabilidad ante los fuertes requerimientos mecánicos a los cuales son expuestas durante el trabajo. De acuerdo con Enríquez-Berciano *et al.* (2012) estas máquinas esencialmente están compuestas por la estructura principal, los dos o más cilindros, las ampuestas o chumaceras, el mecanismo de apertura y cierre de luz entre cilindros y pernos de sujeción al piso.

Figura 11. Partes de una caja de laminación



Fuente: Enríquez-Berciano *et al.* (2012). *Monografías sobre Tecnología del Acero. Parte IV.* Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de [http://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2\\_MONO\\_2010.pdf](http://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2_MONO_2010.pdf).

#### 1.4.2. Guías de laminación

Las guías son parte de las cajas de laminación. Son las responsables de direccionar la planquilla dentro de los cilindros de laminadores. Están compuestas de 2 a 6 rodillos de acero, embudo, insertos, ejes y carcaza. Son equipos expuestos supremamente a desgaste por el contacto directo con la planquilla. Van montadas en la entrada y salida de los cilindros laminadores.

Figura 12. Guía de laminación

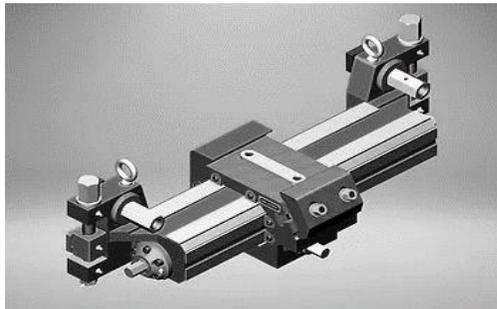


Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

### 1.4.3. Barrones

Los barrones son parte importante de las cajas de laminación. Son los responsables de sostener las guías y de permitir el ajuste y cambio de calibres en la caja cuando es necesario, normalmente están montados 2 unidades en las cajas laminadoras. Al igual que las guías son equipos expuestos supremamente a desgaste por tener contacto directo con la palanquilla.

Figura 13. **Barrón**



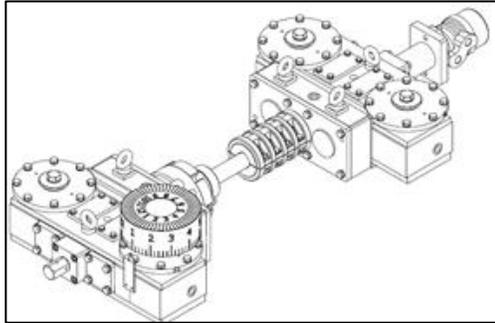
Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica,

Regularmente van montados dos barrones sobre las cajas laminadoras, para sostener las guías de entrada y salida. Regularmente existen dos tipos de barrones, los fijos y los móviles, estos últimos tiene un mecanismo de ajuste fino para correr las guías en el ancho completo del barrón.

### 1.4.4. Plateas

Es el equipo encargado de unir los soportes que sostienen los cilindros laminadores. Los soportes están conformados por 2 chumaceras o ampuestas. Internamente están conformados por un grupo de engranajes y rodamientos, todos encajados de manera que no se exponen a la intemperie.

Figura 14. **Platea**



Fuente: fotografía proporcionada por la empresa siderúrgica.

#### 1.4.5. **Formabucles**

Permiten la conexión entre las cajas de laminación, sujetando la materia prima de caja a caja, con la ayuda de un sensor capaz de captar la energía radiactiva de la palanquilla caliente, luego manda señales a los motores para hacer la regulación automática del proceso. Mecánicamente, son los responsables de sostener la barra durante la operación en curso; por eso están expuestos a mucho desgaste por fricción.

Figura 15. **Formabucle o looper**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

## **1.5. Gestión del mantenimiento**

La gestión de mantenimiento tiene como finalidad organizar de forma sistemática las actividades del liderazgo, mantenedores, documentación y ejecución de los ejercicios que buscan mantener los activos disponibles. De acuerdo con Gasca *et al.* (2017) la administración o liderazgo tiene un rol muy importante para adecuar correctamente las funciones de mantenimiento, y estas deben ir orientadas a aumentar la confiabilidad de los activos. Es la selección de los activos críticos, el examen de fallas y la designación de los recursos base elemental para obtener la máxima disponibilidad y aumento del ciclo de vida de ellos.

## **1.6. Tipos de mantenimiento**

Un tipo de mantenimiento está formado por un conjunto de actividades que tienen como fin un resultado de disponibilidad de los activos esperado, de acuerdo con cada tipo. Estas actividades son ejecutadas de acuerdo con las responsabilidades de cada individuo que conforma el equipo de mantenimiento. Los tipos de mantenimiento se pueden dividir en mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo o basado en condición, cero horas y centrado en confiabilidad. De acuerdo con el trabajo de Moubray (2018) se hace ver que existen tareas proactivas que involucran los otros tipos de mantenimiento tales, como correctivo programado, preventivo y según condición.

### **1.6.1. Mantenimiento correctivo**

De acuerdo con Moubray (2018) el mantenimiento tiene como objetivo principal el aseguramiento de la funcionalidad de los activos en todo momento productivo. El mantenimiento correctivo tiene como principal característica que

actúa cuando ya está presente un modo de falla o cuando el activo ya no cumple la función que el usuario espera.

### **1.6.2. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo busca reducir la existencia de fallas interviniendo los activos de manera programada, planificando intervenciones a los activos por períodos de tiempo o por rendimientos establecidos por los fabricantes. De acuerdo con Unzueta-Aranguren *et al.* (2014) en su investigación determinaron que las tareas preventivas tienen un rol importante cuando se trata de mantener la confiabilidad de los activos, pueden ser sencillas pero que agreguen mucho valor. Estas pueden ser definidas por el personal operativo y de mantenimiento, según experiencia o historial de fallas.

### **1.6.3. Mantenimiento basado en condición**

También llamado mantenimiento predictivo se caracteriza por determinar la salud del activo analizado. Mediante el uso de herramientas tecnológicas se puede definir una intervención o no, centrándose en las tendencias de los parámetros del activo. De acuerdo con Ballesteros-Robles (2011) la técnica predictiva utiliza herramientas de evaluación para determinar fallas potenciales y así intervenir en el momento oportuno, aumentando la disponibilidad de los activos como la reducción de costos.

Las técnicas más usuales de diagnóstico y evaluación de activos están la medición de vibraciones, ultrasonido industrial, termografía, análisis de aceites y grasas, líquidos penetrantes y radiografía industrial.

#### **1.6.4. Mantenimiento cero horas**

Este tipo de mantenimiento se enfoca en regresar los equipos o activos a sus condiciones iniciales de fábrica, luego de una reparación que conlleva los ajustes técnicos necesarios y reemplazo de las piezas críticas. De acuerdo con García Garrido (s.f.) este aplica cuando se ha perdido la confianza del activo y se ha visto mermada su capacidad productiva.

#### **1.6.5. Mantenimiento centrado en confiabilidad**

Es un sistema de gerenciamiento del mantenimiento surgido en la industria de la aviación norteamericana, con la primicia de aumentar la confiabilidad en las funciones que ejercían sus activos. De acuerdo con Moubray (2018) el mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso sistemático de aseguramiento de las funciones de los activos, mediante la identificación de los modos de falla funcionales y ejecución de tareas proactivas.

### **1.7. Modelos de mantenimiento**

Se define modelo de gestión como un esquema para dirigir y controlar los recursos disponibles de un sistema para el logro de los objetivos establecidos. De acuerdo con Agudelo-Pulido (2013) cuando estos sistemas están formados por los activos fijos de una empresa, la gestión por del mantenimiento supone una gran relevancia para la vida útil de estos.

En el mantenimiento, un modelo implica un esquema de iniciativas que están implícitas en uno o varios tipos de mantenimiento. Dependerá de las prioridades establecidas estratégicamente por la empresa. Se plantean términos de criticidad de los activos para priorizar el modelo que mejor se adecue.

### **1.7.1. Modelo correctivo**

En este modelo de mantenimiento se prioriza los trabajos correctivos, tareas básicas de inspecciones utilizando técnicas VOSO y lubricación manual de los equipos. Es aplicable a equipos con baja criticidad, y que su ejecución no impacte significativamente en los costos de mantenimiento. De acuerdo con Vasquez-García (2012) la técnica VOSO puede ser utilizada como medio de monitoreo de condición para identificar tareas correctivas inmediatas o programadas, dependiendo del estado del equipo.

### **1.7.2. Modelo condicional**

En este modelo se utilizan técnicas de los mantenimientos correctivos y preventivos sobre los equipos de la empresa. Se establece para un nivel de criticidad superior al aplicado en el modelo correctivo. De acuerdo con García Garrido (s.f.) este modelo es aplicado a activos fijos donde se permita realizar una programación de tareas correctivas o preventivas, luego de haberse identificado o diagnosticado en las rutinas de inspección. No debe existir un riesgo de detener los procesos productivos.

### **1.7.3. Modelo sistemático**

El modelo sistemático implica tareas preventivas de reemplazo de piezas sin importar mucho la condición en que se encuentre. Por tanto, los niveles de clasificación de criticidad para los equipos en este modelo son mayores. De acuerdo con García Garrido (s.f.) este se aplica en equipos con disponibilidad media, donde las intervenciones de mantenimiento buscarán reducir la probabilidad de falla. En este modelo entra la importancia del ciclo de trabajo del mantenimiento.

#### 1.7.4. Modelo de alta disponibilidad

Se aplica a equipos que deben cumplir una alta disponibilidad, caer en una avería implicaría pérdidas significativas para la empresa. De acuerdo con García Garrido (s.f.) este modelo debe utilizar las técnicas del mantenimiento predictivo para conocer la salud de los equipos y con bastante anticipación preparese para las paradas programadas, que usualmente son anuales.

En la siguiente tabla se observa un resumen de los modelos, tipos de mantenimiento y algunas técnicas utilizadas.

Tabla I. Modelos, tipos y técnicas de mantenimiento

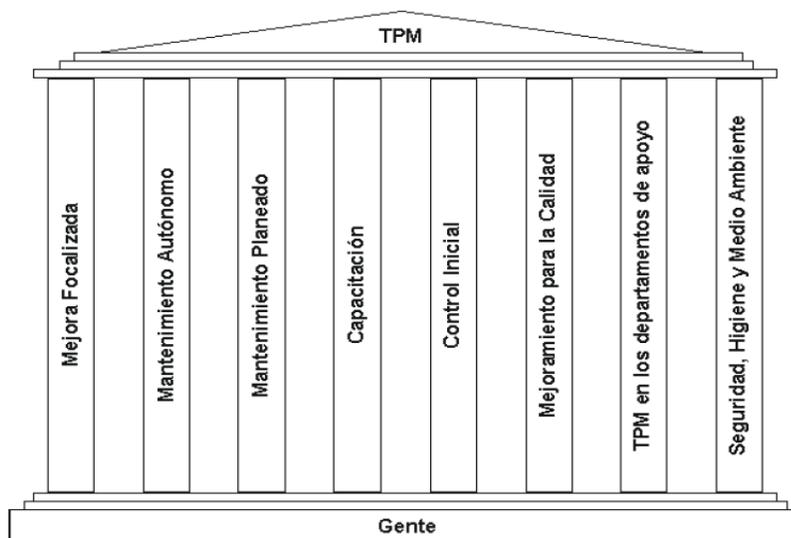
Modelos	Tipos	Técnicas	Disponibilidad
Correctivo	Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reparaciones reactivas</li> <li>- Inspecciones visuales</li> <li>- Lubricación</li> </ul>	Baja
Condicional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Correctivo</li> <li>- Preventivo</li> <li>- Predictivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Termografía</li> <li>- Análisis de vibraciones</li> <li>- Ultrasonido aéreo</li> <li>- Análisis de aceites</li> <li>- Líquidos penetrantes</li> <li>- Inspecciones visuales</li> </ul>	Media
Sistemática	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preventivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones programadas</li> <li>- Reparaciones programadas</li> <li>- Reemplazo de piezas programadas</li> <li>- Lubricación programada</li> </ul>	Alta
Alta disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preventivo</li> <li>- Predictivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las del modelo condicional</li> <li>- Las del modelo sistemático</li> </ul>	Muy alta

Fuente: elaboración propia.

## 1.8. Mantenimiento productivo total

Más que una técnica de mantenimiento es un sistema gerencial de mantenimiento, dirigida a optimizar los resultados de una organización. Tiene sus orígenes en el sistema de Toyota en Estados Unidos. Sus principios son cero defectos, cero averías, calidad total, trabajo en equipo y mejora continua. Puede llegar a unificar técnicas correctivas programadas y preventivas, empoderando al personal operativo y de mantenimiento.

