

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico*

PROYECTO TÉCNICO

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA LÍNEA DE CORTE DE
MATERIA PRIMA EN LA EMPRESA TUGALT”**

AUTORES:

CESAR AUGUSTO NAULA OCHOA
JORGE MARIO TAPIA ROJAS

TUTORA:

ING. ADRIANA DEL PILAR GUAMÁN BUESTÁN, PH.D.

CUENCA - ECUADOR

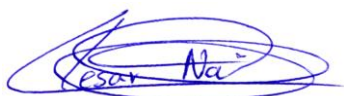
2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.

Nosotros, Cesar Augusto Naula Ochoa con documento de identificación N° 0105669626 y Jorge Mario Tapia Rojas con documento de identificación N° 0301402301, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: ***“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA LÍNEA DE CORTE DE MATERIA PRIMA EN LA EMPRESA TUGALT”***, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2019



Cesar Augusto Naula Ochoa
C.I.: 0105669626

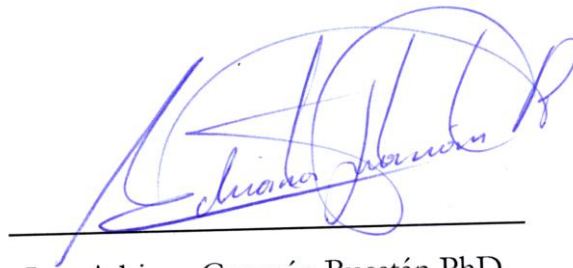


Jorge Mario Tapia Rojas
C.I.: 0301402301

CERTIFICACIÓN.

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ***“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA LÍNEA DE CORTE DE MATERIA PRIMA EN LA EMPRESA TUGALT”***, realizado por Cesar Augusto Naula Ochoa y Jorge Mario Tapia Rojas, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2019



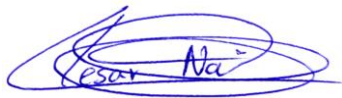
Ing. Adriana Guamán Buestán PhD.

C.I.: 0301534582

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Nosotros, Cesar Augusto Naula Ochoa con documento de identificación N° 0105669626 y Jorge Mario Tapia Rojas con documento de identificación N° 0301402301, autores del trabajo de titulación: ***“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA LÍNEA DE CORTE DE MATERIA PRIMA EN LA EMPRESA TUGALT”***, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre del 2019



Cesar Augusto Naula Ochoa
C.I.: 0105669626



Jorge Mario Tapia Rojas
C.I.: 0301402301

DEDICATORIA.

A mis padres Dolores y Salustino, quienes con su esfuerzo, amor y dedicación me ayudaron a obtener una meta más en mi vida. A mis hermanos quienes siempre estuvieron cuando más los necesitaba brindándome su apoyo incondicional.

A todos mis compañeros y amigos, por el apoyo brindado a lo largo de mi etapa universitaria.

Cesar Naula.

A mi madre Nube Rojas, quien con sacrificio y amor fomentó la culminación de mis estudios. A mi esposa Miriam, por estar siempre a mi lado y brindarme la dicha de ser padre.

A mi hermano, por todo el apoyo moral y sabios consejos.

Jorge Tapia.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos primeramente a Dios por darnos salud y estar con vida para poder llegar a ser profesionales, a todo el personal que conforma en departamento de mantenimiento en la empresa Tugalt, por brindarnos la oportunidad y confianza al entregarnos la información necesaria para la elaboración de nuestro proyecto de titulación, a la Universidad Politécnica Salesiana por la formación académica brindada, a nuestra tutora de tesis la Ing. Adriana Guamán por su experiencia y gran motivación a lo largo de la elaboración de nuestro proyecto de titulación.

Al Ing. Sergio Ceballos por la confianza brindada dentro de la empresa, por sus recomendaciones e indicaciones para la realización del trabajo de titulación.

RESUMEN.

TUGALT. S.A. es una empresa del sector metalmecánico de ámbito nacional, especializada en la manufactura y comercialización de tubería y perfiles de acero, para tal fin cuenta con diversas líneas de transformación de flejes que deben ser suministrados de materia prima de forma ininterrumpida. Por tal motivo la producción depende directamente de la disponibilidad de su línea de corte. Al ser una línea única en toda la planta y en la provincia, ocasiona que las averías en los equipos y elementos del sistema sean críticas, puesto que los repuestos de varios ítems mantenibles deben ser importados o construidos con fechas de entrega elevadas, ocasionando largos periodos de paro de producción.

El trabajo presentado implementa una filosofía de gestión de mantenimiento denominada “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” o MCC, enfocado en reducir los efectos nocivos de las fallas en el sistema de producción de corte de flejes. Para desarrollar la metodología se utilizan técnicas de clasificación y subdivisión de activos; para luego agrupar los subsistemas según la función que cumplen en la totalidad del sistema, siguiendo una normativa como referencia. Luego se identifica posibles modos de falla con el uso de la herramienta AMEF, que analiza su criticidad usando criterios de frecuencia, severidad y detección para finalmente recomendar acciones de mantenimiento siguiendo el algoritmo MCC.

Para el normal desarrollo de la metodología propuesta se procede a la captación de información relevante sobre la línea de corte como registro de averías, horas de parada, planes de mantenimiento, fichas técnicas, costos entre otros. Esta información es utilizada para formar una base de datos durante la fase de diagnóstico de los problemas recurrentes en la línea y proyectar modos de falla que puedan provocar horas de parada de producción.

Los resultados técnicos y económicos permiten enfocar los esfuerzos del departamento de mantenimiento en los equipos más críticos del sistema, reducir las horas de parada de producción por elementos dañados, aumentar la disponibilidad de la línea, monitorear los síntomas de equipos antes de que ocurran los modos de falla y reducir el costo de mantenimiento.

Palabras clave: Mantenimiento, Criticidad, Falla, Producción, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Análisis de Modos y Efecto de Fallas.

ABSTRACT.

TUGALT S.A. It is a company of the metalworking sector nationwide, specialized in the manufacture and marketing of steel pipes and profiles, for this purpose it has several strapping lines that must be administered uninterruptedly with raw material. For this reason the production depends directly on the availability of its cutting line. Being a single line on the entire plant and in the province, it causes that the breakdowns in the equipment and elements of the system are critical, since the spare parts of several maintainable items must be imported or built with high delivery dates, causing long periods of production stoppage.

The work presented implements a maintenance management philosophy called “Reliability Centered Maintenance” or MCC, focused on reducing the harmful effects of failures in the strapping production system. To develop the methodology, asset classification and subdivision techniques are used; to then group the subsystems according to the function they fulfill in the whole system, following a regulation as a reference. Then possible failure modes are identified with the use of the AMEF tool, which analyzes its criticality using frequency, severity and detection criteria to finally recommend maintenance actions following the MCC algorithm.

For the normal development of the proposed methodology, relevant information is collected on the cut-off line, such as breakdown records, downtime, maintenance plans, technical sheets, costs, among others. This information is used to form a database during the diagnosis phase of recurring problems on the line and project failure modes that may cause production stop hours.

The technical and economic results allow focusing the maintenance department's efforts on the most critical equipment in the system, reducing production downtime for damaged items, increasing line availability, monitoring equipment symptoms before modes occur of failure and reduce maintenance cost.

Keywords: Maintenance, Criticality, Failure, Production, Reliability Centered Maintenance, Mode Analysis and Failure Effect.

GLOSARIO.

Falla:	Pérdida de la capacidad de realizar lo requerido. [1]
Avería:	(De un elemento): Incapacidad para realizar la función requerida debido a un estado interno. [2]
Sobrecarga:	Funcionamiento de un ^{equipo} por encima de su capacidad nominal de plena carga que, cuando persiste durante un tiempo suficientemente largo podría causar daños o un calentamiento peligroso. [3]
Confiabilidad:	Capacidad de un ítem para realizar una función requerida bajo condiciones dadas durante un intervalo de tiempo dado. [1]
Repuesto:	Pieza, componente, conjunto, equipo o máquina perteneciente a un ítem de orden superior que sea susceptible de sustitución por rotura, desgaste o consumo. Equivale al término recambio. [4]
Criticidad:	Condición de crítico. Impacto que produce la carencia del material sobre las actividades de mantenimiento o el proceso de producción. [5]
Mantenimiento:	Combinación de los conocimientos técnicos, administrativos y de gestión, incluida la supervisión de acciones, durante el ciclo de vida de un elemento destinado a retener, o restaurarlo a un estado en el que pueden realizar la función deseada. [6]
Equipo:	Término general que incluye los materiales, accesorios, dispositivos, artefactos, utensilios y similares utilizados como parte de o en relación con una instalación eléctrica. [2]
Activo físico:	Algo que tiene valor o potencial valor para una organización. [7]
Materia prima:	Material necesario para la fabricación de un producto, comprende los productos terminados de otra industria. [8]
Línea de producción:	Conjunto armonizado de diversos subsistemas como son: neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, etc. Todos estos con una finalidad en común: transformar o integrar materia prima en otros productos. [9]
Planta:	Es el conjunto de máquinas, equipos y otras instalaciones dispuestas convenientemente en lugares adecuados, cuya función es transformar materias o energías de acuerdo a un proceso básico preestablecido. [10]

- Disponibilidad: Confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. [11]
- Orden de trabajo: Instrucción por escrito que especifica el trabajo que debe realizarse, incluyendo detalles sobre refacciones, requerimientos de personal, etc. [12]
- Mantenibilidad: Es "la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos". [13]
- Calidad: Grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. [14]

ÍNDICE DE CONTENIDO

SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
GLOSARIO.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Importancia y alcances.....	2
1.1.3. Delimitación.....	3
1.2. Problema general.....	3
1.2.1. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.3.3. Fases del proyecto.....	4
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
2.1. Mantenimiento.....	5
2.1.1. Tipos de mantenimiento.....	5
2.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).....	5
2.2.1. ¿Qué es el MCC?.....	5
2.2.2. Beneficios del MCC.....	6
2.2.3. Las 7 preguntas básicas del MCC.....	6
2.2.4. Metodología de aplicación del MCC.....	7
2.2.5. Etapas para la implementación del MCC.....	8
2.3. Análisis de criticidad.....	8
2.4. Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).....	9
2.4.1. ¿Qué es el AMEF?.....	9
2.4.2. Proceso de análisis para la realización de un AMEF.....	10
2.4.3. Criterios para la clasificación de los modos de falla.....	11
2.4.4. Número ponderado de riesgo (NPR).....	12
2.4.5. Presentación de los resultados del análisis del AMEF.....	12
2.4.6. Algoritmo de decisión MCC.....	13
2.5. Confiabilidad.....	14
2.5.1. Fórmulas para determinar la confiabilidad.....	14

2.6.	Taxonomía	15
2.7.	Codificación y división de sistemas.	16
2.8.	Indicadores de gestión de mantenimiento.....	17
3.	DIAGNÓSTICO.....	17
3.1.	Generalidades de la empresa.	17
3.1.1.	Valores compartidos.	18
3.1.2.	Objetivos de la empresa.....	18
3.2.	Proceso de fabricación.	19
3.2.1.	Descripción del proceso de transformación de materia prima en productos.....	19
3.2.2.	Producción de flejes enrollados.....	20
3.3.	Análisis del sistema de mantenimiento actual de la empresa.....	21
3.3.1.	Estructura del departamento de mantenimiento.	21
3.3.2.	Filosofía de mantenimiento vigente.....	22
3.3.3.	Carpetas por técnico.....	23
3.3.4.	Mantenimiento correctivo actual.....	23
3.3.5.	Detalles de averías en los equipos.	25
3.3.6.	Tiempos de parada no programada.	25
3.3.7.	Mantenimiento preventivo.	27
3.3.8.	Hojas de autónomos y 5´S.	28
3.3.9.	Mantenimiento predictivo actual.....	28
3.3.10.	Indicadores de mantenimiento actuales en la empresa.....	29
3.4.	Código de equipos de la línea de corte de materia prima.....	32
3.5.	Resultados del diagnóstico.....	32
4.	PROPUESTA.....	33
4.1.	Introducción al análisis.....	33
4.2.	Análisis y evaluación de criticidad de equipos vigentes en la línea.	35
4.3.	Selección de equipos a analizar bajo la metodología MCC.	38
4.4.	Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).....	38
4.4.1.	Procedimiento de fabricación de flejes en la línea de corte.....	39
4.4.2.	Diagrama de bloque funcional.....	53
4.4.3.	Fallas funcionales de los elementos de la línea.....	54
4.4.4.	Propuesta de codificación y subdivisión para equipos de la línea.	56
4.4.5.	Determinación de modos de falla	57
4.5.	Resultados de la propuesta.	63
5.	CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS.	64
5.1.	Costos actuales de mantenimiento.	64
5.1.1.	Costos de mantenimiento correctivo.....	65
5.1.2.	Costos por mantenimiento preventivo.....	66
5.1.3.	Proyección de costos de mantenimiento con datos históricos.	66
5.2.	Costo de la propuesta.	66