Figura 16. Pilares del mantenimiento productivo total



Fuente: Reyes Sacristán (2003). *Mantenimiento total de la producción*.

### 1.8.1. Mejora focalizada

Esta tiene como objeto eliminar metódicamente las pérdidas ocasionadas en el proceso productivo y de mantenimiento. Estas pérdidas son fallas en los equipos de la empresa, cambios y ajustes no planificados, fallas de equipos auxiliares, paradas menores, reducción de velocidad, defectos del producto

terminado y arranques difíciles. Además de las pérdidas por mantenimiento puede haber por errores operacionales o humanos, que se solucionarán con capacitación y auditorías.

### **1.8.2. Mantenimiento autónomo**

La primicia del mantenimiento autónomo es que el usuario pueda mantener su equipo en condiciones óptimas de limpieza, pueda hacer ajustes sencillos y comunicar averías superiores para que sean reparadas por los mecánicos especialistas. Esto prolongará la duración de los activos físicos del negocio.

Este tipo de mantenimiento debe ir de la mano con el proceso de 5's, este es un método compuesto por cinco palabras japonesas que buscan mejorar el ambiente y espacio laboral. Esto es parte del proceso de mejora continua que puede ser autogestionada por el mismo operador o mecánico. Las cinco palabras traducidas al español son clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina.

### **1.8.3. Mantenimiento planeado**

Este surge como consecuencia del reporte del mantenimiento autónomo. Este mantenimiento planeado es cuando el usuario identifica la falla y reporta de manera formal al departamento de mantenimiento para que este se acerque a reparar la máquina.

### **1.8.4. Capacitación**

Este tipo de actividad tiene como objetivo aumentar las competencias de los empleados. Debe ser una consideración estratégica de motivación laboral

para incrementar el desempeño en las tareas que buscan asegurar la fiabilidad y disponibilidad de los activos físicos.

#### **1.8.5. Control inicial**

Este busca reducir el deterioro de los equipos instalados e incrementar la mantenibilidad de estos. Este nace en el momento del montaje y puesta en marcha de los activos físicos.

#### **1.8.6. Mejoramiento para la calidad**

La normativa ISO 9001:2015 comprende como parte del aseguramiento de la calidad distintos requisitos que se deben cumplir para lograrlo. Desde controles administrativos, auditorías y mejora continua. El fin primordial es asegurar la calidad del producto final, integrando los requisitos en cada etapa del proceso hasta llegar a un producto con cero defectos.

#### **1.8.7. Mantenimiento productivo total en la administración**

El mantenimiento productivo total busca reducir desperdicios en todas las áreas de una empresa, tales como, contabilidad, compras, bodega, logística, ventas, producción y mantenimiento. Se hace de conocimiento que el compromiso de la satisfacción del cliente es responsabilidad de cada individuo del grupo de trabajadores.

La administración debe ir un poco más lejos en la búsqueda y eliminación de desperdicios. Se puede mencionar los ocho grandes desperdicios que son necesarios reducir o eliminar sistemáticamente. Estos son sobreproducción, tiempos de esperas, transportes, repetición de trabajos, sobre inventarios,

movimientos innecesarios, defectos y no aprovechar el conocimiento del personal que trabajo en las áreas de trabajo.

### **1.8.8. Salud, seguridad y medio ambiente**

En tiempo de crisis la salud y seguridad de los trabajadores debe ser la prioridad número uno del negocio y auténticamente asegurarlo con políticas organizacionales que guíen al progreso de iniciativas que provoquen una cultura hacia el bien integral del trabajador.

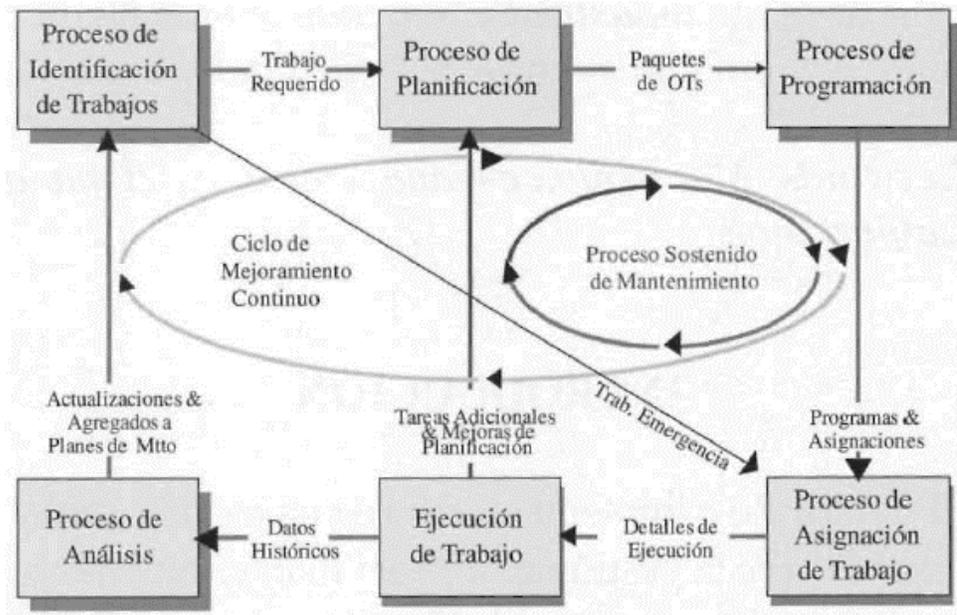
El nivel de enfoque que se le impregne al cuidado del medio ambiente provocará un compromiso de los empleados y una aceptación por parte de la sociedad que rodee las instalaciones de las instalaciones de la empresa.

### **1.9. Ciclo de trabajo del mantenimiento**

Es la evolución del mantenimiento la que ha cambiado la forma de hacer las cosas. En términos de calidad, este ha pasado de llevar el control de calidad de los procesos hacía esfuerzos grupales del aseguramiento de la calidad. De acuerdo con Viveros *et al.* (2013) el ciclo habitual de mantenimiento contempla las etapas de rutina y mejora continua.

La rutina está compuesta por procesos de planificación, programación, designación y ejecución del trabajo. La mejora sugiere los procesos de análisis de fallas que surgen durante la ejecución, la identificación de las mejoras, implementación y termina con la planificación.

Figura 17. **Ciclo de trabajo del mantenimiento**



Fuente: Viveros, *et al.* (2013). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus herramientas de apoyo.*

### 1.9.1. **Ciclo sostenido de mantenimiento**

Ha de referirse a todas las actividades diarias y rutinarias que son establecidas por el liderazgo de mantenimiento. Estas deben de asegurar la sostenibilidad de todo el ciclo de mantenimiento mediante las operaciones tácticas y operativas que buscan mantener los activos funcionando. Viveros *et al.* (2013) señala que este ciclo debe enfocarse hacia el incremento de la rentabilidad de la empresa, mediante el mínimo costo posible.

### **1.9.1.1. Planificación**

Tener un fin en mente es la primera parte de la planificación, proporciona un camino a seguir. Luego de establecer los objetivos conviene definir los pasos para poder alcanzarlos. La función primordial de mantenimiento es satisfacer los objetivos trazados por la empresa, estos deben bajar en cascada expresados en términos tácticos y operativos del mantenimiento aplicado.

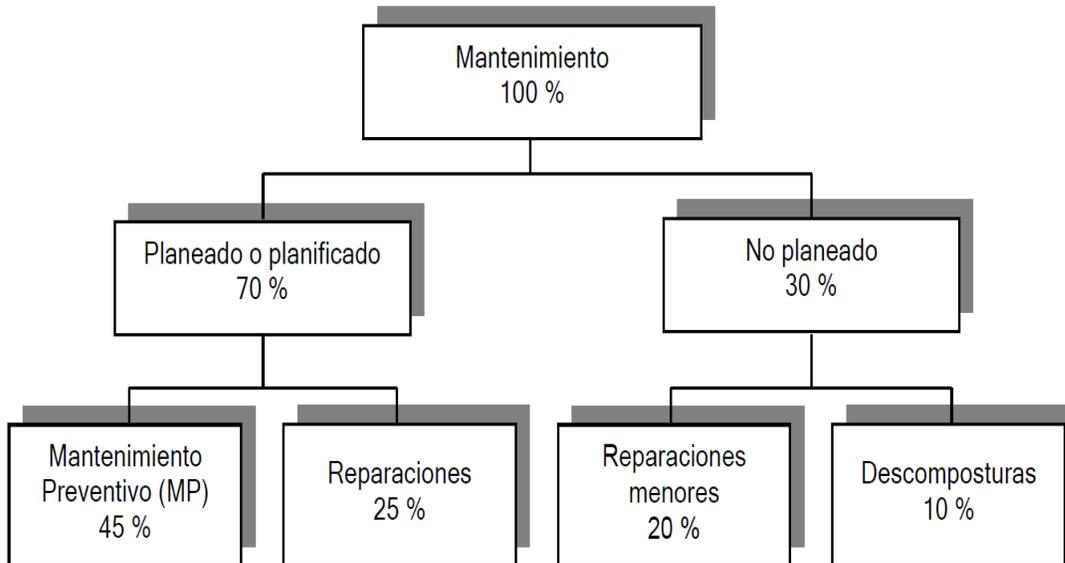
Se hace evidente que debe existir un alineamiento de los procesos para poder cumplir los objetivos estratégicos de la empresa. En caso contrario, cada unidad buscará cumplir sus objetivos sin aportar realmente a la sostenibilidad y competitividad del negocio. Control de calidad, producción y mantenimiento deben trabajar de la mano para poder asegurar que el producto o servicio que la empresa ofrece llegue al cliente final con el valor agregado que este último espera.

La planificación de mantenimiento a contemplar que los activos físicos cumplan su función, coordinando todos los recursos necesarios para esto. Tecnología, personas, tiempo calendario, repuestos, insumos, horas extras y capacitaciones es parte de lo que necesita la unidad de mantenimiento. El aprovechamiento óptimo de estos hará la diferencia en los objetivos y metas establecidas a nivel organizacional.

De acuerdo con Barba (2016) la planificación puede llevar una mezcla de varios modelos o técnicas de mantenimiento que se alineen a las estrategias y objetivos de la gerencia. La planificación de estas actividades en base a la gestión ISO 9000:2000 debe quedar evidenciada mediante documentación de procedimientos y de cumplimiento a la ejecución de estas. Esta planificación

debe contemplar un 70 % de actividades programadas para tener cierto grado competitividad que es lo que busca la ISO.

Figura 18. **Planificación del mantenimiento**



Fuente: Barba (2016). *La administración del mantenimiento dentro del sistema de calidad de la norma ISO 9001:200.*

### 1.9.1.2. Programación

Luego de definir el plan y fin táctico del mantenimiento sigue la calendarización para la asignación y ejecución de las actividades correctivas, preventivas y predictivas. En esta etapa táctica debe existir involucramiento de la unidad de producción y seguridad industrial para establecer acciones que provoquen sinergia, despeje de caminos, y se tomen medidas preventivas ante los riesgos potenciales de seguridad y ambiente que puedan estar expuestos los involucrados en las tareas de mantenimiento.

### **1.9.1.3. Asignación**

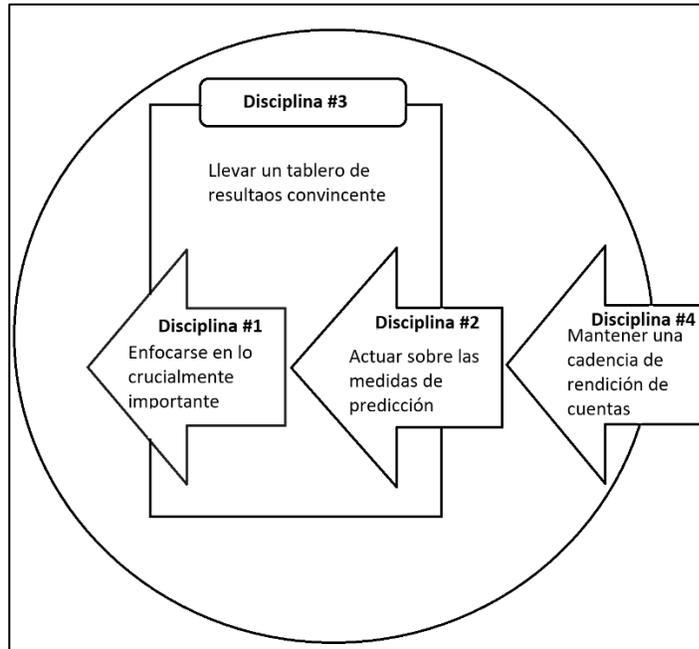
La asignación de tareas de mantenimiento han de realizarse de manera clara y sencilla para evitar malentendidos respecto de las responsabilidades. Durante la asignación debe de abastecerse de la información, repuestos, insumos y herramienta necesaria para que esta etapa sea efectiva.

### **1.9.1.4. Ejecución**

La ejecución de las funciones de mantenimiento inicia desde la planificación, programación, designación y hasta desempeñar las acciones estratégicamente decididas en cada etapa del ciclo sostenido. Según Covey *et al.* (2012) los torbellinos diarios son distracciones que alteran la ejecución de la estrategia planificada. El personal de mantenimiento no se libra de este concepto.

De acuerdo con Covey *et al.* (2012) una buena ejecución debe cumplir con ciertos pasos para cumplir con los objetivos estratégicos planteados. Los pasos mencionados son el enfoque en lo crucialmente importante, actuar sobre medidas predictivas, llevar un tablero de indicadores o resultados y llevar una cadencia de resultados. Para mantenimiento estos pasos se alinean bastante con el ciclo del trabajo de mantenimiento establecido por la norma ISO9001:2008.

Figura 19. **Las cuatro disciplinas de la ejecución**



Fuente: Covey *et al.*(2012). *Las 4 disciplinas de la ejecución*.

### 1.9.2. **Ciclo de mejora continua**

Tomando la función de mantenimiento como un proceso para sumar valor a la empresa, la norma ISO 9001:2015 considera necesario gestionar mejoras suscitadas en el diagnóstico inicial y observación del ejercicio de las funciones de mantenimiento, esto como requisito. De acuerdo con Covey *et al.*, (2012) debe existir un tablero de resultados para evaluar el desempeño de la ejecución, esto principalmente para gestionar los hallazgos de mejora en los procesos en el lugar.

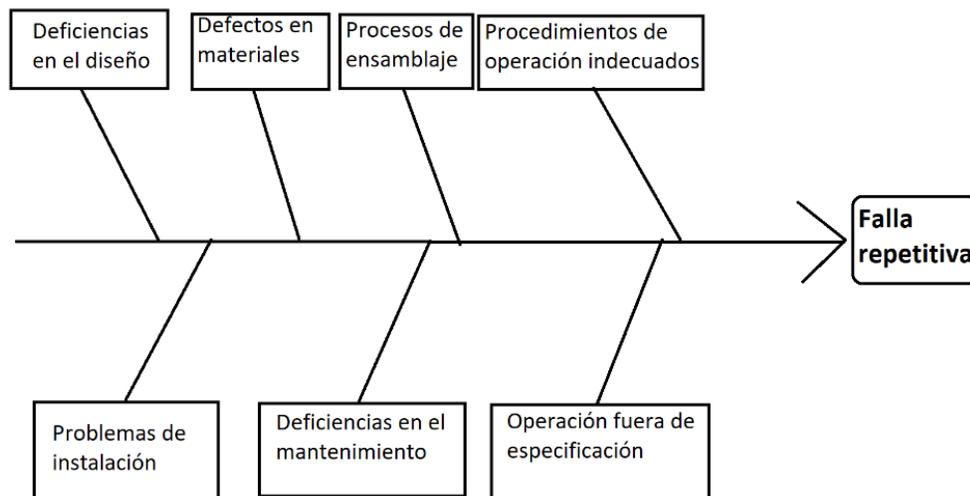
Debe de alinearse el enfoque de mantenimiento con los globales de la empresa, ya que la norma mencionada relaciona y documenta cada proceso como un todo. De acuerdo con Ibarra-Balderas y Vallesteros-Medina (2017) los

procesos de fabricación o manufactura pueden hacer sus operaciones con menos desperdicios aplicando prácticas establecidas en lo que se llama manufactura esbelta.

### 1.9.2.1. Proceso de análisis causa raíz

Esta es una herramienta muy útil en el ciclo de mejora continua donde se busca identificar el origen de los desvíos a la falta de ejecución o los motivos principales de algunas fallas que se deseen reducir o eliminar. De acuerdo con Cáceres (2004) la identificación de las causas raíz de estas fallas pueden realizarse con la ayuda del diagrama espina de pescado; de esa manera se logra considerar posibles orígenes humanos, de procedimientos, máquinas y condiciones externas que puedan estar ocasionando la falla no deseada.

Figura 20. Diagrama espina de pescado



Fuente: Cáceres (2004). *Cómo incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar mantenimiento.*

### **1.9.2.2. Implementación de mejoras**

Identificadas las oportunidades de mejora es de carácter prioritario preparar un plan de acción, que permita la implementación de las mejoras identificadas en el proceso de las tareas ejecutadas o de las fallas que se presentan durante el trabajo de los activos. Este proceso de implementación puede realizarse de manera autónoma, tercerizada o con un equipo de trabajo focalizada a esto.

Es de suma importancia realizar una auditoría durante y después de ejecutada la mejora, esto para medir los resultados obtenidos. Cerrada la acción se puede continuar con el análisis de las demás tareas y corrección de las otras fallas presentes.

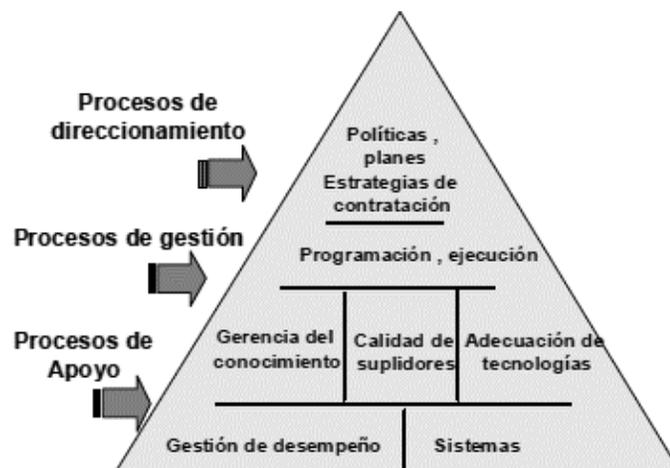
### **1.9.2.3. Continuación de ciclo habitual y mejora continua**

La gestión de mantenimiento debe incluir el trabajo del ciclo sostenido del mantenimiento y mejoramiento continuo, haciendo en conjunto una cadena de valor que catapultan los resultados de la gestión. De acuerdo con Cáceres (2004) para alinear las estrategias de la empresa y de la unidad de mantenimiento es común encontrar que los procesos independientes forman una cadena que suma a la gestión de los activos de manera estratégica para el logro de los resultados globales.

El análisis situacional, la planificación, la programación, la ejecución, el monitoreo y la mejora continua deben formar parte de las estrategias que integran las unidades interesadas en generar valor para la empresa. La unidad de costos, gestión humana, producción y mantenimiento son las obligadas en generar acciones para cumplir la función de mantenimiento.

De acuerdo con Cáceres (2004) la función de mantenimiento debe ser una pirámide conformada por un conjunto de procesos estratégicos y organizacionales que buscan reducir los costos asociados al mantenimiento. En su punto más alto, el direccionamiento de políticas y planes que dirijan las etapas de programación y ejecución del mantenimiento. La base de la pirámide se torna como soporte al mantenimiento, el seguimiento mediante las auditorías, análisis de causa raíz y de criticidad.

Figura 21. **Función de mantenimiento**



Fuente: Cáceres (2004). *Como incrementar la competitividad del negocio mediante estrategias para gerenciar mantenimiento.*

La función de mantenimiento debe considerarse de forma integral mediante estrategias que enlacen las metas de la empresa con los de cada unidad. La búsqueda del aprovechamiento óptimo de los recursos es el cimiento para el logro de lo mencionado. Nuevamente Cáceres (2004) destaca que la filosofía del mantenimiento de clase mundial encierra cuatro perspectivas que alinean la buena gestión de los procesos, personas y activos. La búsqueda de la confiabilidad de los activos, de los procesos, del talento y del valor que entrega

la empresa a su cliente es lo que va a hacer que cada acción individual apunte hacia la optimización de los costos y el incremento de la rentabilidad deseada.

## **1.10. Indicadores de mantenimiento**

Bien se dice que lo que no se mide no se puede mejorar. Deben existir parámetros de medición que indiquen si las cosas van bien, mal o hay un estancamiento. En este caso, la gestión del mantenimiento tiene diversidad de indicadores que contribuyen a monitorear el nivel de cumplimiento de los objetivos propios y de la empresa. De acuerdo con Cáceres (2004) el mantenimiento es una unidad de apoyo para las áreas productivas dentro de la empresa, por lo tanto, debe llevar indicadores que ayuden a cumplir los objetivos de estos y del negocio respectivamente.

Tomando como referencia la segunda y tercera generación del mantenimiento, donde en ambas se busca el control y aseguramiento de la calidad son los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, planificación y costos los que más se acercan a la filosofía de cada generación.

### **1.10.1. Tiempo promedio para fallar**

La fiabilidad es la probabilidad de que un determinado equipo o instalación desarrolle su función, bajo unas condiciones específicas, y durante un tiempo determinado. Por tanto, la media de tiempos entre fallos caracteriza la fiabilidad del equipo.

### **1.10.2. Tiempo promedio para reparar**

La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo sea restablecido a una condición especificada, dentro de un período de tiempo dado, y usando unos recursos determinados. Por tanto, la media de tiempos de reparación caracteriza la mantenibilidad del equipo.

### **1.10.3. Disponibilidad por avería**

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina o sistema estén preparados para producción en un lapso determinado, o sea que no haya paros por averías o ajustes.

### **1.10.4. Utilización**

La utilización, también llamada factor de uso o de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un período determinado. Regularmente se mide de manera diaria, semanal, mensual y anual.

### **1.10.5. Rendimiento**

El rendimiento contempla la pérdida de eficiencia de un determinado equipo como una disminución de su capacidad de producción frente a la nominal o esperada.

### **1.10.6. Calidad**

La calidad es el indicador de las pérdidas por fabricación defectuosa de los productos, ya sea al fabricar unidades que directamente deben ser desechadas como a que aquellas que requieran ser reprocesadas. En mantenimiento pueden estar asociadas a algún evento durante el proceso productivo que pueda perjudicar las características del producto final, causado por alguna anomalía en los equipos.

### **1.10.7. Eficiencia global de los equipos**

Es un indicador que se emplea para definir la eficiencia total de los equipos, al englobar bajo un sólo índice los tres parámetros fundamentales relacionados con el funcionamiento de los equipos de producción. La disponibilidad, el rendimiento y la calidad son definidos como los indicadores de eficiencia global de un proceso productivo. Este puede ser calculado para cada unidad de negocio independientemente o como un todo del negocio.

### **1.10.8. Indicadores operativos en plantas de laminación**

Cada giro de negocio maneja sus indicadores de acuerdo con sus procesos de gestión y productivos. Para una planta de laminación en caliente existen indicadores característicos que miden su desempeño; estos son incluso manejados tipo *benchmarking* a nivel mundial y sirven para compararse entre los mejores en estos procesos de fabricación.

Entre los comunes se pueden mencionar los indicados en la tabla II. Estos están íntimamente relacionados con la confiabilidad, disponibilidad y costos de la administración de los procesos y mantenimiento.

Tabla II. **Indicadores en plantas de laminación**

Indicador	Descripción	Fórmula
Utilización (%)	Porcentaje de tiempo aprovechado en el tiempo calendario programado para la producción	$\frac{\text{Tiempo programado} + \text{no programado}}{\text{Tiempo calendario}} \times 100$
Pérdida metálica (kilogramos/tonelada)	Desperdicio metálico generado durante la fabricación del producto laminado	$\frac{\text{Peso de materia prima desperdiciado}}{\text{Materia prima consumida}}$
Barra laminada barra perdida (unidad/unidad)	Cantidad de barras procesadas completas para perder una unidad de barra	$\frac{\text{Barra laminada}}{\text{Barra perdida}}$

Fuente: elaboración propia.



## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron recorridos de campo para reconocimiento, se revisaron los reportes de producción y mantenimiento, se recopilaron resultados de indicadores de desempeño a la fecha de investigación.