5.2.1.	Costo de actividades.....	67
5.2.2.	Costo de capacitación al personal.	68
5.3.	Beneficios económicos.....	69
5.3.1.	Proyección de costos de mantenimiento por modos de falla.	70
5.3.2.	Costo de oportunidad perdido por mantenimiento correctivo	73
5.3.3.	Proyección de costos de oportunidad perdido por modos de falla	74
5.4.	Beneficios técnicos de la propuesta.....	76
5.4.1.	Proyección de MTBF con modos de falla.	77
5.4.2.	Proyección de MTBF con propuesta.....	78
5.4.3.	Cuantificación de beneficios técnicos.....	79
5.5.	Resultados de la cuantificación de beneficios.	79
6.	CONCLUSIONES.....	80
6.1.	Conclusiones de la fase de diagnóstico.....	80
6.2.	Conclusiones de la propuesta.....	80
6.3.	Conclusiones de la cuantificación de beneficios.....	80
7.	RECOMENDACIONES.....	81
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	81
9.	ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Metodología	4
Figura 2. Diagrama de metodología de aplicación del MCC.....	7
Figura 3. Algoritmo de decisiones para el MCC.....	13
Figura 4. Parámetros que afectan a la confiabilidad operacional.	14
Figura 5. Taxonomía.....	15
Figura 6. Sistema de codificación	16
Figura 7. Ubicación de Tugalt.	18
Figura 8. Organigrama del equipo de trabajo para mantenimiento	22
Figura 9. Bases del mantenimiento aplicado en la empresa Tugalt	23
Figura 10. Transformación de materia prima en productos	20
Figura 11. Diagrama de la operación de corte de materia prima.....	21
Figura 12. Equipos que conforman la línea de corte	34
Figura 13. Criticidad de los equipos de la cortadora según valores ponderados	37
Figura 14. Carro de carga de bobinas	39
Figura 15. Pistón elevador, guías de mesa y moto-reductor	40
Figura 16. Desenrollador centrable	41
Figura 17. Centrado de la bobina	41
Figura 18. Brazo del desenrollador Centrable	42
Figura 19. Meza de entrada, guías de centrado, Rodillos de tiro y cizalla guillotina	43
Figura 20. Guillotina	44
Figura 21. Cizalla circular fija	45
Figura 22. Freno manual	45
Figura 23. Sistema de rieles para el soporte del eje	46
Figura 24. Rodillos de centrado	47
Figura 25. Recogedor de Virutas	47
Figura 26. Foso	48
Figura 27. Mesa de paso del foso	49
Figura 28. Prensa de frenado	49
Figura 29. Rodillos deflectores	50
Figura 30. Mesa de abocado	50
Figura 31. Platos separadores	51
Figura 32. Enrollador de Flejes	52
Figura 33. Brazo de descarga.....	53
Figura 34. Grupo hidráulico.	53
Figura 35. Diagrama de funcionalidad	54

INDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. MTBF de la línea de corte.	29
Gráfico 2. MTTR de la línea de corte.	30
Gráfico 3. Disponibilidad de la línea de corte.	31
Gráfico 4. Proyección de costos de mantenimiento por modos de falla.	73
Gráfico 5. Línea de tendencia para horas de parada no programada.	74
Gráfico 6. Tendencia MTBF con datos históricos de la línea.	77
Gráfico 7. Estimaciones de MTBF.	79

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Criterios de evaluación para RPN.....	12
Tabla 2. Prioridad NPR	12
Tabla 3. Formato para presentación de resultados de análisis AMEF	12
Tabla 4. Definiciones de niveles de taxonomía.....	16
Tabla 5. Definiciones de funciones de miembros del equipo de trabajo	22
Tabla 6. Plan de acción para mantenimiento correctivo.	24
Tabla 7. Averías por mes de la línea de corte de materia prima 2017-2019.	25
Tabla 8. Tiempos de parada en la línea de corte por mantenimiento correctivo 2017- 2018.....	26
Tabla 9. Códigos de registro para las actividades preventivas	27
Tabla 10. Procedimiento para la programación del mantenimiento preventivo.....	27
Tabla 11. Plan de mantenimiento preventivo 2018	28
Tabla 12. Plan de mantenimiento predictivo	29
Tabla 13. Listado de equipos con códigos de activos.....	32
Tabla 14. Factores de ponderación para frecuencia de ocurrencia.....	36
Tabla 15. Placa del carro de carga	40
Tabla 16. Placa del desenrollador centrable	42
Tabla 17. Placa mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina	44
Tabla 18. Placa cizalla circular fija	46
Tabla 19. Placa del Recogedor de virutas.	48
Tabla 20. Placa prensa de frenado.	51
Tabla 21. Placa del Enrollador.	52
Tabla 22. Funciones y fallas funcionales de la línea de corte.....	55
Tabla 23. Códigos y los sistemas de la línea de corte.....	56
Tabla 24. Nomenclatura de los subsistemas.....	56
Tabla 25. Subdivisión desenrollador centrable.....	57
Tabla 26. Modos de falla y su RPN..	58
Tabla 27. Cuadro de AMEF.	59
Tabla 28. Ítems mantenibles escogidos para mantenimiento.	63
Tabla 29. Frecuencia de mantenimiento.	64
Tabla 30. Costos anuales por mantenimiento correctivo	65
Tabla 31. Promedio mensual y costo anual de mantenimiento preventivo	66
Tabla 32. Proyección de costos de mantenimiento con datos históricos.	66
Tabla 33. Costo de actividades propuestas para el carro de carga.	67
Tabla 34. Costos totales y promedio de actividades propuestas por año.	68
Tabla 35. Costos por reuniones y capacitación del personal involucrado.	68
Tabla 36. Costos por contratación de horas extras	69
Tabla 37. Costos totales por capacitación.....	69
Tabla 38. Resumen de costos de mantener la línea de corte	70
Tabla 39. Proyección de costos de reparación para el desenrollador..	71
Tabla 40. Proyección de costos de modos de falla en los próximos dos.....	72
Tabla 41. Costo de modos de falla con propuesta..	72
Tabla 42. Costo de oportunidad perdido por mantenimiento correctivo.	73
Tabla 43. Posibles tiempos de parada de producción para el carro de carga.	75
Tabla 44. Proyección de costos de oportunidad perdida por modos de falla.	75
Tabla 45. Horas de parada por modos de falla.	76
Tabla 46. Numero de ocurrencia de fallas proyectadas en dos años..	77

Tabla 47. Proyección MTBF para los próximos dos años.	78
Tabla 48. Número de ocurrencias de fallas proyectadas con la propuesta.	78
Tabla 49. Proyección MTBF para los próximos dos años con la propuesta.	78

ANEXOS.

Anexo 1. Orden de trabajo generada en JD Edwards.	85
Anexo 2. Frecuencia de mantenimiento.	86
Anexo 3. Costos anuales por mantenimiento correctivo.	86
Anexo 4. Gastos de repuestos y materiales de mantenimiento.	87
Anexo 5. Proyección de costos de modos de falla en los próximos 2 años con enfoque pesimista.....	88
Anexo 6. Elementos propuestos para bodega.	90

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA LÍNEA DE CORTE DE MATERIA PRIMA EN LA EMPRESA TUGALT

1. INTRODUCCIÓN.

Conforme han pasado los años se ha observado que el tema del mantenimiento es de vital importancia para las organizaciones y sus procesos productivos, por lo tanto, las empresas se han visto en la necesidad de implementar nuevas técnicas, metodologías y herramientas, que permitan a las compañías gestionar de manera eficaz el comportamiento de sus equipos, subsistemas y elementos que conforman una línea de producción durante todo su ciclo de vida. [15]

Una de las filosofías de mantenimiento más usadas en el campo de la aeronáutica y más recientemente aplicada a la mecánica para industrias por su versatilidad y confiabilidad es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o MCC, pues es una herramienta que permite analizar en detalle las funciones individuales de los equipos de una línea y los componentes que lo conforman, para proponer planes de mantenimiento en función de los requerimientos de cada sistema. Uno de los beneficios más aprovechados de esta metodología es la posibilidad de realizar un análisis de criticidad de los sistemas de una línea y enfocar los esfuerzos en los componentes que más impacto generan a la funcionalidad de todo el sistema.

El proyecto denominado “Propuesta de una metodología para el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la línea de corte de materia prima en la empresa Tugalt”, muestra los diferentes procedimientos que se deben seguir para realizar las rutinas de mantenimiento e inspección de elementos críticos en el sistema, para garantizar una buena disponibilidad y una producción ininterrumpida.

Para la elaboración de este proyecto se comenzó con el levantamiento de información referente a la metodología de mantenimiento aplicado actualmente en la línea de corte, por tanto, fue imperativo la revisión de manuales del fabricante, estructura organizacional, indicadores, entre otros. Una vez terminado el diagnóstico se analizó los datos encontrados y se efectuó la elaboración de la propuesta con un plan de mantenimiento más optimizado y enfocado a elementos críticos cuya función es indispensable para el normal desenvolvimiento de las funciones de la línea, siguiendo la lógica RCM. Por último, se realizó la valoración técnica y económica de la propuesta para estimar los beneficios de esta metodología.

1.1. Descripción del problema.

1.1.1. Antecedentes.

Los planes de mantenimiento en las empresas del sector secundario están propensas a sufrir carencia de flexibilidad en el entorno operacional actual. El problema se da porque el plan de mantenimiento es aplicado a toda la organización y es común para todos los sistemas involucrados en la producción, sin tener en cuenta la función individual de los elementos que conforman cada máquina en la totalidad del sistema. En consecuencia, el mantenimiento está centrado en disminuir fallas en los equipos a partir de acciones de mantenimiento que tienen como base un histórico y en la actualidad ya no tiene la misma relevancia. [11] TUGALT S.A. Ltda. Es una empresa dedicada a la fabricación de perfiles de acero y tubería soldada, su

materia prima proviene de bobinas fabricadas en láminas de acero, que deben ser cortadas en rollos de menor dimensión denominados flejes. Para su fabricación la empresa utiliza una línea de producción de corte de materia prima de procedencia europea que provee el material necesario para toda la planta.

Por otro lado, en el Ecuador, actualmente se encuentran pocas líneas de producción de corte de flejes, siendo Tugalt la empresa poseedora de la única línea en la planta y en la provincia del Azuay, convirtiendo a esta línea en crítica para la ejecución y gestión de mantenimiento por el déficit de algunos repuestos en el país y la carencia de personal especializado para determinadas configuraciones e instalaciones de ciertos componentes de los activos, especialmente de los equipos que dependen de un sistema electrónico que controle las funciones de los equipos, como es el caso de los variadores de frecuencia (Drivers), que controlan y regulan la actividad de los motores.

Además, la carencia de un plan de identificación de criticidad para los elementos de los equipos que conforman la línea con sus modos y efectos de fallas, provocan un déficit de estos componentes críticos en bodega y puede ocasionar una escasez de repuestos para el equipo de trabajo cuando la línea de producción presente fallas inesperadas en estos elementos, retrasando las acciones de mantenimiento tanto correctivas como preventivas y aumentando de forma significativa el tiempo de reparación de los activos. Entendiendo que esta línea no puede dejar de suministrar materia prima al proceso de producción, una parada no programada causada por la avería de algunos de los componentes antes mencionados podría exigir al personal de mantenimiento realizar actividades poco técnicas, logrando efectuarse instalaciones provisionales que prescindan de repuestos adecuados, que por otro lado pondrían en peligro la función de los equipos.