### **2.1. Fase 1. Recorrido en el taller y línea de producción**

Se identificó la distribución de la zona de trabajo para el departamento de producción y taller de cajas de laminación. Para el caso del taller, se tiene un espacio para armado de guías, armado de cajas y armado de formabucles. Se observó la organización de trabajos de los líderes y las atribuciones de los mecánicos hacia la manutención y operación de los equipos.

Se identificó en el taller que los mecánicos ocupan la mayor parte del tiempo para preparación de equipos para empezar nuevos productos. La planificación de los productos que se van a fabricar cada mes lo realizan las jefaturas de producción, mantenimiento, costos y planeación.

En la figura 22 se identifica la oportunidad de mejora en el manejo de las grasas lubricantes. Esto refleja la necesidad de reforzar los entrenamientos y auditorías que aseguren el cumplimiento a algunas técnicas de mantenimiento que ya se manejan.

Figura 22. **Almacenamiento de grasas lubricantes**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

En la figura siguiente se identifica la oportunidad de mejora al disponer de un lugar adecuado para las guías de laminación que se instalarán en los períodos de producción.

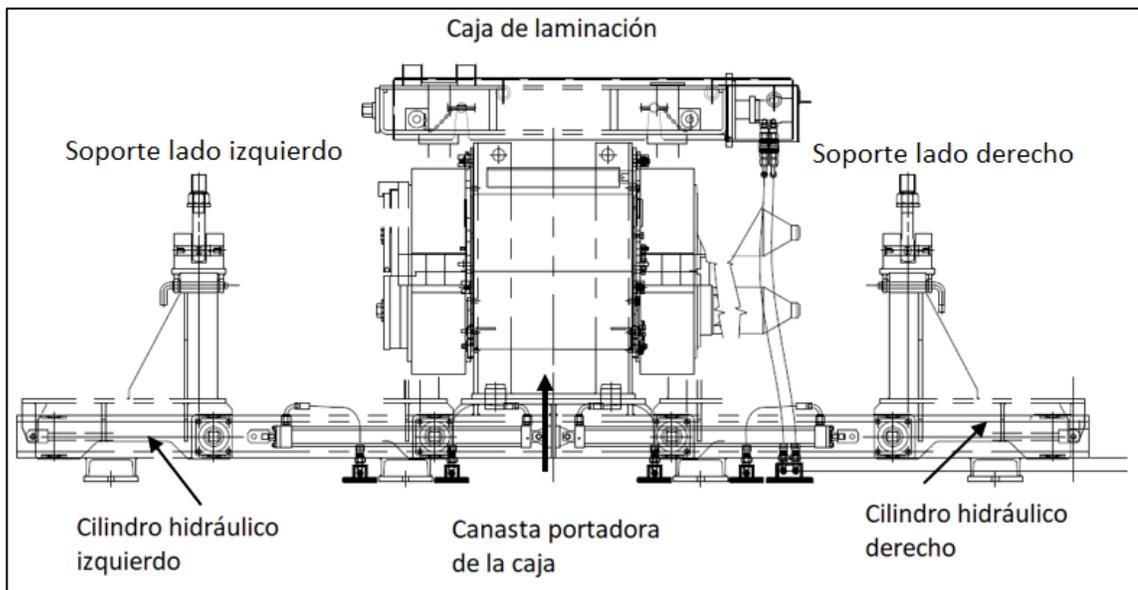
Figura 23. **Almacenamiento de guías para montaje**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

Se identificó un sistema mecánico de ensamblaje que sirve para encajar los cilindros de laminación con las chumaceras de las cajas de laminación. Las chumaceras son montadas en los soportes laterales, luego por medio de cilindros hidráulicos son encajadas con los cilindros de laminación. Estos últimos son colocados dentro de una canasta que se mantiene estática durante el acoplamiento de chumaceras y cilindros laminadores.

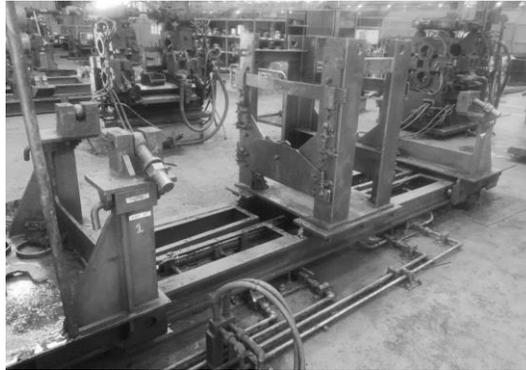
Figura 24. **Diagrama de ensamblador de cajas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Se inspeccionaron las condiciones físicas del sistema de armado de las cajas de laminación para la fecha de la investigación. La evaluación se realizó de manera visual; se evidenciaron desajustes y deformaciones en la canasta, fugas en los cilindros y mangueras hidráulicas. También, se observó que se tiene una canasta de repuesto en las mismas condiciones de operación.

Figura 25. **Sistema de armado de cajas de laminación**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

En la siguiente figura se observa el procedimiento de encaje de las chumaceras y los cilindros de laminación. En cada punta de los ejes de los cilindros laminadores están instalados unos anillos internos de rodamiento; estos deben alinearse a la chumacera con mucha precisión para evitar daños a los elementos rodantes del rodamiento. Esta tarea por tanto es crítica durante el ensamblaje.

Figura 26. **Ensamble de caja con cilindro de laminación**



Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada por Carlos Bonifasi en la empresa siderúrgica.

Durante el recorrido en el tren de laminación se observó cómo operan las cajas de laminación. Se utilizan guías de entrada y salida; ambos son equipos que alinean la materia prima para el buen conformado del producto terminado. Se identificó la importancia que cumplen las guías de laminación para que el proceso productivo se mantenga estable y sin interrupciones. La siguiente tabla muestra la distribución del personal en el taller.

Tabla III. **Personal en el taller de cajas de laminación**

<b>Nombre</b>	<b>Grado académico</b>
Ingeniero de taller	Licenciado
Supervisor de taller	Diversificado
Mecánico especialista	Diversificado
Mecánico industrial	Diversificado

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV pueden apreciarse los equipos que se deben armar y calibrar durante la preparación de cada producto. Estas tareas impactan significativamente para los resultados inmediatos del taller y del negocio.

Tabla IV. **Equipos asignados al taller de cajas**

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>
Cajas de laminación	38
Guías de laminación	114
Formabucles	14

Fuente: elaboración propia.

Para el caso en estudio se presentan los tipos de cajas de laminación que comprende el tren de laminación mencionado. Es importante resaltar que estos activos se mantienen en constante rotación, y van a depender de la cantidad de producto y el tiempo que lleve fabricarlos. Las cajas de mayor rotación son las FM160.

Tabla V. **Tipos de cajas de laminación**

Tipo	Código	Cantidad
Desbaste	FM240	8
Intermedio	FM200	16
Acabador	FM160	14

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Fase 2. Tipos y técnicas de mantenimiento

Se evidencia que manejan algunos tipos y técnicas de mantenimiento. El mantenimiento correctivo se efectúa dentro del taller y en la propia línea de producción. En pequeña proporción se hace reemplazo de repuestos, por condición detectada durante las inspecciones visuales en el ensamble y montaje. Se llevan inspecciones visuales de los equipos en la línea de producción, y los sistemas de lubricación y refrigeración por agua. No se dan técnicas predictivas.

## 2.3. Fase 3. Revisión documental

Las fallas registradas son asignadas a los equipos que tiene bajo su gestión el taller, estos son las cajas, guías y formabucles. Se han clasificado las fallas en cuatro tipos, de acuerdo con la causa raíz que se identificó en el momento del registro: de mantenimiento, operacionales, indefinidas y de material. Se tomó el

histórico de los últimos ocho meses a la fecha de investigación y se describe en las siguientes tablas:

Tabla VI. **Clasificación por causa de falla, equipos y zonas**

Equipo	Zona	Causa de falla
Cajas de laminación	- Acabador	- Mantenimiento
	- Intermedio	- Operación
	- Desbaste	- Indefinidas
Guías de laminación	- Acabador	- Material
	- Intermedio	- Mantenimiento
	- Desbaste	- Operación
Formabucles	- Acabador	- Indefinidas
	- Intermedio	- Operación
		- Mantenimiento
		- Material

Fuente: elaboración propia.

Las fallas por mantenimiento son aquellas asociadas a daños de los equipos por desgaste, fatiga, fugas de agua y por lubricación. Las fallas operacionales vienen asociadas a eventos por malos montajes de equipos, tales como, guías, rodillos o mala alineación de estos. Las fallas indefinidas son aquellas en las cuales no se logró identificar la causa raíz. Las fallas de material son las que se asocian con algún defecto de fábrica.

Tabla VII. **Registro de fallas**

Equipo	Causa de falla	Descripción
Cajas	Mantenimiento	Cilindros de laminación con juego axial
Cajas	Mantenimiento	Desajuste de mesa móvil de barrones

Continuación de la tabla VII.

Cajas	Mantenimiento	Punta de palanquilla doblada, provocada por desajuste radial y axial de rodamientos
Cajas	Operación	Calibración fuera de estándar
Cajas	Operación	Mucha separación de guía de salida
Cajas	Operación	Mala calibración de barrones
Cajas	Indefinida	Palanquilla saca guía de salida
Cajas	Material	Se fractura cilindro de laminación
Guías	Mantenimiento	Se descalibran rodillos de guía provocado por desajuste interno
Guías	Mantenimiento	Desgaste en embudo de guía de entrada
Guías	Mantenimiento	Desajuste de rodillo de guía de entrada
Guías	Operación	Inserto de guía instalado en posición contraria
Guías	Operación	Guía de entrada con calibración fuera de estándar
Guías	Operación	Rodillos de guía de entrada se encuentran desalineados
Guías	Indefinida	Palanquilla topa en guía de entrada
Formabucles	Mantenimiento	Superficie interna con desgaste
Formabucles	Mantenimiento	Desajuste entre rodamiento y rodillo
Formabucles	Mantenimiento	Se fractura cargador de rodillo
Formabucles	Operación	Mala calibración de rodillo

Fuente: elaboración propia.

La descripción de los registros de las fallas depende de la habilidad y destreza de los operadores de producción para detallarlas en los reportes de producción.



### 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentan los resultados de las variables asociadas a los indicadores de mantenimiento, estos son tiempos entre fallas, tiempo de reparación y disponibilidad por avería.

#### 3.1. Resultados globales a la fecha de investigación

A continuación, se presentan los resultados globales de un período de 8 meses de trabajo continuo. Se contabiliza el tiempo de interrupciones provocadas por los cuatro tipos de fallas descritas en el capítulo anterior.

Tabla VIII. **Clasificación y cantidad de fallas globales**

Causa de falla	Cantidad	Tiempo (minutos)
Mantenimiento	107	2 604
Operación	93	2 348
Indefinidas	25	504
Material	13	316

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes tablas se podrá observar de forma detallada la clasificación de las fallas asignadas a cada uno de los equipos gestionados por el taller. Se observa que para las cajas y guías de laminación las fallas por mantenimiento y operación son las que sobresalen en los reportes históricos. Las fallas operacionales son asociados al taller, ya que este se encarga de calibrar y ajustar los activos mencionados para ingresar a la línea de producción.

Tabla IX. **Fallas por cajas de laminación**

Causa de falla	Cantidad	Tiempo (minutos)
Mantenimiento	44	1217
Operación	44	1065
Indefinidas	17	396
Material	13	316

Fuente: elaboración propia.

Las guías de laminación son equipos instalados sobre las cajas de laminación. Cumplen paralelamente la función de asegurar la calidad del producto del proceso de laminación. Considerando lo mencionado, estos son equipos que se deben tratar en el proceso de mejora continua.

Tabla X. **Fallas por guías de laminación**

Causa de falla	Cantidad	Tiempo (minutos)
Mantenimiento	39	865
Operación	42	1052
Indefinidas	7	139
Material	0	0

Fuente: elaboración propia.

Los formabucles son equipos secundarios en el proceso de laminación en caliente, sobre todo porque forman el paso entre cajas en el tren de laminación. Como equipo mecánico soportan y dirigen con sus rodillos la palanquilla durante su conformación, principalmente en las últimas posiciones de la línea de producción.

Tabla XI. **Fallas por formabucles**

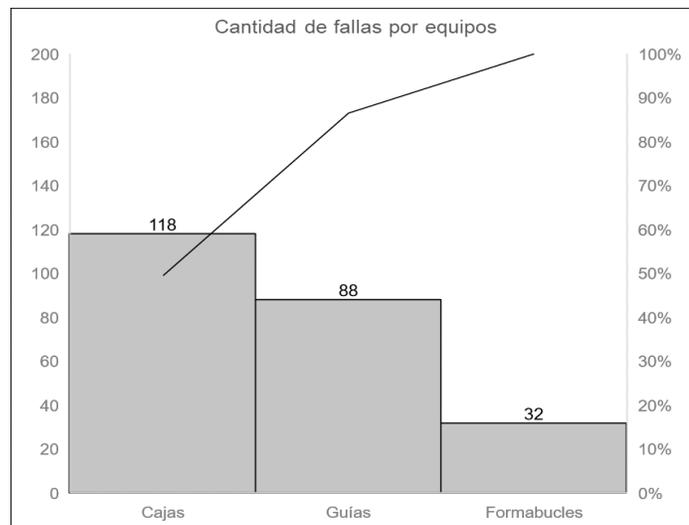
Causa de falla	Cantidad	Tiempo (minutos)
Mantenimiento	24	522
Operación	7	231
Indefinidas	1	5
Material	0	0

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Resultados de Pareto por equipos

A continuación, se presentan diagramas de Pareto que ayudan a identificar los equipos que mayor injerencia tienen en los resultados a la fecha de investigación. La siguiente figura muestra la cantidad de fallas asociadas a cada equipo.

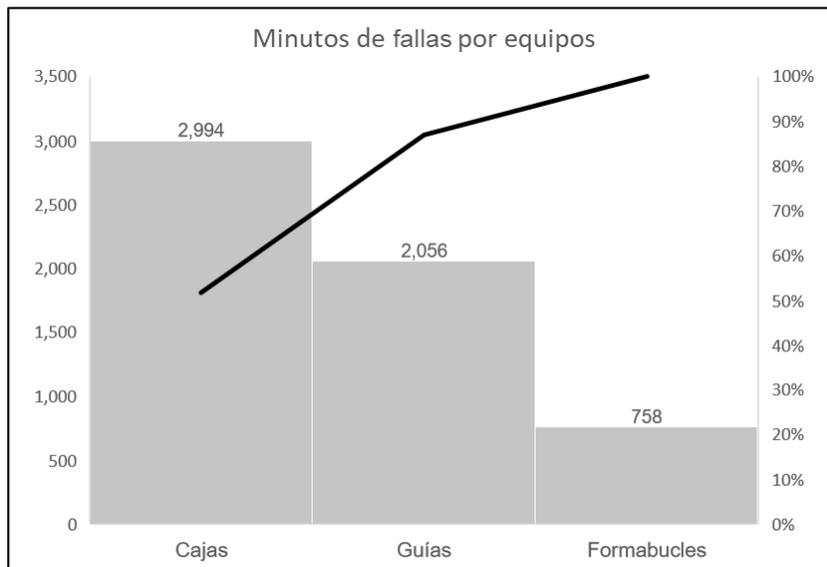
Figura 27. **Cantidad de fallas por equipos**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la siguiente imagen se asocian los tiempos en minutos de interrupción por cada uno de los equipos administrados por el taller. Con este se tiene visibilidad del que tiene una injerencia mayor.

Figura 28. **Minutos de fallas por equipos**

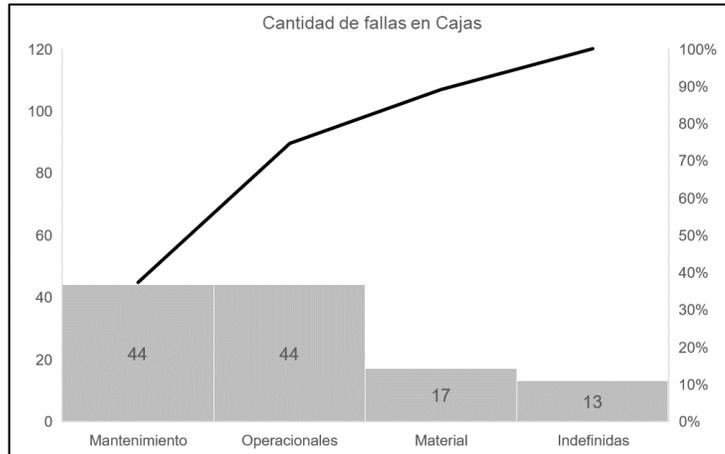


Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

### 3.3. Resultados de Pareto por tipo de fallas

A continuación, se desglosa el impacto de cada tipo de fallas en los distintos equipos, es decir, por cajas, guías y formabucles. Con los diagramas de Pareto se encuentra la cantidad de eventos y el tiempo asociado a estos. La figura 29 muestra para el caso de las cajas de laminación, que las fallas por mantenimiento y operación están en el mismo nivel de impacto.

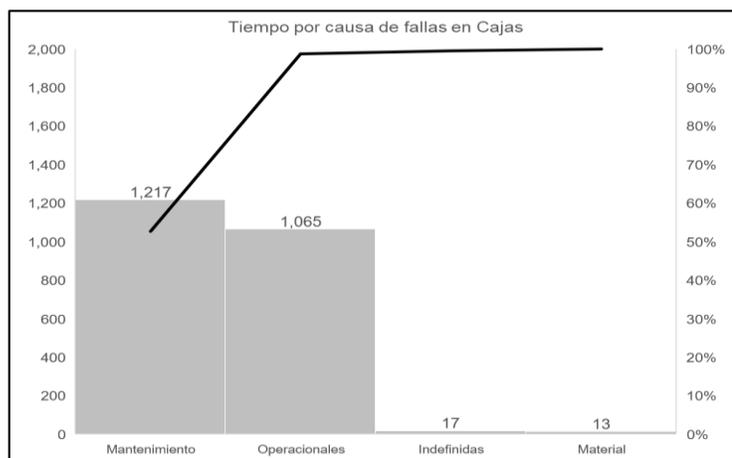
Figura 29. **Cantidad de fallas en cajas de laminación**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la figura 30 se muestra que coincide el impacto de la cantidad de fallas con el tiempo sumado por dichas averías.

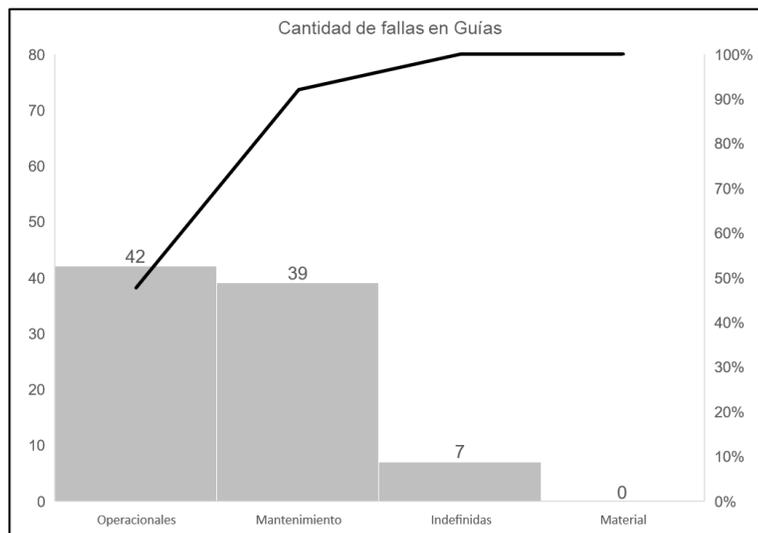
Figura 30. **Tiempo por causa de fallas en cajas**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En las guías de laminación se muestra una tendencia parecida a la de las cajas. Empezando con las fallas operacionales, que están asociadas a la calibración de las guías de laminación.

Figura 31. **Cantidad de fallas en guías**

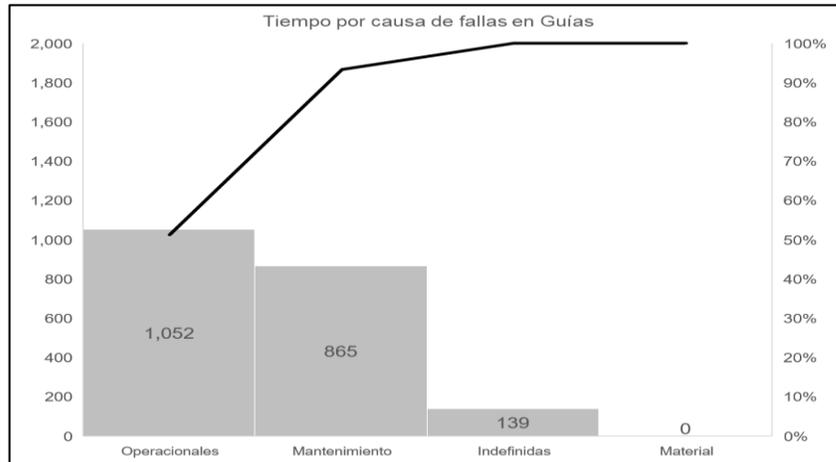


Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

El tiempo perdido por operación de las guías de laminación coincide con la tendencia de la cantidad de fallas. No se puede despreciar el impacto de las fallas por mantenimiento, ya que por diferencia de 3 eventos estarían al mismo nivel en el análisis Pareto.

Es importante que, para la operación de las guías, los mecánicos industriales utilizan diferentes estándares que le facilitan las tareas de calibración. Dichos estándares son padrones de ajuste, planos de maquinado de rodillos, plantillas de maquinado y estándares de dimensiones de cada elemento que conforma la guía de laminación.

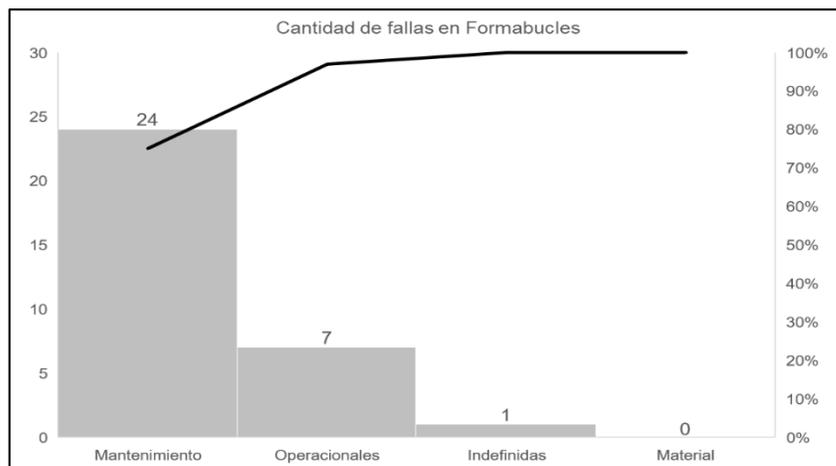
**Figura 32. Tiempo por causa de fallas en guías**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

A continuación, se pueden observar los resultados de cantidad y tiempo ocurridos en los equipos formabucles. Estos son parte de la gestión del taller de cajas y tienen impacto en los indicadores de mantenimiento.

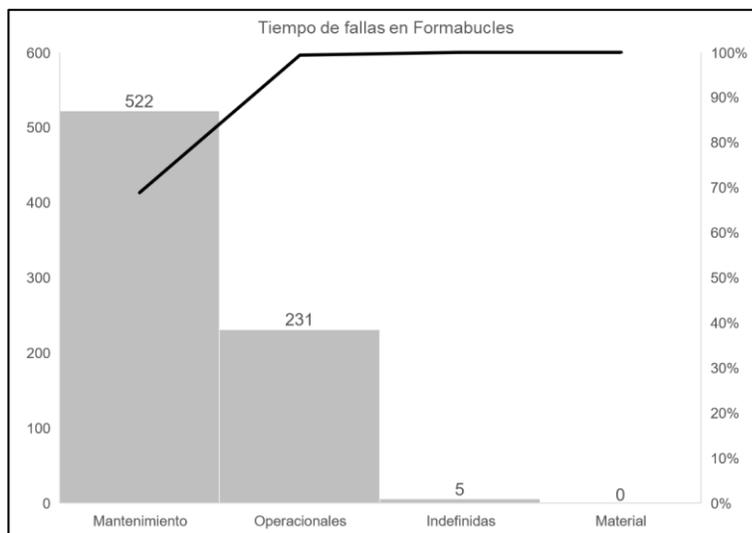
**Figura 33. Cantidad de fallas en formabucles**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la imagen siguiente se aprecia que el tiempo de falla por mantenimiento es considerablemente mayor a las operacionales. Es evidente que mantener estos equipos en condiciones adecuadas de funcionamiento impactará en la mejora de los resultados.