Los tiempos de adquisición de algunos repuestos oscilan entre los cuatro a doce meses, este intervalo de tiempo puede causar suspensión en la distribución de materia prima para la empresa y como consecuencia retrasos en los pedidos de producto terminado, que al no satisfacer la demanda del mercado es una oportunidad para que la competencia supla la escasez, ocasionando pérdidas económicas importantes. Adicionalmente, las paradas no programadas en la línea han provocado pérdidas de hasta “cinco mil dólares diarios” aproximadamente. (Según datos proporcionados por Tugalt, las pérdidas por parada en la empresa es de 825 dólares la hora, por conceptos de pérdida de producción). [16]

1.1.2. Importancia y alcances.

La línea de corte de materia prima tiene un rol fundamental en la producción de la empresa. Sin embargo, a pesar de ser una línea crítica no se han enfocado esfuerzos para contemplar de mejor manera el modo en que se pueden generar las fallas en los equipos, esto limita la planificación y ejecución de acciones de mantenimiento que mitiguen o amortigüen los efectos de las fallas en todo el sistema de manera efectiva. El alcance del proyecto técnico está especificado claramente como una “propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la línea de producción de corte”, enfocado a los elementos más críticos que lo componen, para generar una lista de acciones de mantenimiento más optimizada y orientado a elementos cuya función es crítica para todo el proceso de producción. El beneficiario directo de este proyecto es la empresa Tugalt perteneciente al grupo industrial

Graiman, pues se pretende prolongar la vida útil de su línea; mantener sus estándares de calidad y condiciones de operación por la mayor cantidad de tiempo posible, preservar las funciones de sus activos, aumentar la confiabilidad y reducir posibles costos generados por consecuencia de las fallas que provoquen paradas no programadas y deriven en la suspensión del suministro de materia prima hacia el proceso de producción de la empresa.

A lo expuesto, para Tugalt el abastecimiento de materia prima debe ser ininterrumpido, pues de ella depende toda la producción, por tal motivo el material es tratado y dimensionado dentro de las instalaciones. Para realizar este proceso, la empresa depende totalmente de su línea de corte puesto que no existe otro sistema en las instalaciones capaz de suplir las funciones antes mencionadas y es esta la razón principal de su criticidad. Además, al ser una línea poco común en el país, muchos de los repuestos deben ser adquiridos con importaciones que tardan en ocasiones varios meses en arribar. En consecuencia, si algún elemento que no está considerado en los planes de mantenimiento preventivo falla inesperadamente, es probable que el elemento deba ser adquirido fuera del país, causando paradas de producción que incurren en costos elevados por cada hora que la línea permanece parada y son estas razones las que obligan a Tugalt realizar un análisis del estado actual de su plan de mantenimiento y establecer nuevas metodologías para alargar la vida de los equipos, mantenerlos en óptimas condiciones y sobre todo evitar que la línea desista de proveer la materia prima necesaria para la producción de perfiles y tuberías soldadas.

1.1.3. Delimitación.

La elaboración de la propuesta de mantenimiento se desarrollará dentro de las instalaciones del departamento de mantenimiento perteneciente a la empresa Tugalt, que proporcionará los recursos e información necesaria para la elaboración del plan de mantenimiento, esto incluye: datos técnicos, históricos, plan de mantenimiento actual de la línea, manuales del fabricante, disponibilidad de técnicos mecánicos y parámetros de funcionamiento de la línea de corte.

1.2. Problema general.

¿Es adecuado la implementación de una metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) para la línea de corte de materia prima en la empresa TUGALT?

1.2.1. Problemas específicos.

- ¿Cuál es la situación actual del plan de mantenimiento para la línea de corte de materia prima en la empresa TUGALT?
- ¿Qué estrategias de mantenimiento basado en la confiabilidad son aplicables para la línea de corte?
- ¿Cómo determinar los beneficios económicos de la implementación de una metodología de mantenimiento (MCC) aplicado para la línea de corte de materia prima en la empresa TUGALT?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Proponer una metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicada en los sistemas y equipos que forman parte de la línea de producción de corte de materia prima.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Conocer la situación actual del plan de mantenimiento en la línea de producción de cortes de flejes en la empresa TUGALT, mediante la recopilación de información bibliográfica y de campo.
- Proponer una metodología adecuada, como estrategia para la jerarquización de componentes críticos y reducción de los efectos de fallas.
- Evaluar los beneficios de la propuesta de una metodología de mantenimiento MCC en la línea de producción de corte de materia prima.

1.3.3. Fases del proyecto.

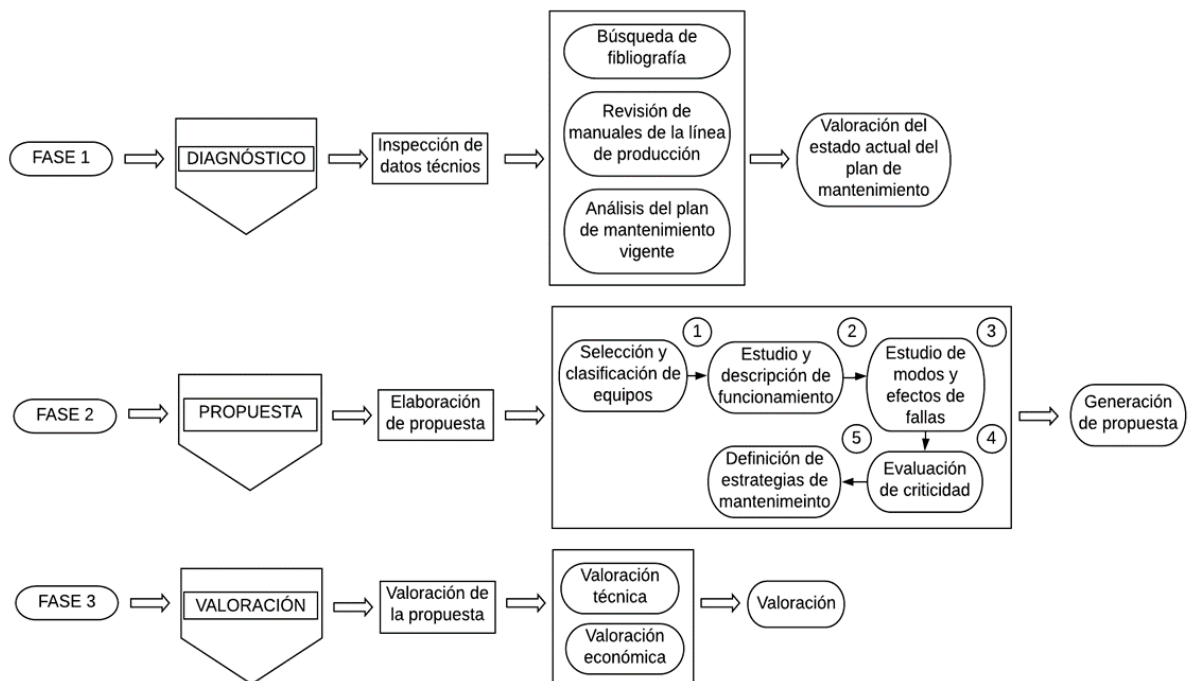


Figura 1. Metodología. [Autores]

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

2.1. Mantenimiento.

La norma AFNOR NF X 60-010 define como mantenimiento a una lista de actividades o acciones que deben ser cumplidas con un orden lógico, para mantener o restaurar un bien a un estado en condiciones específicas para proporcionar un servicio en concreto. Se trata de un concepto más amplio que la simple noción de restauración de componentes dañados, son todas las acciones que tienen como objetivo la preservación de los equipos en un estado operativo que conlleva la combinación de esfuerzos entre personal técnico y administrativo para un normal desarrollo. [17] Gracias al mantenimiento se pueden reducir las pérdidas económicas por conceptos de paradas de producción y costos de reposición de elementos dañados, es posible asegurar la continuidad de los servicios requeridos por los equipos por un tiempo más prolongado y velar por la seguridad del personal implicado en los procesos productivos. [18]

2.1.1. Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento correctivo: El mantenimiento correctivo es un mantenimiento simple e inevitable en cualquier instalación de maquinaria, consiste en la reparación de uno o varios elementos que dejan de realizar la función para la que fueron diseñados. Se dice que es un mantenimiento simple, porque es aplicable a equipamiento que permite la interrupción operativa en cualquier momento, sin importar el tiempo de paralización y sin afectar la seguridad de personal o bienes. [19]

Mantenimiento preventivo: “Acción de mantenimiento que consiste en realizar ciertas reparaciones o cambios de componentes o piezas, según intervalos de tiempo o según determinados criterios, prefijados para reducir la probabilidad de avería o de rendimiento de un sistema, equipo, componente o parte. Este mantenimiento debe considerar siempre una planeación”. [20]

Mantenimiento predictivo: Mantenimiento que se anticipa a la falla por medio de un seguimiento para predecir el comportamiento de una o más variables de un equipo. Se basa en un proceso de mediciones con la máquina funcionando, tratando de minimizar el tiempo del equipo detenido y poder detectar la evolución de una falla para tomar la anticipación necesaria y prolongar la factibilidad del funcionamiento, aún con la existencia de una falla hasta permitir una inspección programada. Para aplicar este mantenimiento es necesario conocer las variables de temperatura, vibración, consumo de energía, entre otros. [21]

2.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

2.2.1. ¿Qué es el MCC?

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, es una metodología desarrollada durante los años 60's y 70's con el objetivo de facilitar a las empresas la identificación de las

políticas de mantenimiento más adecuadas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción y para manejar las consecuencias de sus fallas. [22] La definición formal del MCC, es la propuesta por la norma SAE – JA 1011 de agosto de 1999 la que menciona que:

El MCC es una “filosofía de gestión del mantenimiento, en la que un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones”. [18]

2.2.2. Beneficios del MCC.

Entre los beneficios de la aplicación de la metodología están: [22]

Mayor seguridad y protección del entorno: debido a un mejoramiento de los dispositivos de seguridad existentes, disposición de nuevos mecanismos de seguridad, la revisión sistemática de las consecuencias de cada falla, prevención de falla que puedan afectar a la seguridad, menos fallas por un mantenimiento innecesario.

Mejores rendimientos operativos: ocasionado por un mayor énfasis del mantenimiento de elementos críticos, el más rápido de los modos de falla, menor daño secundario de las fallas de poca importancia, interrupción más corta, paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosa, menos problemas de “desgaste de inicio”, eliminación de componentes poco fiables, conocimiento sistemático acerca de la nueva planta.

Mayor contención de los costos del mantenimiento: debido a un mantenimiento rutinario innecesario, la prevención o eliminación de las fallas, costos, políticas de funcionamiento más claras, menor necesidad de usar personal experto y pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento.

Vida útil de los equipos: prolongada, se debe por el aumento del uso de técnicas de mantenimiento “a condición”.

2.2.3. Las 7 preguntas básicas del MCC.

La norma SAE – JA 1011 de agosto de 1999 formula siete preguntas que se deben garantizar en un programa de MCC: [20]

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional?

4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

Con estas siete preguntas se puede garantizar la confiabilidad en los equipos, también se garantiza el rendimiento y la disminución de los costos por mantenimiento.

2.2.4. Metodología de aplicación del MCC.

En estas fases se propone los tipos de sistemas que se desean implementar en la línea de producción de corte de materia prima, siendo conveniente para alcanzar resultados medibles que motiven al equipo de trabajo y a la propia dirección. Es necesario empezar con determinadas áreas que se consideren relevantes y críticas, cuyas fallas tengan importantes repercusiones económicas para la empresa; de esta manera, de ser alcanzados los beneficios perseguidos por el MCC se verá reflejado en una mejora económica general. Las fases son sencillas como se muestra en la Figura 2, fáciles de comprender y engloban un conjunto de conceptos más amplios que deben ser manejados por el equipo de trabajo. [4]

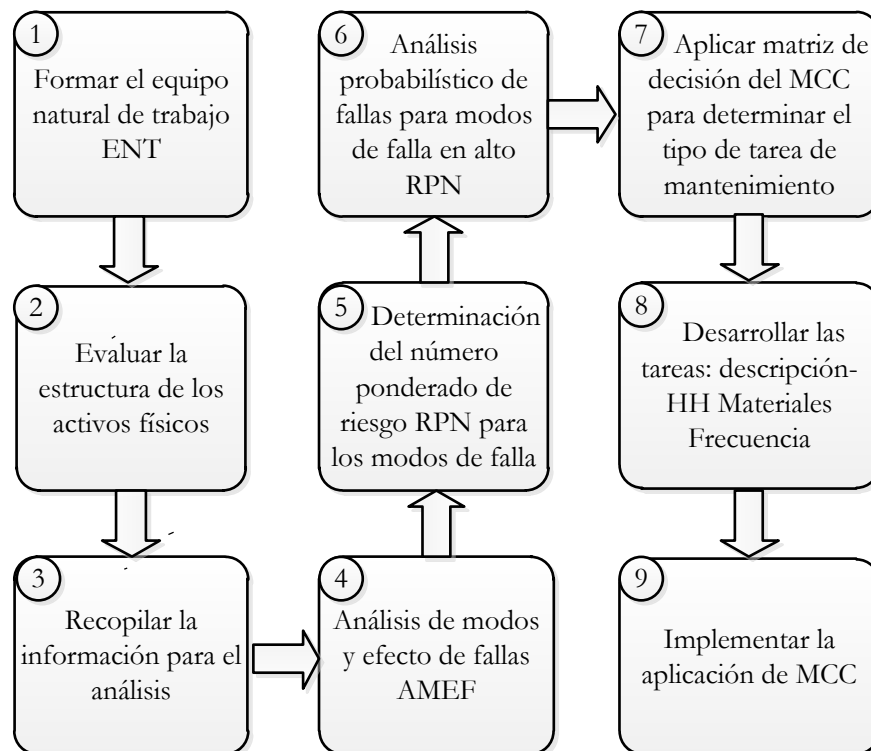


Figura 2. Diagrama de metodología de aplicación del MCC. [23]

2.2.5. Etapas para la implementación del MCC.

La implementación de un plan de mantenimiento se realiza en 4 etapas:

- 1) La primera etapa corresponde al estudio del conjunto de equipos. En esta fase se identifican los sistemas más críticos para considerar en el estudio, con la única condición de tener establecido un mantenimiento preventivo, porque con la nueva propuesta de actividades de mantenimiento la confiabilidad aumentará significativamente. [24]
- 2) La segunda etapa permite un análisis de fallas de los diferentes equipos estudiados, determinando el tipo de mantenimiento que las máquinas elegidas deben tener. Aquí se desglosa una máquina en su totalidad, dependiendo de sus partes, si requiere de un mantenimiento preventivo, o de un predictivo se decide cual será el rigor de mantenimiento que cada máquina tendrá para el aumento de su confiabilidad. [24],[25]
- 3) La tercera etapa define las acciones a realizar. Consiste básicamente en ejecutar de manera ordenada, controlada y sin falta las tareas de mantenimiento que se especifican en la etapa 2 para mejorar la seguridad de funcionamiento de los equipos, esto conduce a una planificación.
- 4) La cuarta etapa la compone una descomposición geográfica de los equipos donde se definirá el espacio físico de la línea de producción además del orden de importancia que estos posean. Una vez descrito geográficamente se descompone de forma funcional cada línea, con el orden de equipos que posee si es posible de acuerdo a una norma. [4]

2.3. Análisis de criticidad.

Establece un método que sirve de instrumento para garantizar la jerarquía de los procesos, sistemas y equipos de plantas complejas, subdividiendo los elementos en secciones, permitiendo ser manejadas de manera controlable y auditable. Usando este análisis se puede establecer los sistemas más críticos y no críticos que sirven para ponderar los modos de falla y la priorización de los planes de mantenimiento. El criterio para la selección de los sistemas puede estar basado en los costos de mantenimiento, su potencial productivo o incidentes relacionados con la seguridad. Las consecuencias de las fallas en las funciones de un equipo deben ser evaluadas de acuerdo al efecto que produce en el sistema donde opera, los aspectos a tomar en cuenta son: [22]

- Pérdida de producción.
- Costos directos.
- Potencial de daños a las personas
- Potencial de daños a una norma de protección del medio ambiente

2.4. Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).

El AMEF es una herramienta muy utilizada en la elaboración de planes de mantenimiento en todo el mundo que permite identificar fallas en procesos productivos, además de clasificar los posibles efectos nocivos en los sistemas y obtener un método oportuno de prevención.

2.4.1. ¿Qué es el AMEF?

Es una técnica que se utiliza para realizar un análisis sistemático, documentado, y cualitativo de la fiabilidad de un sistema y sus subsistemas. Con este análisis se puede identificar las acciones para eliminar o minimizar las ocurrencias de falla que se presenten, optimizar los costos, incrementar la confiabilidad de los productos y documentar el proceso [26]. Es importante aclarar las limitaciones que tiene el análisis como los componentes que son excluidos. [27] En el AMEF se analizan los posibles modos de falla, es decir, ¿qué pasaría si llegara a ocurrir?, las posibles causas que originan su aparición y los efectos que puede perturbar el rendimiento del sistema. [28]

Para el análisis AMEF se debe contar con un equipo multidisciplinario compuesto por personal calificado para reconocer y evaluar la magnitud de las consecuencias de los diversos modos de falla potenciales. [26] Además, es necesario regirse a los siguientes puntos:

- 1) Conocer el sistema, su objetivo y su correcto funcionamiento.
- 2) Dividir los elementos físicos en subsistemas, equipos y componentes codificados.
- 3) Identificar las condiciones operativas y medioambientales que pueden afectar al sistema y a los componentes.
- 4) Obtener el diagrama de bloques funcional.
- 5) Determinar los modos de falla de cada componente y los efectos de los modos de falla sobre los equipos, subsistemas y el sistema completo.
- 6) Catalogar el orden de severidad de cada falla.
- 7) Estimar la probabilidad de que se produzca ese modo de falla.
- 8) Determinar el grado de criticidad del modo de falla, en función de la severidad y probabilidad del modo de falla.
- 9) Desarrollar medidas correctoras mediante rediseños y acciones de mantenimiento preventivo para minimizar las pérdidas.
- 10) Elaboración del informe. [27]

El AMEF es muy similar al principio utilizado en el MCC, pero tiene dos consideraciones que lo distinguen: [29]

- Considera las averías que pueden producirse en los componentes de un sistema, no toma en cuenta la combinación de fallas cuya aparición simultánea puede pasar de ser una avería leve a catastrófica que suspenda funciones del sistema.
- Considera los modos de falla que puedan impedir el funcionamiento de dicha función, pero no de aquellos que degradan el sistema.

2.4.2. Proceso de análisis para la realización de un AMEF.

De qué manera puede fallar (Fallas funcionales): Las personas y las empresas realizan la adquisición de activos físicos, para que ejecuten una función específica para la que fueron fabricados, una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento estén definidos, se analiza cómo puede fallar cada elemento al momento de realizar su función, esto lleva al concepto de falla funcional que según la norma SAE JA 1012 define como el estado en que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado. [20],[30],[31]

La única circunstancia que impida que un activo no pueda desempeñarse conforme los parámetros requeridos por el usuario es alguna clase de falla, esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar un abordaje apropiado en el manejo de la falla, sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de una falla se necesita identificar que fallas pueden ocurrir. [32]

- Identificar las circunstancias que llevan a la falla.
- Qué eventos causan que el activo falle.

Qué causa la falla (Modo de fallas): El MCC define el modo de falla como la causa de cada falla funcional; es decir, el modo de falla es el que provoca la pérdida de función total o parcial de un sistema, en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla). Por ejemplo: suciedad, corrosión, erosión, lubricación inadecuada, ensamble incorrecto, operación incorrecta y materiales incorrectos. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la “causa raíz” de la falla. [20], [33]

Identificar sus impactos o efectos (efectos de las fallas): Son definidos como los efectos de los modos de fallas como los percibe el cliente. Los efectos o impactos de las fallas son descritos en términos de lo que el cliente podría notar o experimentar. El cliente puede ser interno, así como el usuario final. [15]

Una vez determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de fallas, se hace la pregunta ¿Cuán importante es cada falla? Esta pregunta ayuda a averiguar si se previene cada falla según su consecuencia. Si la respuesta es afirmativa, se establece con qué intensidad se debe tratar de encontrar las fallas y el nivel de mantenimiento necesario de acuerdo a los efectos nocivos que produce. [34], [30] La filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad agrupa las consecuencias de las fallas en cuatro categorías:

1. **Consecuencia de las fallas ocultas:** Una función oculta es aquella en la cual su falla no es evidente o detectable para los operadores en condiciones normales, la consecuencia es que tenga un riesgo mayor o que ocurra una falla múltiple. Para reducir las consecuencias de la falla, los equipos cuentan con dispositivos de protección como detectores de humo, fusibles de temperatura y presión, tales dispositivos pueden estar fallando durante mucho tiempo sin que nadie se haya fijado. [30]
2. **Fallas no evidentes:** Estas fallas no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias. Un punto fuerte del MCC es la forma en que trata estas fallas, otorgándoles una prioridad muy alta y adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento. [20]
3. **Consecuencias Operacionales.** Tiene consecuencias si afecta la producción, que cuestan dinero, sugiriendo cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas. [20]
4. **Clasificación de las fallas.** Es importante estudiar las consecuencias de las fallas que fueron determinadas, según la consecuencia se decide si esta debe ser evitada o buscar una estrategia para apaciguar los efectos que lo producen, por lo tanto, existen dos categorías posibles, las fallas a evitar y las fallas a amortiguar. [21] Evitar una falla genera un costo mayoritario, en general se deduce que las fallas funcionales en equipos donde el mantenimiento es de alta disponibilidad, deben ser evitados, en cambio, no es necesario si las fallas en los equipos son técnicos, tan solo tratar de amortiguar sus efectos. [34]

2.4.3. Criterios para la clasificación de los modos de falla.

Cuando se ha definido los modos de falla junto con sus efectos y causas probables, es momento de calificar las definiciones de cada modo con un valor numérico, de acuerdo a un criterio establecido por el tipo de AMEF que se está realizando, algunos ejemplos de lo descrito se pueden observar en la Tabla 1, donde se puede encontrar criterios como: [26]

Clasificación de la severidad: La severidad se clasifica según la importancia de los efectos potenciales de la falla, es decir, indica que tan severo es que se dañe un elemento. Esta será catalogada de manera cualitativa y comprobada.

Clasificación de la ocurrencia: Se clasifica según la causa de la falla y será catalogada de manera cualitativa de acuerdo a criterios establecidos según el tipo de AMEF que se utilice. Los enfoques de los distintos AMEF pueden ser de producción o calidad y se escogen según los requerimientos y objetivos que quiere lograr la empresa con el plan de mantenimiento.

Clasificación de la detección: La detección corresponde a un número ponderado en base a una escala, que representa la posibilidad de descubrir el modo de falla, es decir, ¿qué tan fácil es detectar la falla cuando ocurre?