Figura 34. **Tiempo de fallas en formabucles**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se ha graficado el impacto en cantidad y tiempo de fallas para cada equipo mencionado. De manera visual se puede determinar que los equipos que tienen mayor injerencia en los resultados son las cajas y guías de laminación; las fallas por mantenimiento y operación inciden en dicha tendencia.

En el caso de los formabucles las fallas por operación son mucho menores que las de mantenimiento. Aun así, están por debajo de los otros equipos; es decir, los esfuerzos de mejora continúan y deben apuntarse hacia las cajas y guías.

### 3.4. Resultado de indicadores de mantenimiento

Se presentan los resultados de indicadores que van asociados a la interrupción del proceso productivo. Para temas de mantenimiento, los indicadores relevantes son el tiempo promedio para fallar y reparar, y disponibilidad por avería.

La siguiente tabla muestra los indicadores TPPF y TPPR por cada uno de los equipos en análisis.

Tabla XII. **Resumen de indicadores de mantenimiento**

<b>Equipo</b>	<b>TPPR, en minutos</b>	<b>TPPF, en horas</b>
Cajas	25,4	46
Guías	23,4	62
Formabucles	23,7	171
Global	24,4	23

Fuente: elaboración propia.

Otros indicadores que indican la eficiencia en la operación y mantenimiento son la disponibilidad por avería y la eficiencia global de los equipos, OEE. En la siguiente tabla se muestran estos indicadores para las cajas, guías y formabucles; esto permite limitar únicamente los equipos analizados. Se utiliza el período de un tiempo disponible para la producción de 5472.

Tabla XIII. **Disponibilidad por avería y eficiencia global de los equipos**

<b>Equipo</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>OEE</b>
Cajas	99,09 %	94,13 %
Guías	99,37 %	94,41 %
Formabucles	99,77 %	94,78 %
Global	98,23 %	93,32 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Resultados de palabras claves

De forma diaria el personal operativo de la línea de laminación registra los tiempos perdidos consecuentes de fallas ocurridas en los equipos. Para el período estudiado se tomaron esos registros y se trazaron nubes de palabras que ayudaron a identificar las fallas que más se repiten en los eventos que interrumpen el proceso.

En la siguiente figura se observa la nube de palabras y resaltan las más repetitivas; alineándolas a la lógica de estos equipos las palabras que más se reportan son: cajas de laminación 123 veces; guía de entrada, 88; cambio de caja, 47; guía de salida, 25; guía tipo tubo, 23; punta de la barra o palanquilla, 56; desajuste axial, 22 y barrones, 21 veces.

Figura 35. Palabras claves en cajas de laminación



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Nube de palabras* obtenido de [www.nubedepalabras.es](http://www.nubedepalabras.es).

En la siguiente figura se muestra la nube de palabras asociadas a los equipos guías de laminación. Para este caso se tiene mayor cantidad de palabras; en detalle se podría mencionar: caja de laminación 97 veces; guía de entrada, 93; punta de barra, 27; recalibración, 26; guía de salida, 20; guía tipo tubo, 17; cambio de guías, 37; rodillos de guías, 24 y tornillos, 23 veces.



Para la siguiente tabla, se categorizan los niveles de adherencia de la siguiente manera: bajo, 1; bueno, 2; muy bueno, 3; excelente, 4.

Tabla XIV. **Matriz de adherencia al TPM**

	Nivel de adherencia			
	1	2	3	4
Mejora focalizada		X		
Mantenimiento autónomo			X	
Mantenimiento planeado		X		
Capacitación	X			
Control inicial	X			
Aseguramiento de la calidad		X		
TPM en la administración	X			
Salud, seguridad y medio ambiente			X	
Metodología 5's		X		

Fuente: elaboración propia.

El sistema de mantenimiento productivo total debe orientarse estrictamente a la producción con cero accidentes, cero defectos y cero pérdidas. Al evaluar los resultados de la matriz de la tabla XIV puede observarse que existe oportunidad de mejorar los resultados de los indicadores TPPF, TPPR, disponibilidad y OEE, mediante la búsqueda del incremento del nivel de adherencia.

La mejora focalizada está en nivel bajo, ya que se presentan fallas asociadas a manejo, operación y mantenimiento de los equipos. Las cajas y guías muestran tendencias repetitivas que pueden ser mitigadas con el involucramiento de las tareas autónomas de los mecánicos.

El mantenimiento autónomo debe ser enfocado en la corrección de los desvíos de calibración y reemplazo de piezas en mal estado. Las cajas y guías presentan nuevamente la tendencia repetitiva de las fallas por mala operación y falta de mantenimiento de los equipos. Está en nivel muy bueno; sin embargo, los resultados se podrían mejorar con la capacitación del personal del taller.

El mantenimiento planeado está en nivel bueno, aunque con un alineamiento de los objetivos de la administración del taller y la empresa se puede incrementar el nivel de mantenimiento autónomo y mejoras focalizadas que necesitan los equipos, para reducir las fallas repetitivas en las cajas y guías de laminación. El aseguramiento de la calidad se encuentra en nivel bueno, ya que la empresa cuenta con dicha certificación. Sin embargo, es necesario aplicar los procesos de mejora del ciclo de mantenimiento. Esto para evitar las fallas repetitivas que deben ser eliminadas con el análisis de causas raíz y el plan de mejora continua.

La salud, seguridad y medio ambiente se encuentra en un nivel muy bueno. Sin embargo, se evidenció que se tienen prácticas de manejo de lubricantes y desechos que se deben mejorar. Considerando lo importante que es mantener los lubricantes sin contaminantes, se debe plantear un control estricto del manejo de las grasas principalmente.

La metodología 5´s es la base del mantenimiento productivo total, ya que permite que se enfoquen todas las actividades hacia la eliminación de desperdicios. Los resultados de interrupciones repetitivas, desperdicios de grasas y estado del sistema de ensamble de cajas evidencia que se tiene una gran oportunidad de mejora. Puede verse que se tuvo un control inicial al adquirir los equipos, aunque estos activos presentan fallos de fábrica. Es necesario entonces, realizar mayores actividades de mantenimiento planeado.

## 4. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta una propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para el taller de cajas de laminación. En esta etapa se interpretaron los resultados de la gestión actual, y de acuerdo con la conceptualización de los tipos y modelos de mantenimiento se ha determinado lo que más se adapta y conviene para la fecha de la investigación.

### 4.1. Incremento de indicador de disponibilidad y OEE

En búsqueda de la máxima eficiencia de la operación del proceso se deben enfocar los esfuerzos en incrementar la disponibilidad de los equipos. Este indicador tiene asociados los tiempos medios de fallas y tiempo medio para reparar. Al reducir un 50 % las interrupciones por fallas en las cajas, guías y formabucles la disponibilidad global por averías de la planta incrementa 0,59 % y el OEE crece a 0,56 %. Este último indicador promoverá la mejora en la calidad y confiabilidad de los equipos. La siguiente tabla resume lo mencionado.

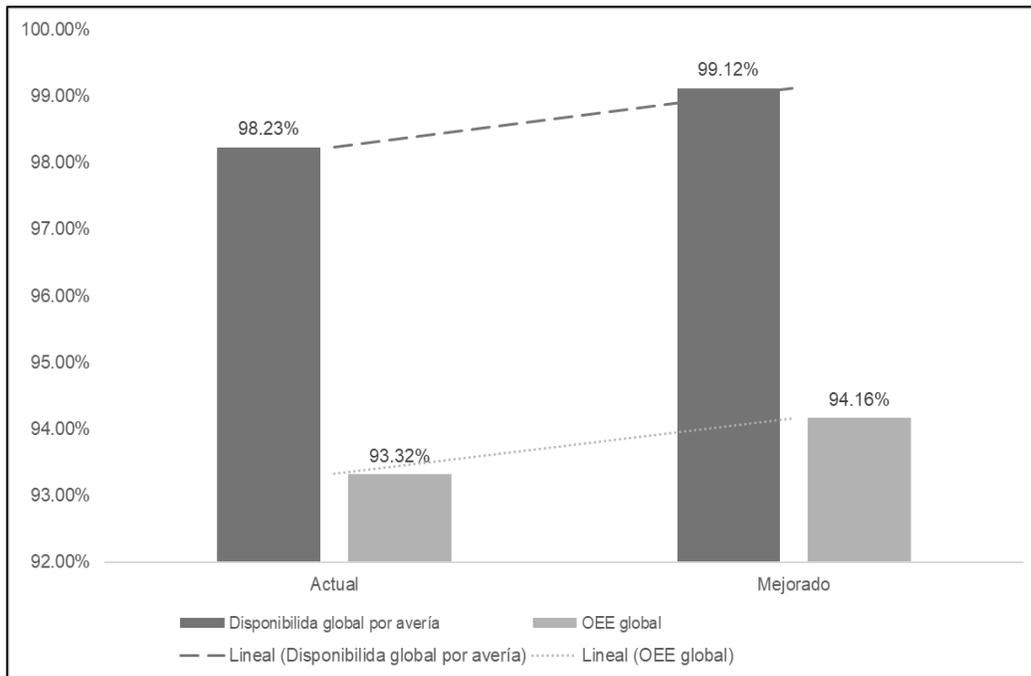
Tabla XV. Incremento de indicador de disponibilidad y OEE

Aspecto	Actual	Mejorado
Tiempo de interrupción (minutos)	5808	2904
Disponibilidad por avería	98,23 %	99,12 %
OEE global	93,32 %	94,16 %

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se visualiza el incremento del indicador de disponibilidad. Por parte del taller de cajas, este aporte incidirá en la reducción del costo de operación y mantenimiento.

Figura 37. Incremento de disponibilidad por avería y OEE



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la imagen anterior se observa un incremento en el indicador de eficiencia global de los equipos productivos, OEE. Esta ventaja servirá para aumentar el cumplimiento del programa de producción. Debido al uso eficiente de las cajas, guías y formabucles se tendrá más producto de buena calidad y mejores tiempos de entrega. A continuación, se presenta la propuesta de mantenimiento que permitirá la mejora en los indicadores mencionados.

#### **4.2. Propuesta de modelo de mantenimiento correctivo**

Existe una cantidad de tareas que se deben de aplicar con mantenimiento correctivo, esto debido a que en cada período de operación muchas piezas sufren un desgaste natural del proceso de laminación. Por tanto, debe realizarse una reparación cada vez que las mismas salen de la operación. La gestión de las tareas correctivas debe ir acompañada con los análisis de históricos de las averías encontradas, esto como parte de la mejora continua del ciclo de trabajo del mantenimiento.

#### **4.3. Propuesta de modelo de mantenimiento condicional**

Deben implementarse tareas preventivas para las partes de las cajas, guías de laminación y formabucles, que debido a la severidad del proceso sufren un desajuste mecánico con el paso del tiempo. Estos equipos tienen baja cantidad de reporte de fallas, pero van a requerir reemplazo de rodamientos, bujes, ejes y tornillería. Para este caso se deben apalancar con las asignaturas del proceso de ciclo sostenido de mantenimiento que son: la planificación, programación y asignación de la tarea, para culminar con la ejecución de esta.

Hasta esta parte se ha planteado una mezcla de modelos de mantenimiento correctivo y condicional. Las tareas planificadas deberán corresponder al 70 % de la totalidad; el 30 % restante serán las no planificadas. Estas últimas han de cubrirse con la implementación de mantenimiento autónomo sugerido en los pilares del mantenimiento productivo total.

#### **4.4. Propuesta de modelo de alta disponibilidad**

Para este modelo se propone realizar intervenciones mayores de cero horas a las cajas de laminación cuando se cumpla un período prudente de operación del equipo. En estas reparaciones deberán reemplazarse rodamientos, retenedores y reparación de ejes principales. Esto se deberá planificar y programar de acuerdo con el ciclo de trabajo de mantenimiento. Para esto la administración deberá llevar una codificación de las cajas, para luego coordinar la intervención sin afectar la operación de las máquinas.

Se deberán priorizar las reparaciones de acuerdo con el tiempo de trabajo que tengan las cajas de laminación. La codificación de las cajas en la tabla V servirá para dar seguimiento a los 38 equipos durante los trabajos del proceso sostenido de mantenimiento.

Las guías de laminación no ameritan trabajos de cero horas o alta disponibilidad, ya que cuentan con cantidades suficientes para realizar reemplazos durante el proceso, sin afectar demasiado los indicadores de disponibilidad.

Los formabucles no ameritan trabajos de cero horas o alta disponibilidad, ya que son equipos que se pueden programar para las horas de mantenimiento programadas a la línea de producción. Además, el histórico de fallas indica que estos equipos no afectan en mayor proporción los resultados de la organización.