Tabla 1. Criterios de evaluación para RPN. [35]

Escala de valuación de fallas			
Puntuación	Severidad	Ocurrencia	Detección
10	Peligro sin advertencia	Muy alta: Falla casi inevitable	No se puede detectar
9	Peligro con advertencia		Posibilidad muy remota de detección
8	Pérdida de función primaria	Alta: Continuamente falla	Posibilidad remota de detección
7	Rendimiento reducido de función primaria		Posibilidad muy baja de detección

2.4.4. Número ponderado de riesgo (NPR).

El NPR es un valor que establece una jerarquización de los problemas mediante la multiplicación de los valores de Gravedad, Frecuencia y Detección. El resultado de la multiplicación indica con qué prioridad se debe atacar cada modo de falla localizado, identificando ítems críticos, según los resultados de la fórmula en menor o mayor medida el analista debe reforzar los métodos de mantenimiento. [30] Se debe dar prioridad a los problemas con el NPR más alto, también a los que tengan un alto índice de ocurrencia sin importar si el NPR es alto o bajo.

$$NPR = Frecuencia * Gravedad * Detección \quad (1)$$

Los valores de NPR pueden variar desde 1 (valor mínimo) hasta 1000 (valor máximo). Pueden clasificarse de acuerdo a la escala de evaluación indicada en la Tabla 2. [36]

Tabla 2. Prioridad NPR. [32]

Escala de evaluación		Criterio para la prioridad	
500-1000	Alto riesgo de falla	Poco Importante	NPR < 200
125-499	Riesgo de falla medio	Normal	200 a 700
1-124	Riesgo de falla bajo	Crítico	700 a 1000

2.4.5. Presentación de los resultados del análisis del AMEF.

Según la norma EN 60812 los resultados del análisis pueden ser presentados en una hoja de trabajo que contenga la información del sistema de manera clara y específica como se presenta en la tabla 3, además muestra, el modo potencial de falla, los efectos sobre el sistema y las posibles causas que lo producen. [37]

Tabla 3. Formato para presentación de resultados de análisis AMEF. [38]

Etapas del proceso	Falla potencial	Modo potencial de falla	Efectos potenciales de la falla	Causas del fallo	Elemento	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR	Acción recomendada de mantenimiento

2.4.6. Algoritmo de decisión MCC.

En el algoritmo de decisión MCC las acciones recomendadas tienen como objetivo principal eliminar o disminuir el riesgo de las causas de falla, teniendo en cuenta si existen controles preventivos o de detección. Al identificar la falla potencial junto a sus posibles efectos sobre el sistema, entra en las distintas fases del algoritmo conformado por diferentes preguntas secuenciales relacionadas entre sí. La primera fase identifica la facilidad con la que se puede identificar la falla una vez que ocurra, en la segunda fase el algoritmo analiza si existe un riesgo para la vida de las personas para luego considerar las regulaciones ambientales. A continuación, se toma en cuenta si las fallas afectan la capacidad operacional, para establecer si vale la pena realizar mantenimientos en condición, restauración, desincorporación o rediseño. Todas las tareas de mantenimiento dependen de las respuestas de cada apéndice propuesto por el algoritmo presentado en la Figura 3. [26]

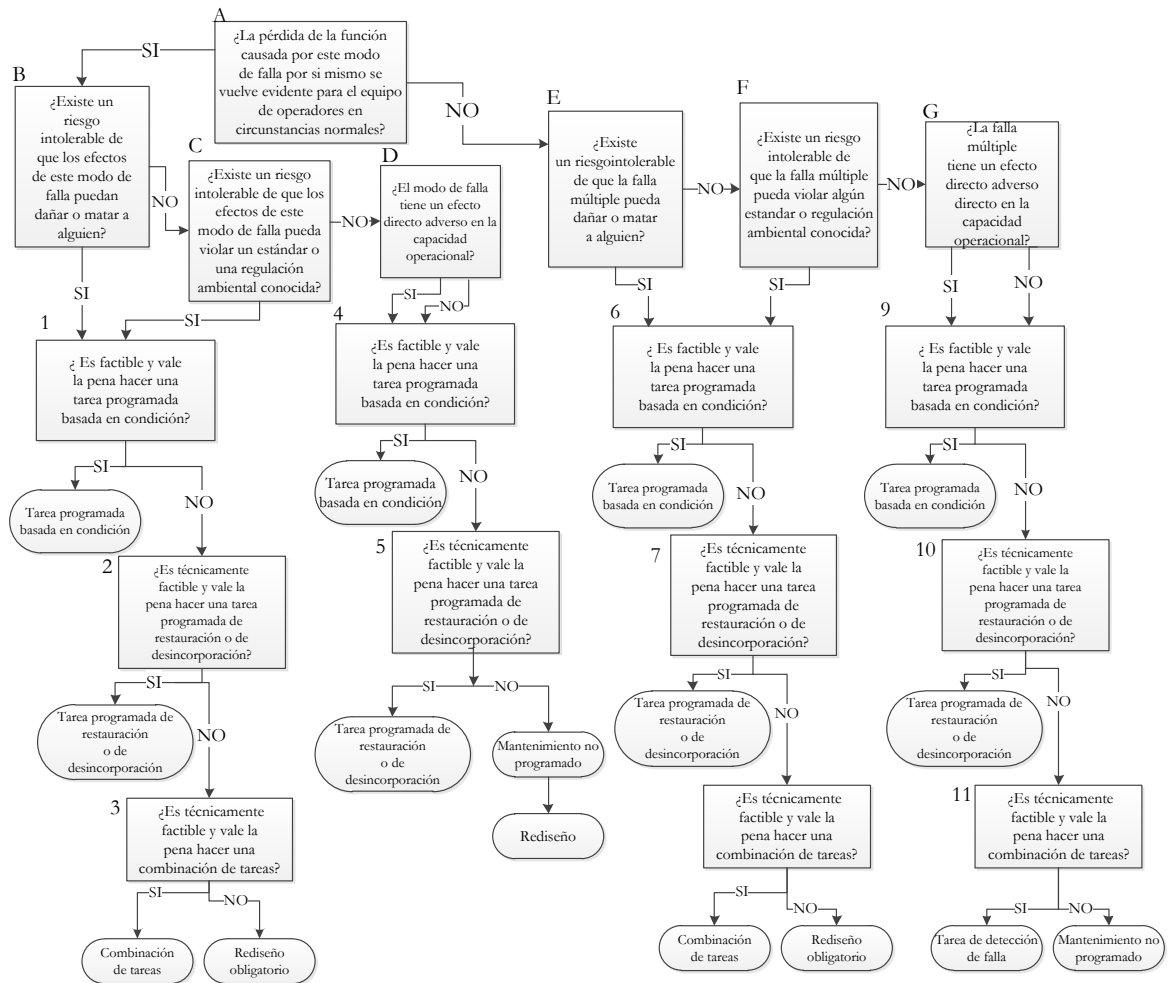


Figura 3. Algoritmo de decisiones para el MCC. [31]

2.5. Confiabilidad.

El término confiabilidad generalmente es usado para describir las diferentes disciplinas de la mantenibilidad de un sistema, disponibilidad y seguridad operacional. Todas estas descripciones tienen como objetivo el estudio de la probabilidad que tienen los componentes que conforman los equipos para funcionar bajo condiciones específicas a través de un tiempo determinado sin la presencia de fallas. [39]

En un sistema de confiabilidad operacional, intervienen cuatro parámetros que afectan directamente las funciones de los equipos, desde el factor humano como los operadores y el personal de mantenimiento hasta los fabricantes de los componentes que pueden presentar errores de diseño o elección errónea de materiales críticos para el normal funcionamiento de un equipo. (Figura 4)

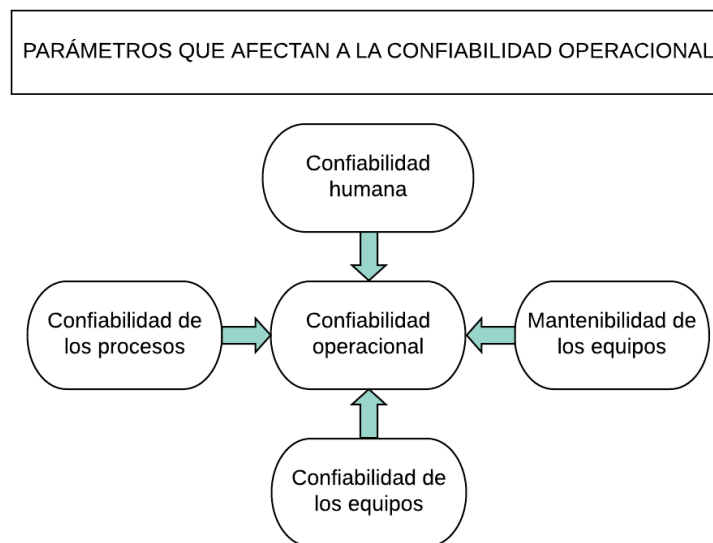


Figura 4. Parámetros que afectan a la confiabilidad operacional. [40]

Existe confiabilidad cuando los componentes de un equipo están en perfecto funcionamiento, es decir, si el modelo del equipo es más nuevo, la confiabilidad es más elevada y está relacionada con las acciones preventivas y correctivas de mantenimiento. Cuando existe la confiabilidad de un equipo que esté en mantenimiento se lo conoce como mantenimiento centrado en la confiabilidad MCC. Se sabe que una máquina es la agrupación de varias piezas las cuales tienen un valor de confiabilidad, entonces para obtener la confiabilidad total de la máquina se realiza la sumatoria de cada una de las piezas que la conforman, por lo tanto si el equipo está en buenas condiciones su confiabilidad es alta, o por el contrario es baja. [12]

2.5.1. Fórmulas para determinar la confiabilidad.

La confiabilidad de una máquina se determina mediante la toma de datos actuales, datos históricos y el resultado de la fórmula indica la probabilidad con la que una máquina puede fallar durante un periodo de tiempo. Los fabricantes de las máquinas suelen especificar

el dato de la tasa de fallas (FR), que indica el porcentaje de fallas, sobre el número total de los productos examinados (FR%) o el número total de fallas durante un periodo de tiempo FR(N). [41]

$$Fr \% = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Número de unidades probadas}} * 100\% \quad (2)$$

$$Fr (N) = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Número horas en funcionamiento}} \quad (3)$$

El tiempo medio entre fallas (MTBF) vendría a ser la inversa del FR(N). El MTBF indica el tiempo total que una máquina podría trabajar en el intervalo de tiempo que se requiere sin tener fallas. Dependiendo de este valor se aumenta o se conserva la confiabilidad, es aquí donde entran los mantenimientos preventivos y las mejoras que se le pueden hacer al sistema para el aumento de la confiabilidad. [41]

$$MTBF = \frac{1}{Fr(N)} \quad (4)$$

2.6. Taxonomía.

La norma ISO 14224: 2016 define a la taxonomía como “una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems”. [1] La taxonomía es una clasificación que recolecta los datos más relevantes y los coloca en una jerarquía como se muestra en la Figura 5. Las definiciones de los niveles de taxonomía se presentan en la Tabla 4.

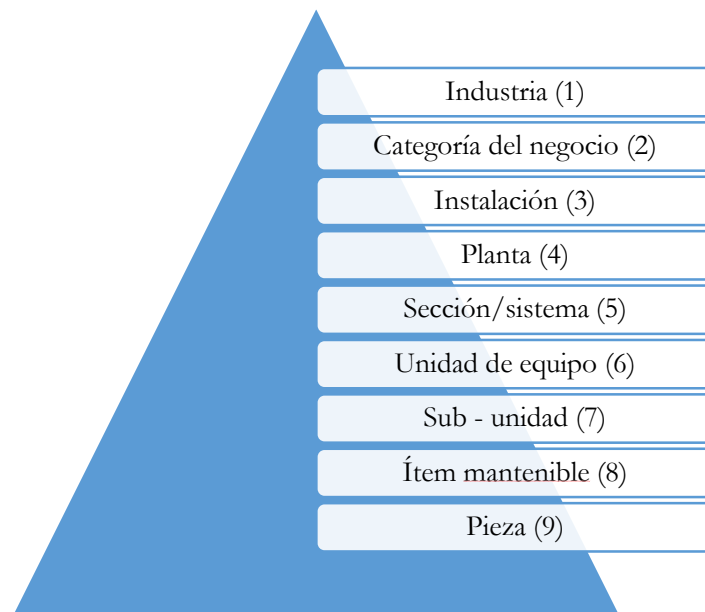


Figura 5. Taxonomía. [1]

Tabla 4. Definiciones de niveles de taxonomía. [1]

Categoría principal	Nivel de taxonomía	Jerarquía de Taxonomía	Definición
Datos de uso/ ubicación	1	Industria	Tipo de industria principal
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o flujo de procesos
	3	Instalación	Tipo de instalación
	4	Planta	Tipo de planta/unidad
	5	Sección/Sistema	Sección/sistema principal de la planta
Subdivisión de equipos	6	Unidad de equipo	Clase de equipos principales
	7	Sub-unidad	Un subsistema necesario para la función del equipo
	8	Ítem mantenible	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantiene, reparan.
	9	Pieza	Una parte individual del equipo

2.7. Codificación y división de sistemas.

La codificación de las máquinas y equipos se realiza con la finalidad de facilitar al personal de la empresa su identificación, ubicación y una memorización más fácil, permitiendo tener un control y conocimiento sobre información técnica, centros de costo, características generales, entre otras, de cada una de las máquinas, equipos y componentes emplazados en la empresa. [42] Los equipos se deben clasificar con base en un sistema racional que permitan procedimientos de mantenimiento y control de vida de las existencias, un ejemplo de esto se puede observar en la Figura 6. Es importante codificar los equipos para un mejor control al momento de llevar un inventario de elementos y recopilar información técnica de los equipos para implementar el uso de las órdenes de trabajo direccionadas a cada máquina. [43]