A continuación, se muestra una matriz que permite priorizar los modelos y tipos de mantenimiento para los equipos gestionados por el taller, es decir, las cajas, guías y formabucles.

Tabla XVI. **Matriz propuesta de mantenimiento**

<b>Equipos</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Partes</b>	<b>Técnicas</b>
<b>Cajas</b>	Correctivo	Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Barrones</li> <li>- Chumaceras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones visuales</li> <li>- Reparaciones reactivas</li> <li>- Reporte de anomalías y fallas</li> <li>- Tareas autónomas</li> </ul>
	Condicional	Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Barrones</li> <li>- Chumaceras</li> <li>- Plateas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reemplazo de piezas sujetas a desgaste y tornillería</li> <li>- Lubricación</li> <li>- Reemplazo de lubricante de las plateas</li> <li>- Inspección de rodamientos y retenedores</li> <li>- Inspección de mangueras de lubricación y refrigeración</li> <li>- Apriete de tornillería</li> <li>- Tareas autónomas</li> </ul>
	Alta disponibilidad	Centrado en confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chumaceras</li> <li>- Ejes principales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones visuales</li> <li>- Lubricación automática</li> <li>- Controles administrativos de modos de fallas</li> <li>- Medición de termografías</li> <li>- Mediciones de vibraciones</li> <li>- Tareas proactivas</li> <li>- Reparaciones de cero horas</li> </ul>
<b>Guías</b>	Correctivo	Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De entrada</li> <li>- De salida</li> <li>- Tubos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reemplazo de piezas sujetas a desgaste durante la operación</li> <li>- Inspecciones visuales</li> <li>- Reparaciones reactivas</li> <li>- Reporte de anomalías y fallas</li> <li>- Tareas autónomas</li> </ul>
	Condicional	Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De entrada</li> <li>- De salida</li> <li>- Tubos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reemplazo de piezas sujetas a desgaste</li> <li>- Reemplazo de tornillería</li> <li>- Lubricación</li> <li>- Inspección de mangueras de lubricación y refrigeración</li> <li>- Reemplazo de ejes y bujes</li> <li>- Tareas autónomas</li> </ul>

Continuación de la tabla XVI.

<b>Formabucles</b>	Correctivo	Correctivo	- Cuerpo de formabucles - Ejes - Rodillos	- Cambio de rodamientos - Reparación de desgaste de rodillos - Lubricación - Inspecciones visuales - Tareas autónomas
	Condicional	Preventivo	- Cuerpo de formabucles - Ejes - Rodillos	- Inspecciones visuales - Reparaciones de ejes - Reemplazo de bujes y tornillería - Reparación de desgastes - Tareas autónomas

Fuente: elaboración propia.

El modelo de mantenimiento sistemático podrá ser evaluado de acuerdo con el costo asociado a las piezas que se reemplazarán. Será la administración en curso que decidirá la reparación, ya que esto conllevará un incremento de gastos que pueden desviarse del presupuesto disponible. De ser aprobado el mantenimiento será del tipo cero horas; es decir, aquel donde se van a reemplazar casi todas las piezas, dejando el equipo como nuevo.

#### **4.5. Propuesta de mantenimiento productivo total**

En los párrafos anteriores se hizo la propuesta técnica de modelos, tipos y algunas prácticas de mantenimiento para el taller de cajas de laminación. A continuación, se propone implementar un sistema de gerenciamiento de mantenimiento y operación de dicho taller; con enfoque en la eliminación de desperdicios y aprovechamiento de los recursos disponibles.

Considerando la primicia de cero accidentes, cero defectos y cero desperdicios, se toma como base la propuesta que se puso en práctica en cada uno de los pilares del mantenimiento productivo total.

En la siguiente tabla se propone una matriz para la gestión del taller de cajas. Cada pilar del mantenimiento debe tener controles que aseguren su implementación y continuidad en el tiempo. Para iniciar con la implementación se deben de trazar los objetivos, plazos de ejecución y auditorias de lo planificado.

Esta matriz se puede ejecutar por medio de planes piloto, iniciando con las cajas de laminación hasta reducir el 50 % de las fallas asociadas a estos equipos. Luego se puede continuar con las guías de laminación y terminar con los formabucles. Esto permitirá tener un aprendizaje hasta adaptarse a este modelo de gerenciamiento.

Tabla XVII. **Matriz de gestión de taller de cajas de laminación**

<b>Pilar</b>	<b>Controles</b>
Mejora focalizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Codificación de las cajas, guías y formabucles</li> <li>- Gestión de reporte de fallas</li> <li>- Análisis de causas raíz</li> <li>- Indicadores de gestión de mejoras y análisis de fallas</li> </ul>
Mantenimiento autónomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de órdenes de trabajo</li> <li>- Gestión de inventario de insumos y repuestos rutinarios</li> <li>- Gestión de seguimiento a los reportes de averías</li> <li>- <i>Check list</i> de inspección</li> <li>- <i>Check list</i> de verificación</li> <li>- Indicadores de averías</li> </ul>
Mantenimiento planeado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de planificación, programación y ejecución</li> <li>- Elaboración de plan de mantenimiento preventivo enfocado en matriz de modelos y tipos de mantenimiento propuestos</li> </ul>
Capacitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de descriptores de puestos alineados a matriz de modelos y tipos de mantenimiento</li> <li>- Elaborar matriz de capacitación por puesto</li> </ul>
Control inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de compras con departamento de ingeniería y proyectos</li> </ul>

Continuación de la tabla XVII.

Aseguramiento de la calidad	- Documentación para las tareas de armado y calibración de equipos - Documentación para las tareas de mantenimiento correctivo y preventivo - Auditorías con base en certificaciones de calidad
TPM en la administración	- Gestión de reducción y eliminación de desperdicios de mantenimiento, operativos y administrativos - Gestión de ciclo de mejora continua con los pasos: planear, hacer, verificar y actuar - Gestión de gastos de insumos y repuestos
Salud, seguridad y medio ambiente	- Análisis de riesgos de salud y seguridad en cada puesto de trabajo - Gestión de control de residuos
5´s	- Evaluaciones periódicas mensuales y anuales

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con las observaciones realizadas se determinó que las tareas de mantenimiento son en su mayoría correctivas, el resto son operativas, autónomas, de ensamble y calibración de las cajas y guías de laminación. Solamente la lubricación de los equipos se maneja de manera preventiva. La repetitividad de las fallas va asociada a que la mayoría de las actividades diarias se enfocan en la corrección de los daños o desgaste que los equipos van presentando. Coherentemente las fallas que más se presentan en las cajas de laminación son por falta de mantenimiento, aunque se acercan bastante las fallas operativas.
2. Se realizó un análisis de todas las fallas reportadas en un período de tiempo de operación del proceso productivo. Se determinó que los equipos que tienen más tendencia a fallas son las cajas y guías de laminación. En los diagramas de Pareto se observó que las fallas por mantenimiento y operación son las que mayor repetitividad e impacto tienen sobre los indicadores de la empresa. Con base en la repetitividad, impacta directamente el indicador de disponibilidad por avería y el de eficiencia global de los equipos. En el análisis de nubes de palabras, tomadas de los reportes diarios de interrupciones, se observó que existen partes de las cajas y guías de laminación que tienden a fallar con mayor frecuencia.
3. Se estableció una matriz de mantenimiento que propone seguir los modelos de mantenimiento correctivo, condicional y alta disponibilidad. Estos permiten implementar actividades que se enfocarán en tomar

medidas para evitar repetitividad de fallas. El modelo correctivo junto con el de mantenimiento autónomo facultará a los mecánicos con los recursos necesarios para actuar de manera proactiva ante cualquier anomalía observada durante el proceso de ensamble y calibración de los equipos. Los modelos condicional y alta disponibilidad harán posible que el resto de las tareas se programen de manera preventiva para asegurar que las partes de los equipos que tienden a desajustarse puedan ser arreglados o reemplazados. Estos serán amarrados mediante el gerenciamiento TPM (Mantenimiento Productivo Total), que básicamente reforzará la prevención de repetitividad de fallas mediante el enfoque de eliminación de desperdicios, defectos y accidentes laborales.

4. Se desarrolló un conjunto de modelos y tipos de mantenimiento que servirán para gerenciar las funciones de mantenimiento y operación del taller de cajas de laminación. El enfoque se refiere a reducir y eliminar las interrupciones del proceso asociadas a fallas por naturaleza de mantenimiento y operación. Estos modelos correctivos, condicional y alta disponibilidad con la administración, por medio del gerenciamiento del mantenimiento productivo total permitirán gestionar el taller enfocado en la eliminación de desperdicios y defectos, que al no tratarse adecuadamente vienen a formar parte del conjunto de fallas repetitivas que inciden negativamente en los resultados de indicadores de mantenimiento y del proceso productivo de laminación.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el organigrama del taller y la descripción de puestos, y de esta manera reorganizar los recursos disponibles para la preparación, calibración y mantenimiento de las cajas de laminación, guías de laminación y formabucles. Diagnosticar mensualmente el mantenimiento correctivo y preventivo, utilizando indicadores de mantenimiento.
2. Gestionar un programa de capacitación de tratamiento de fallas dirigido a personal de producción y mantenimiento. Asignar recurso humano, insumos y repuestos necesarios para la corrección de desvíos durante el ensamblaje y calibración de las cajas, guías y formabucles.
3. Evaluar mensualmente la implementación y eficiencia del programa de mantenimiento productivo total para determinar los puntos donde se deba incrementar la adherencia a este. Involucrar al personal en la toma de decisiones que tengan injerencia en los pilares de mantenimiento autónomo, 5´s y mejora continua.
4. Se sugiere implementar el sistema de gerenciamiento de mantenimiento productivo total en todos sus pilares, reforzando fuertemente los requisitos de control y seguimiento que brindan las certificaciones ISO 9001:2015 y 45001. Además, debe iniciarse el plan piloto en el taller mencionado, juntamente con la operación del tren de laminación, esto permitirá mayor compromiso hacia la operación.



## REFERENCIAS

1. Agudelo-Pulido, A. (2013). *Propuesta de modelo de gestión de activos fijos con enfoque en procesos*. SIGNOS-Investigación en Sistemas de Gestión, 5(2), 45-56. Colombia: Universidad Santo Tomás. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/5604/560458745004.pdf>.
2. Aguilar-Rivas, R, A. (2011). *Solidificación de metales y aleaciones y el mecanismo de cierre de la vena fluida durante los ensayos de fluidez*. Guatemala: USAC. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/101192080/SOLIDIFICACION-DE-METALES-Y-ALEACIONES-Y-EL-MECANISMO-DE-CIERRE-DE-LA-VENA-FLUIDA-DURANTE-LOS-ENSAYOS-DE-FLUIDEZ>.
3. Aguilar-Rivas, R;. (2011). *Parámetros básicos que condicionan la fluidez de las aleaciones Al-Cu* Universidad de San Carlos Guatemala. Escuela de Ingeniería Mecánica Recuperado de <https://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/3ARTICULO-FLUIDEZ.pdf>.
4. Ballesteros-Robles, F. (2018). *La estrategia predictiva en el mantenimiento 4.0*. Argentina: Sullair. Recuperado de <https://www.reporteroindustrial.com/temas/La-estrategia-predictiva-en-el-mantenimiento-40+127360?pagina=3>.

5. Barba, J. (2016). *La administracion del mantenimiento dentro del sistema de calidadde la norma ISO 9001 : 2000*. Ecuador: TEIMSA. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/325428446/Mantenimiento-en-Iso-9001>.
6. Barriga Jara, J. (2021). *Mantenimiento productivo total TPM.*. Universidad Tecnológica de Chile: INACAP. Recuperado de <https://es.scribd.com/presentation/20454449/TPM>.
7. Bunte, C - Alibaba. (2012). *Laminación no plana*. Shangai: AXENT. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/142780936/06-Laminacion-no-plana>.
8. Cáceres, M. (2004). *Estrategias para gerenciar mantenimiento*. México: Congreso Panamericano. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/258081396/Estrategias-Para-Gerenciar-Mantenimiento-Congreso-Panamericano>.
9. Calderón Guzmán, O. (2001). *Laminación en caliente de aceros comerciales para fabricación de redondos corrugados*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos Guatemala, Guatemala.
10. Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., y Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*. Volumen 23, No. 1. México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>.