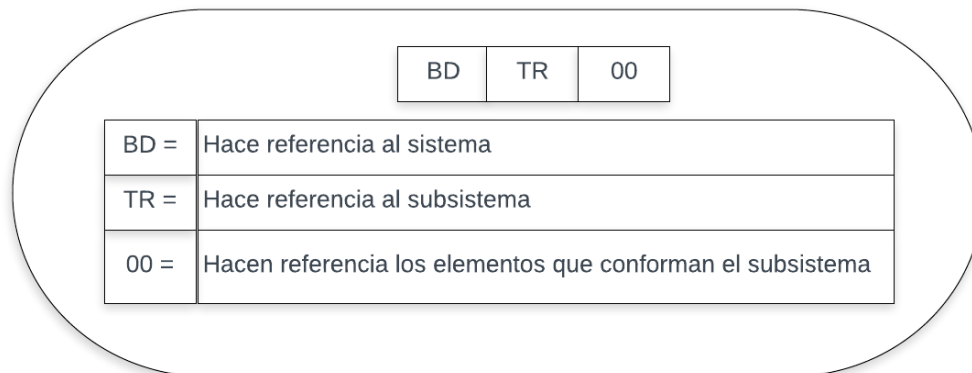


Figura 6. Sistema de codificación. [42]

2.8. Indicadores de gestión de mantenimiento.

Actualmente las empresas utilizan indicadores de mantenimiento confiables para medir el desempeño de sus procesos, que son calculados en periodos determinados de tiempo y comparados con los periodos anteriores, de esta manera la administración de la empresa puede saber el estado actual en la que se encuentra la misma. [44] Para que un indicador de gestión sea útil y efectivo, tiene que cumplir con una serie de características, entre las que destacan. [45]

- Relevante (que tenga que ver con los objetivos estratégicos de la organización)
- Claramente definido (que asegure su correcta recopilación y justa comparación)
- Fácil de comprender y Usar
- Comparable (hace posible comparar sus valores entre organizaciones, y en la misma organización a lo largo del tiempo)
- Verificable y costo-efectivo (no incurre en costos excesivos para obtenerlo)
- Ser medibles, es decir se puede conocer el grado de consecución de un objetivo.
- Ser alcanzables, para que se puedan lograr con flexibilidad.
- Ser desafiantes y comprometedores. Involucrar al personal y poder desarrollarse en planes de actuación.

3. DIAGNÓSTICO.

Se definirá el área de mantenimiento en base a datos técnicos, manuales y planes de mantenimiento aplicados actualmente en la empresa, estos datos servirán para describir la situación real en la que se encuentra inmersa Tugalt, enfocado al manejo y gestión de su línea de producción de corte de materia prima, que permitirá proponer una metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad. En esta fase se presenta datos sobre la empresa beneficiaria como: breve reseña histórica, ubicación geográfica, identificación de valores compartidos y objetivos que persigue como empresa.

3.1. Generalidades de la empresa.

Tubería galvanizada Ecuatoriana S.A. (Tugalt), forma parte del grupo industrial Graiman, está ubicada en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay, Ecuador. Fue fundada por Don Alfredo Peña Calderón en el año de 1963, en sus inicios era una empresa familiar, pero en la actualidad se posesiona como una de las empresas más grandes del país referente al procesamiento del acero. En la Figura 7, se observa la ubicación satelital de la empresa. [46] Tugalt S.A. cuenta con más de 50 años de experiencia fabricando productos de acero de alta calidad que son ofrecidos al mercado ecuatoriano en las siguientes líneas. MAXITECHO, MAXITUBO, MAXIPERFIL, MAXIZINC y MAXILOSA, apoyando al desarrollo del sector de la construcción. La empresa utiliza conceptos para facilitar un

mejoramiento continuo de los procesos para elevar la productividad. Además, trabaja conjuntamente con el INEN para estar acorde a las normas nacionales ecuatorianas. La empresa mantiene una estrecha relación con FEDIMETAL que aglomera a las empresas acereras con el fin de tener claro las especificaciones técnicas de los nuevos productos que pudieran salir al mercado. [47]

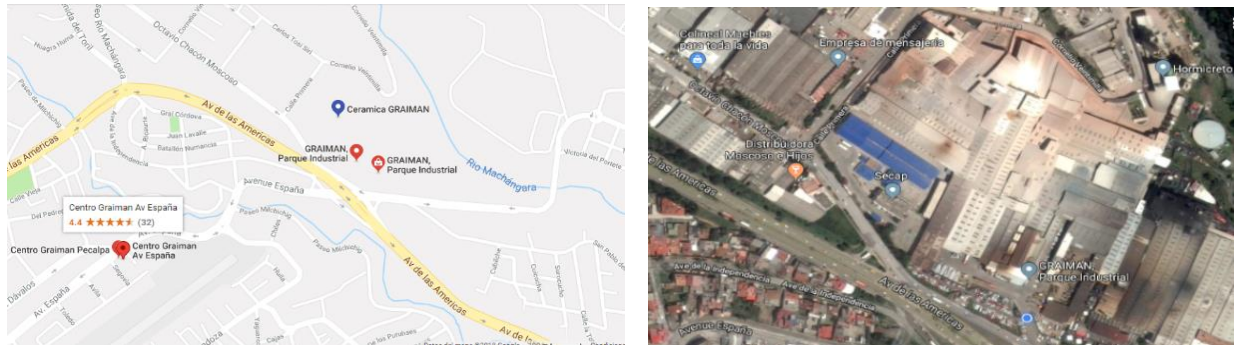


Figura 7. Ubicación de Tugalt. [46]

3.1.1. Valores compartidos.

Misión: Desarrollar, fabricar con tecnología de punta y promover continuamente el uso de productos de acero cumpliendo con normas de calidad y valor agregado. Nos comprometemos con nuestros distribuidores, constructores y clientes finales a: [47]

- Mantener relaciones de confianza mutuamente beneficiosas.
- Promover a través de nuestros distribuidores, el desarrollo y evolución de nuevos canales de distribución, aprobando y proveyendo de productos y servicios que satisfagan las necesidades del cliente final.

Visión: Ser los fabricantes de la marca de acero más respetado y exitoso en el sector de la construcción, llegando al cliente final a través de distribuidores, constructores y centros Tugalt, quienes buscan permanentemente entender y satisfacer las necesidades del mercado.

3.1.2. Objetivos de la empresa.

Objetivos generales.

- Incrementar las ventas netas en un 2% en comparación al año anterior en el país.
- Mejorar la comunicación de los distribuidores con la empresa en el 2018.
- Mejorar el canal de distribución con el fin de optimizar el tiempo de entrega hasta un 25%.

Objetivos específicos.

- Identificar los puntos de venta donde exista alto tráfico de personas no atendidas con nuestros productos.
- Comunicar a los distribuidores el valor agregado del producto.
- Colocar una fuerza de ventas especializada en cada producto y empezar una amistad con los distribuidores.

3.2. Proceso de fabricación.

Antes de iniciar con el análisis del sistema de mantenimiento actual en la empresa, es necesario conocer el proceso de fabricación en la planta, para ello se describe el proceso de transformación de la materia prima en productos terminados y se presenta un diagrama de operación de la línea de corte de flejes.

3.2.1. Descripción del proceso de transformación de materia prima en productos.

Una vez que arriba la materia prima a la empresa, es almacenada y posteriormente transformada en productos de acero como:

- Tubos para mecánica
- Estructuras de muebles
- Transporte de fluidos
- Cableado eléctrico
- Perfiles para construcción
- Paneles y techos

La línea de producción de corte procesa todo el material destinado a la fabricación de tubería y perfilera, subministrando de material a la perfiladora y las formadoras, los productos fabricados son empaquetados al final de cada línea para ser almacenados en bodega y posteriormente distribuidos al mercado nacional. Tugalt utiliza para su proceso productivo cuatro tipos de acero que se indican a continuación:

- Acero laminado en caliente
- Acero laminado en frío
- Acero galvanizado
- Magnelis

En la Figura 8 se indica el flujo del producto a través de los distintos procesos productivos en la planta.

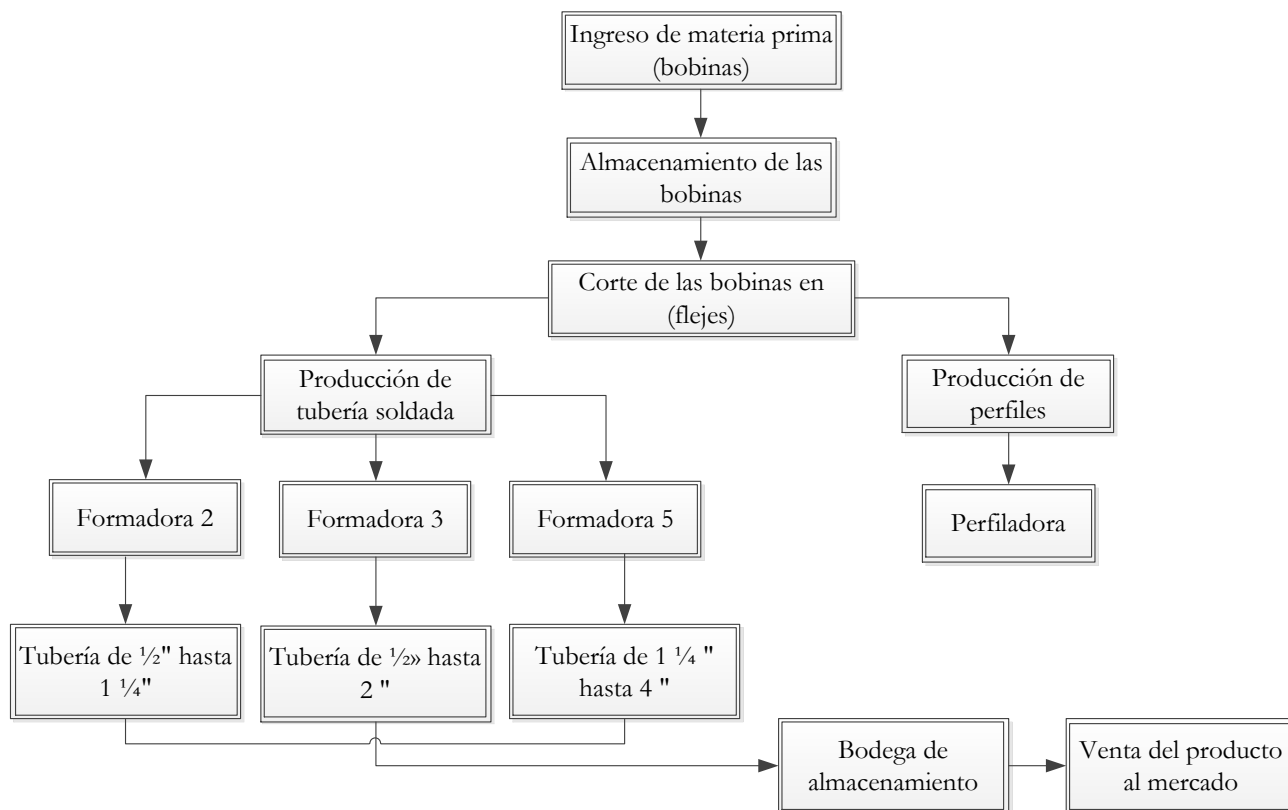


Figura 8. Transformación de materia prima en productos. [48]

3.2.2. Producción de flejes enrollados.

Los flejes son láminas de acero enrollados, cortado en bobinas de menor dimensión, los flejes obtenidos sirven de materia prima para la fabricación de los tubos y perfiles en las formadoras y perfiladora. [49] El proceso comienza almacenando las bobinas en el muelle de carga, con la ayuda del puente grúa. Una vez almacenada las bobinas, un carro de carga las levanta una a una para introducirlas en el mandrino del desenrollador, que va desenvolviendo la bobina para hacerla ingresar en la mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina. Cuando la banda sale del proceso de tiro y cizalladura de la punta en la mesa de entrada, ingresa a una cizalla circular fija donde se procede al corte de la banda en diferentes anchos de fleje, este proceso genera virutas que son enrolladas y compactadas en un recogedor, facilitando su manipulación. La banda cortada entra en una prensa que tensiona los flejes con una vejiga neumática y direccionan los extremos al tambor de un desenrollador con la ayuda de dos rodillos deflectores, los operadores enclavan las puntas de fleje al tambor e inicia el proceso de enrollado. Finalmente, cuando el proceso de bobinado termina se procede a soldar los extremos de las puntas de cada rollo y se cargan en un brazo de descarga para luego ser distribuidos a las diferentes formadoras. El proceso descrito se puede apreciar en el diagrama de operación presentado en la Figura 9.