11. Covey, S., McChesney, C., Huling, J., y Miralles, J. (2012). *Las 4 disciplinas de la ejecución*. Colombia: Franklin Covey. Recuperado de <https://franklincovey.com.co/programas/las-4-disciplinas-de-la-ejecucion/>.
12. Enríquez-Berciano, J., Tremps, E., Elío-de Bengy, S., y Fernández-Segovia, D. (2010). España: *Monografías sobre Tecnología del Acero*. Parte IV. Recuperado de [http://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2\\_MONO\\_2010.pdf](http://oa.upm.es/2074/1/LAMINACION2_MONO_2010.pdf).
13. Forero-Gaitán, L. (2016). *Mantenimiento como competitividad para el siglo 21*. Colombia: Universidad de Los Andes. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/336591909\\_LA-INVESTIGACION-EN-GESTION\\_ORGANIZACIONAL\\_1](https://www.researchgate.net/publication/336591909_LA-INVESTIGACION-EN-GESTION_ORGANIZACIONAL_1).
14. García Garrido, S. (s.f.). *Tipos de mantenimiento*. Gerona, España. Recuperado de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>.
15. García-Palencia, O. (2012). *Mantenimiento productivo total en gestión moderna del mantenimiento industrial*. Colombia: Ediciones de la U.
16. Gasca, M., Camargo, L. y Medina, B. (2017). *Sistema para evaluar la confiabilidad de equipos críticos en el sector industrial*. *Información Tecnológica*, 28(4), 111-124. España: Universidad de La Rioja. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6190550>.

17. Gerdau. (2020). *Laminación LAM-000. Introducción y conceptos operador*. Brasil: Gerdau Recuperado de [https://www2.gerdau.com.br/sites/default/files/2021-08/Informe AnualGerdau2020.pdf](https://www2.gerdau.com.br/sites/default/files/2021-08/Informe%20AnualGerdau2020.pdf).
18. Hung, A. ( 2009). *Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores*. Cuba: Ingeniería Energética, Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127741002.pdf>.
19. Ibarra-Balderas, V., y Vallesteros-Medina, L. (2017). *Manufactura esbelta*. México: ConCiencia Tecnológica. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94453640004>.
20. Linares-Depestre, L. (julio-septiembre de 2012). Del mantenimiento correctivo al mantenimiento enfocado en la confiabilidad. Cuba: *Centro azúcar*, 3/2012. pp. 7-14. Recuperado de [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/341/333](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/341/333).
21. Lozano, L. (1991). *Laminación de productos*. Venezuela: Puerto Ordaz. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/123862719/Laminacion-de-Productos-pdf>.
22. Marrero-Hernández, R., Vilalta-Alonso, J., y Martínez-Delgado, E. (mayo-agosto de 2019). Modelo de diagnóstico-planificación y control del mantenimiento. *Ingeniería industrial*, 40(2), 148-160. Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v40n2/1815-5936-rii-40-02-148.pdf>.

23. Montilla, C., Arroyave, J., y Silva, C. (Diciembre de 2007). Caso de aplicación de mantenimiento enfocado en confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo. *Scientia et Technica*, 13(37), 273-278. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903746.pdf>.
24. Moubray, J. (2020). *Paradigmas de mantenimiento de clase mundial*. Chile: Congreso de Mantenimiento y Confiabilidad. Recuperado de <https://soporteycia.com/articulos/paradigmas-de-mantenimiento-de-clase-mundial>.
25. Moubray, J. (2018). *Mntenimiento centrado en la confiabilidad*. United Kingdom: AJadon Ltd. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/391380855/58812627-RCM-II-JM-pdf>.
26. Nakajima, S. (1984). *Introducción al mantenimiento productivo total*. Cambridge Massachusets Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/51170378/Introduccion-Al-Tpm-de-Seiichi-Nakajima>.
27. Pèrez-Jaramillo, C. (2019). *RCM y gestión de activos*. Colombia: Soporte y Compañía. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/269906746/RCM-y-gestion-de-activos>.
28. Rey Sacristán, F. (2001). *Mantenimiento total de la producción*. España: DAYENU. Grupo de Comunicación. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=t05vRBKtkQcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=fals>.

29. Sánchez-Rodríguez, A. (2010). *La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento*. Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225115200008.pdf>.
30. Sexto, L. (2010). *La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento enfocado en confiabilidad*. México: Doc. MX. Recuperado de [https://www.academia.edu/20729406/Rcm\\_sexto\\_mm20?email\\_work\\_card=view-paper](https://www.academia.edu/20729406/Rcm_sexto_mm20?email_work_card=view-paper).
31. Soporte y Cia Ltda. (2013). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. México: CDMX. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/249804521/Rcm-Mantenimiento-Centrado-en-Confiabilidad>.
32. Sotuyo-Blanco, S. (2015). *Gestión de activos y ciclo de vida*. España: Universidad La Rioja. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/462454588/gestion-de-activos-y-ciclo-de-vida-0-pdf>.
33. Torrell Martínez, F. (2010). *TPM en un entorno de Lean Management. Estrategia competitiva*. Barcelona: Profit Editorial. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/185616432/IngenieriaMantenimiento>.
34. Unzueta-Aranguren, G., Goti-Elordi, A., Garitano-Aranda, J., y Sánchez-Ganchegui, I. (2014). *Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado*. España: Universidad La Rioja. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/busqueda/aplicación-de-un-sistema-de-gestion-del-mantenimiento-basado-en-un-rcm-adaptado>.

35. Vasquez-García , J. (2012). *Situación de la gestión de mantenimiento de las fábricas procesadoras de hule natural técnicamente especificado en Guatemala, según la matriz de clase mundial*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos Guatemala, Facultad de Ingeniería , Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5156/1/JHONNY%20FRANCISCO%20V%C3%81SQUEZ%20GARC%C3%8DA.pdf>.
36. Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. y Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista chilena de ingeniería, Ingeniare*, 21(1), 125-138. Chile: SciELO. Recuperado de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052013000100011](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100011).
37. Wagner-Arbeláez, J. (2016). *Impacto de la estrategia de mantenimiento en la operación de una planta de manufactura*. Colombia: Universidad ECCI. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/336591909\\_LA-INVESTIGACION-EN-GESTION ORGANIZACIONAL\\_1](https://www.researchgate.net/publication/336591909_LA-INVESTIGACION-EN-GESTION_ORGANIZACIONAL_1).



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Matriz de consistencia

<b>GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN TALLER DE CAJAS DE LAMINACIÓN PARA UNA EMPRESA SIDERÚRGICA</b>		
<b>Objetivo general</b>	<b>Conclusión</b>	<b>Recomendación</b>
Proponer un modelo de gestión de mantenimiento para utilizar en un taller de cajas de laminación de una industria siderúrgica	Se desarrolló un conjunto de modelos y tipos de mantenimiento que servirán para gerenciar las funciones de mantenimiento y operación del taller de cajas de laminación. El enfoque es reducir y eliminar las interrupciones del proceso asociadas a fallas por naturaleza de mantenimiento y operación. Estos modelos correctivos, condicional y alta disponibilidad con la administración por medio del gerenciamiento del Mantenimiento Productivo Total permitirán gestionar el taller enfocado en la eliminación de desperdicios y defectos, que al no tratarse adecuadamente vienen a formar parte del conjunto de fallas repetitivas que pegan negativamente los resultados de indicadores de mantenimiento y del proceso productivo de laminación.	Se sugiere que se implemente el sistema de gerenciamiento de mantenimiento productivo total en todos sus pilares, reforzando fuertemente los requisitos de control y seguimiento que brindan las certificaciones ISO 9001:2015 y 45001. Se sugiere que se haga un plan piloto en el taller mencionado juntamente con la operación del tren de laminación. Esto permitirá mayor compromiso hacia la operación.

Continuación de apéndice 1.

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
<p>1 Identificar los tipos y técnicas de mantenimiento que están a la fecha de investigación implementadas para evitar fallas repetitivas en las cajas de laminación.</p>	<p>De acuerdo con las observaciones realizadas se determinó que las tareas de mantenimiento son en su mayoría correctivas, el resto son operativas autónomas de ensamble y calibración de las cajas y guías de laminación. Solamente la lubricación de los equipos se maneja de manera preventiva. La repetitividad de las fallas va asociada a que la mayoría de las actividades diarias van enfocadas en corregir los daños o desgaste que los equipos van presentando. Coherentemente las fallas que más se presentan en las cajas de laminación son aquellas por falta de mantenimiento, aunque se acerca bastante las fallas operativas.</p>	<p>Evaluar el organigrama del taller y la descripción de puestos, y de esta manera reorganizar los recursos disponibles para la preparación, calibración y mantenimiento de las cajas de laminación, guías de laminación y formabucles. Diagnosticar mensualmente el mantenimiento correctivo y preventivo utilizando indicadores de mantenimiento.</p>
<p>2 Sintetizar las fallas reportadas en las cajas de laminación para determinar las que más impactan en los indicadores de mantenimiento</p>	<p>Se realizó un análisis de todas las fallas reportadas en un período de tiempo de operación del proceso productivo. Se determinó que los equipos que tienen más tendencia a fallas son las cajas y guías de laminación. En los diagramas de Pareto se observó que las fallas por mantenimiento y operación son las que mayor repetitividad e impacto tienen sobre los indicadores de la empresa. La repetitividad impacta directamente el indicador de disponibilidad por avería y el de eficiencia global de los equipos. En el análisis de nubes de palabras, tomadas de los reportes diarios de interrupciones, se observó que existen partes de las cajas y guías de laminación que tienden a fallar con mayor frecuencia.</p>	<p>Gestionar un programa de capacitación de tratamiento de fallas dirigido a personal de producción y mantenimiento. Asignar recurso humano, insumos y repuestos necesarios para la corrección de desvíos durante el ensamblaje y calibración de las cajas, guías y formabucles.</p>

## Continuación de apéndice 1.

---

3 Establecer una matriz de modelos, tipos y técnicas de mantenimiento que gestione el taller de cajas de laminación enfocada en evitar fallas repetitivas.	Se estableció una matriz de mantenimiento que propone seguir el modelo de mantenimiento correctivo, condicional y alta disponibilidad. Estos modelos permiten implementar actividades que se enfocarán en tomar medidas para evitar repetitividad de fallas. El modelo correctivo en conjunto con el mantenimiento autónomo facultará a los mecánicos con los recursos necesarios para actuar de manera proactiva ante cualquier anomalía observada durante el proceso de ensamble y calibración de los equipos. El modelo condicional y alta disponibilidad harán posible que el resto de las tareas sean programadas de manera preventiva, para asegurar que las partes de los equipos que tienden a desajustarse puedan ser ajustados o reemplazados. Estos modelos serán amarrados mediante el gerenciamiento TPM (mantenimiento productivo total), que básicamente reforzará la prevención de repetitividad de fallas mediante el enfoque en la eliminación de desperdicios, defectos y accidentes laborales.	Evaluar periódicamente la implementación y eficiencia del programa de mantenimiento productivo total para determinar los puntos donde se deba incrementar la adherencia a este. Involucrar al personal en la toma de decisiones que tengan injerencia en los pilares de mantenimiento autónomo, 5's y mejora continua.
--	--	--

---

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Cálculo del indicador OEE para un tren de laminación

El cálculo de OEE aborda diferentes categorías que buscan identificar los principales cuellos de botella en el proceso		
OEE breakdown Horas	Descripción	
Tiempo de calendario		
Sin programación de producción		Tiempo en que no hay programación para producción (ejemplo: feriado, entrenamiento obligatorio, ausentismo programado)
Tiempo planificado		
Mantenimiento programado		Tiempo planificado para hacer el mantenimiento del equipo
Mantenimiento no programado		Tiempo no planificado y utilizado para hacer el mantenimiento del equipo
Tiempo de disponibilidad		
Paradas externas		Tiempo perdido por causas externas (ejemplo: bajas de tensión, ausentismo, entrenamientos no programados)
Paradas operacionales		Tiempo perdido con paradas durante la producción (ejemplo: aguardando el operador, aguardando reabastecimiento/cambio de material auxiliar)
Paradas por cambios		Tiempo perdido con cambios de productos (set-up) o turnos
Paradas por inventario		Tiempo perdido por exceso de inventario
Paradas por MP		Tiempo perdido por falta de materia prima o mala calidad de la MP
Tiempo de utilización		
Perdidas por ritmo		Tiempo perdido por la reducción de lo ritmo del equipo
Perdidas por calidad		Tiempo perdido con producción de productos con mala calidad
Otros		
OEE		

Fuente: archivos empresa siderúrgica. Guatemala, 2021.