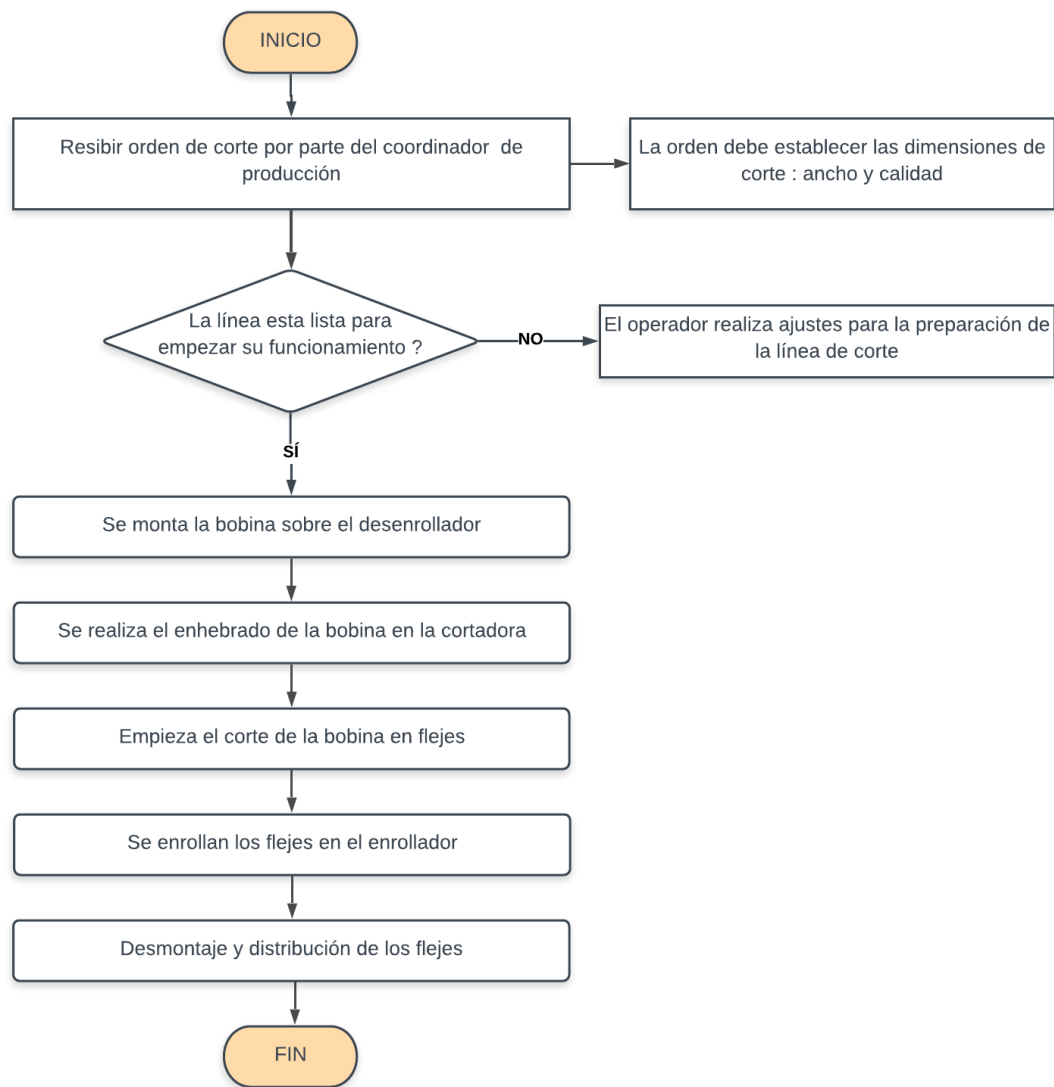


Figura 9. Diagrama de la operación de corte de materia prima. [Autores]

3.3. Análisis del sistema de mantenimiento actual de la empresa.

3.3.1. Estructura del departamento de mantenimiento.

El mantenimiento en la Empresa Tugalt S.A. Ltda; Se lo realiza por secciones de planta, la misma que está conformada por: cortadoras, formadoras, perfiladoras, planeado, galvanizado de tubos, roscado, rebabado, puentes grúa y servicios industriales. El presente proyecto investigativo está enfocado específicamente a la línea de producción de corte de

flejes. El equipo de trabajo encargado de la gestión de mantenimiento de toda la planta se puede observar en el organigrama de tipo vertical descrito a continuación en la Figura 10.

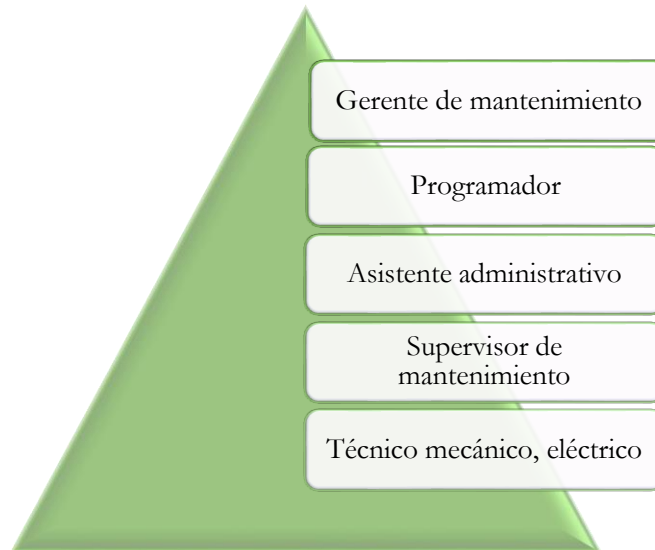


Figura 10. Organigrama del equipo de trabajo para mantenimiento. [48]

Para un mejor entendimiento, las funciones de los miembros que conforman el equipo de trabajo se definen en la Tabla 5.

Tabla 5. Definiciones de funciones de miembros del equipo de trabajo. [48]

Miembro	Definición
Jefe de mantenimiento	Persona encargada de dirigir el proceso de mantenimiento.
Programador	Persona encargada de gestionar los recursos de tiempo, herramientas e insumos necesarios para las actividades de mantenimiento.
Asistente administrativo	Persona encargada de realizar compras nacionales para el departamento de mantenimiento, también controla el cumplimiento de los horarios y turnos del personal.
Supervisor de mantenimiento	Persona encargada de canalizar los recursos humanos necesarios para las actividades de mantenimiento.
Técnico Mecánico	Persona encargada de realizar actividades de mantenimiento relacionado a temas mecánicos.
Técnico Eléctrico	Persona encargada de realizar actividades de mantenimiento relacionado a temas eléctricos

3.3.2. Filosofía de mantenimiento vigente.

La empresa aplica como filosofía el “Mantenimiento basado en Condición”, este tipo de filosofía tiene el objetivo de “determinar el estado de los componentes y elementos de los

equipos mediante monitoreo, cuyos resultados conducen a toma de acciones de mantenimiento apropiadas en los equipos”. [50] Este concepto está directamente relacionado al mantenimiento predictivo, la base de esta filosofía aplicada a la empresa Tugalt se puede apreciar en la Figura 11.



Figura 11. Bases del mantenimiento aplicado en la empresa Tugalt. [48]

3.3.3. Carpetas por técnico.

Cada uno de los mecánicos cuenta con una carpeta física con las diferentes órdenes de trabajo conforme a la zona de trabajo y equipos que se les asignó individualmente, estas órdenes son entregadas semanalmente siguiendo una planificación por parte del programador de mantenimiento. Las carpetas con las órdenes de trabajo son cargadas por cada mecánico al sistema JD Edwards durante el recorrido del año.

3.3.4. Mantenimiento correctivo actual.

El personal de mantenimiento trabaja en turnos rotativos; en cada turno el equipo de trabajo se organiza para atender de manera oportuna y eficiente las acciones correctivas en los equipos que conforman la línea, cuentan con seis técnicos mecánicos y cinco técnicos eléctricos. El procedimiento definido para realizar las acciones correctivas se presenta en la Tabla 6. Las órdenes de trabajo para realizar el mantenimiento, son emitidas por el programador de mantenimiento con la ayuda del sistema JD Edwards, se pueden apreciar de mejor manera en el Anexo 1.

Tabla 6. Plan de acción para mantenimiento correctivo. [48]

N	Actividad	Responsable
1	Reportar la falla de la(s) máquina(s) vía radio o a través del formato de solicitud de servicios al personal del mantenimiento, agregando los detalles de la falla en el formato de solicitud de servicios (VF-09-301).	Supervisor de producción.
2	Colocar letrero de máquina en mantenimiento.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
3	Llenar lista de chequeo para trabajos en altura, espacio confinado, riesgo eléctrico o trabajo en caliente, en caso de ser necesario.	Supervisor de mantenimiento, Técnico mecánico y/o eléctrico.
4	Evaluar la falla y direccionar a los técnicos mecánicos o eléctricos que se requiera para el mantenimiento correctivo.	Supervisor de mantenimiento, Técnico mecánico y/o eléctrico.
5	Diagnosticar, preparar herramientas para inspeccionar el mantenimiento correctivo.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
6	En caso de requerir repuestos en bodega generar la orden de mantenimiento en JD Edwards y cargar el material necesario.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
7	Evaluar las condiciones de seguridad la precisión y la complejidad del elemento a reponer en caso de requerirse la reparación o fabricación de un elemento en taller, subcontratar la misma, mediante su orden respectiva.	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento, Supervisor de mantenimiento.
8	Atender, reparar y dejar en condiciones operativas las maquinarias, llenar solicitud de trabajo con las actividades realizadas, previamente revisadas las seguridades de la operación del activo.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
9	Una vez culminado la intervención informar al supervisor de producción la disponibilidad del activo para la operación.	Supervisor de mantenimiento o Técnico mecánico y/o eléctrico.
10	Firmar el formato de solicitud de servicios como constancia de recepción del mantenimiento correctivo realizado.	Supervisor de producción.
11	Continuar la reparación si la máquina no ha sido reparada satisfactoriamente y al terminar repetir el paso 9-10.	Supervisor de mantenimiento o Técnico mecánico y/o eléctrico.
12	En caso que no se tenga generada orden de trabajo en el punto 6, formalizar la solicitud de mantenimiento correctivo (orden de trabajo JD Edwards), con los datos de reparación.	Programador de mantenimiento y técnico encargado.
13	Aprobar la reparación en el sistema JD Edwards, una vez que el equipo se encuentre operativo.	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento, Asistente administrativo.
14	Una vez aprobado el trabajo cerrar en el sistema la orden generada en un lapso máximo de 30 días desde el cierre de la OT.	Jefe de mantenimiento, Programador de mantenimiento, Asistente administrativo.

3.3.5. Detalles de averías en los equipos.

Una vez realizadas las órdenes de trabajo y cargadas al sistema JD Edwards, se obtiene un historial de averías relacionadas al mantenimiento correctivo, estableciendo el número total de averías para los tres últimos años de la línea de corte. Lo antes descrito se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Averías por mes de la línea de corte de materia prima 2017-2019. [48]

Averías por mes en la línea de corte de materia prima			
Año 2017			
Mes	Número de averías	Activo	Total averías por año
Febrero	1	Enrollador	5
Junio	1	Enrollador	
Agosto	1	Desenrollador	
Noviembre	2	Mesa de transporte	
		Cortadora Cizalla circular	
Año 2018			
Mes	Número de averías	Activo	Total averías por año
Enero	2	Cortadora Cizalla circular	10
		Cortadora Cizalla circular	
Febrero	2	Brazo de descarga	
		Cortadora Cizalla circular	
Mayo	4	Cortadora Cizalla circular	
		Cortadora Cizalla circular	
		Guillotina cortadora	
		Guillotina cortadora	
Junio	1	Guillotina cortadora	
Octubre	1	Enrollador	
Año 2019			
Mes	Número de averías	Activo	Total averías por año
Febrero	2	Guillotina cortadora	2
		Guillotina cortadora	

Las averías del año 2019 fueron consideradas solo los dos primeros meses, es decir hasta febrero del mismo año.

3.3.6. Tiempos de parada no programada.

Los tiempos de parada no programada por mantenimiento correctivo se utiliza para la generación de algunos indicadores de mantenimiento, mediante datos estadísticos generados en JD Edwards. Los datos más relevantes para la elaboración de este proyecto se determinan desde

enero del 2017 hasta febrero del 2019, los tiempos de parada son presentados a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Tiempos de parada en la línea de corte por mantenimiento correctivo 2017- 2018. [48]

Tiempos de parada de la línea de corte, mantenimiento correctivo 2017				
Fecha	Subsistema	Equipo	Descripción tipo de orden	Horas estimadas de parada
Febrero	Enrolladora	11075	Daño eléctrico en el corte d f	1
Junio	Enrolladora	11075	Daño en la línea de corte	2
Agosto	Desenrollador	11077	Daño eléctrico en el corte d f	1
Noviembre	Mesa de transporte de lámina	11079	Impresora no funciona	0
	Cortadora cizalla circular	11080	Máquina se apaga	1,66
Diciembre	Cortadora cizalla circular	11080	Máquina se apaga	2
Total horas				7.66
Tiempos de parada de la línea de corte, mantenimiento correctivo 2018				
Fecha	Subsistema	Equipo	Descripción tipo de orden	Horas estimadas de parada
Enero	Cortadora cizalla circular	11080	Daño en Sistema Eléctrico	3
	Cortadora cizalla circular	11080	Manguera dañada	2,66
Febrero	Brazo de descarga	11073	286 Brazo trabado	1
	Cortadora cizalla circular	11080	Manguera dañada	1
Mayo	Cortadora cizalla circular	11080	912 Máquina se apaga	3,42
	Cortadora cizalla circular	11080	911 Máquina se apaga	2
	Guillotina (cortadora)	11106	947 Motor no enciende	2
	Guillotina (cortadora)	11106	770 Máquina no enciende	2,75
Junio	Guillotina (cortadora)	11106	9737 Motor en mal estado	2,33
Octubre	Enrolladora	11075	T80 reparación manguera hidráulica	1,25
Total horas				21,41
Tiempos de parada de la línea de corte, mantenimiento correctivo 2019				
Fecha	Subsistema	Equipo	Descripción tipo de orden	Horas estimadas de parada
Febrero	guillotina (cortadora)	11106	Cambio del drive por corto circuito	28
Total horas				28

3.3.7. Mantenimiento preventivo.

El personal mencionado en la Tabla 5, realizan las acciones preventivas conformando un solo cuerpo de trabajo que realiza ambas tareas de mantenimiento tanto programadas como correctivas. La gestión y distribución del personal se lo realiza a través del JD Edwards, donde las actividades realizadas por los trabajadores tienen un código de registro. Lo descrito se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Códigos de registro para las actividades preventivas. [48]

Actividad	Fuente	Registro en JDE
Preventivas planificadas.	Plan anual de mantenimiento preventivo, predictivo e infraestructura.	WM
Correctivas planificadas.	Planes de acción, hojas de ruta, reuniones de mejora, plan de mantenimiento, requerimientos.	WQ (Salvo Fase: AV90)
Hojas de ruta seguimientos.	Hojas de ruta, hojas de lubricación, hojas de control de parámetros, hojas de rutinas.	No tiene

Al igual que las actividades correctivas mencionadas anteriormente, las acciones de mantenimiento planificado también poseen un procedimiento para la programación de las actividades, lo descrito se puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Procedimiento para la programación del mantenimiento preventivo. [48]

N	Actividad	Responsable
1	Elaborar y actualizar el plan de mantenimiento preventivo, basándose en el plan actual, en el estudio de las condiciones actuales de las máquinas (Mantenimiento predictivo), en la revisión de catálogos de equipos similares en la prioridad de mantenimiento que arrojen los planes de control de proceso, en la experiencia y la información que se va recogiendo progresivamente de la realización de actividades rutinarias de inspección de equipos mismo.	Equipo de mantenimiento.
2	Generar las órdenes de trabajo en el software de mantenimiento de acuerdo al cronograma establecido en el plan.	Programador de mantenimiento.
3	Canalizar con el personal de mantenimiento la intervención planificada.	Jefe, programados y supervisor de mantenimiento.
4	Informar periódicamente las actividades planificadas del mantenimiento preventivo y el cumplimiento de la planificación.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
5	Al terminar el trabajo en la máquina y si todo es normal informar al operador o supervisor que pueden poner en funcionamiento a la máquina en caso de que este se haya detenido, además dejar el área de trabajo limpio de aceites grasas, pernos y herramientas.	Equipo de mantenimiento o técnico mecánico y/o eléctrico.

Continuación. **Tabla 10.**

6	Llenar el registro de mantenimiento preventivo en JDE una vez terminada la intervención.	Técnico mecánico y/o eléctrico.
7	Revisar y aprobar el trabajo y el registro. Ingresar los datos del registro de mantenimiento preventivo en el programa de mantenimiento.	Jefe, supervisor y programados de mantenimiento.
8	Informar con dos meses de anticipación los requerimientos que deseen abordar en las paradas de planta programadas, la unidad funcional mantenimiento evaluará el requerimiento e informará si fue aceptado o no para la fecha sugerida.	Jefe de producción Jefe de mantenimiento.

En el plan de mantenimiento preventivo para la línea que se maneja en planta, constan las actividades de mantenimiento junto a una descripción de frecuencia, códigos de los activos y unidades. Además de especificar la semana del mes en que se ejecuta las acciones, un ejemplo de lo descrito se observa en la Tabla 11 sólo hasta el mes de febrero.

Tabla 11. Plan de mantenimiento preventivo 2018. [48]

Plan de mantenimiento preventivo						
Línea	Unidad	Descripción	Frecuencia	Activo	Enero	Febrero
Cortadora	SB-DSE1	Revisión mecánica y eléctrica	Mensual	11077	■	■
	SB-GH01	Accionamiento	Trimestral	11077		■
	SB-EN01	Revisión y limpieza	Bimensual	11073		■
	SB-CC01	Mantenimiento mensual	Mensual	11075	■	■
	SB-DE01	Mantenimiento mensual	Mensual	11106	■	■

3.3.8. Hojas de autónomos y 5'S.

En la empresa se maneja el uso de autónomos, estos son emitidos por el programador de mantenimiento, estas hojas permiten realizar una inspección semanal de la máquina a nivel de piso para llevar un control y observar si se registran las anomalías asociadas principalmente a los equipos. Lo más importante de los autónomos es que se puede llegar a prevenir la presencia de una avería. Con las 5's se asegura que el lugar de trabajo esté limpio y ordenado para poder observar si existen fugas, fisuras y trabajos a mejorar. [15] Es preciso señalar que las hojas de autónomos y 5'S se encuentran aún en fase de implementación en la planta.

3.3.9. Mantenimiento predictivo actual.

Las tareas predictivas realizadas a la línea de corte son planeadas con el equipo de trabajo, pero la ejecución es tercerizada a otras empresas y se lo realiza de manera semestral,

únicamente a los tableros eléctricos y no considera elementos mecánicos. Lo descrito se puede apreciar en la Tabla 12.

Tabla 12. Plan de mantenimiento predictivo. [48]

Plan de mantenimiento predictivo										
Línea	Unidad	Descripción	Frecuencia	Activo	abril			octubre		
Cortadora	SB-EN01	Termografía tablero eléctrico	Bianual	11075	x			x		
	SB-CC01	Termografía tablero eléctrico	Bianual	11106	x			x		
	SB-DE01	Termografía tablero eléctrico	Bianual	11077	x			x		

3.3.10. Indicadores de mantenimiento actuales en la empresa.

La base del mantenimiento usado en la empresa cuenta con varios indicadores que establecen la efectividad de las acciones realizadas mensualmente. Para el caso del diagnóstico es necesario conocer el estado actual de los equipos involucrados en la línea, por lo tanto, se escogen indicadores relacionados directamente con las fallas que afecten la disponibilidad de los equipos y en consecuencia la producción de flejes. Considerando esta premisa se escogen 3 indicadores:

Tiempo medio entre fallas (MTBF): Este indicador es tomado para varias líneas en la planta, la información aportada sirve para definir el intervalo de tiempo entre un arranque operativo de la línea y la aparición de una falla, además de ser una herramienta importante para la fiabilidad. De este modo es posible percibir de manera general si la línea está respondiendo positivamente a las acciones de mantenimiento aplicadas, pues es ideal que este promedio aumente. El indicador se muestra en el Gráfico 1.

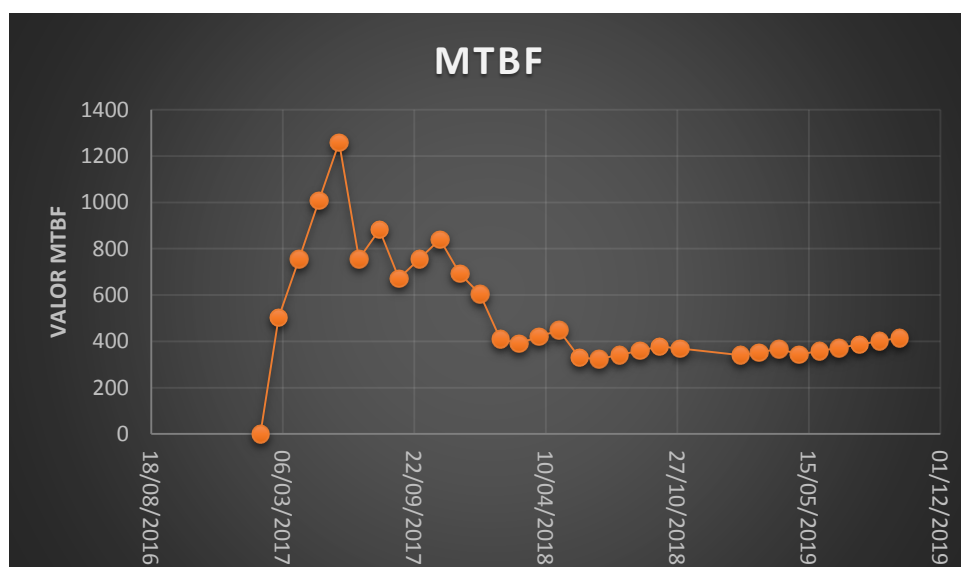


Gráfico 1. MTBF de la línea de corte. [Autores]

Tal como se aprecia en el Gráfico 1, el valor del MTBF se incrementó hasta mayo del 2017 donde se genera el promedio de mayor valor, luego de esa fecha el promedio experimentó una caída de 47.93% hasta la última fecha de estimación de ese mismo año, para luego experimentar una disminución del 70.71 % respecto al mayor valor registrado. Entre los motivos principales para que este promedio durante el 2018 y mediados del 2017 disminuya son:

- La empresa posee datos verificados en el sistema JD desde enero del 2017, por lo tanto, son los que se consideran para el cálculo de los promedios, pero al ser el cálculo del MTBF de tipo acumulativo, es decir, toma los valores de promedios anteriores, el pico de 1260 tuvo a penas 4 valores de referencia, el primero tiene un valor cero, lo que provoca un incremento considerable en los primeros meses y a su vez causa una percepción de una disminución importante respecto a este pico generado.
- Tal como se muestra en la Tabla 7, el número de fallas incrementó a 10 en el 2018 junto a una disminución considerable de la disponibilidad de la línea, debido a paradas no programadas. Como se muestra en la Tabla 8, el tiempo de parada aumentó de 7.66 horas en el 2017 a 21.41 en el 2018 para luego experimentar otro aumento a 28 horas hasta febrero del 2019, todos estos factores contribuyen a la disminución del MTBF.

Tiempo medio de reparación (MTTR): Similar al indicador MTBF, el MTTR es usado para proporcionar información de la efectividad del área de mantenimiento para restituir un equipo a sus condiciones óptimas de operación a la llegada del evento “falla”, este indicador recae directamente en asertividad de las acciones efectuadas por los técnicos mecánicos y eléctricos, lo ideal para este tipo de indicador será que su valor promedio sea el más bajo posible. Se muestra en el Gráfico 2.

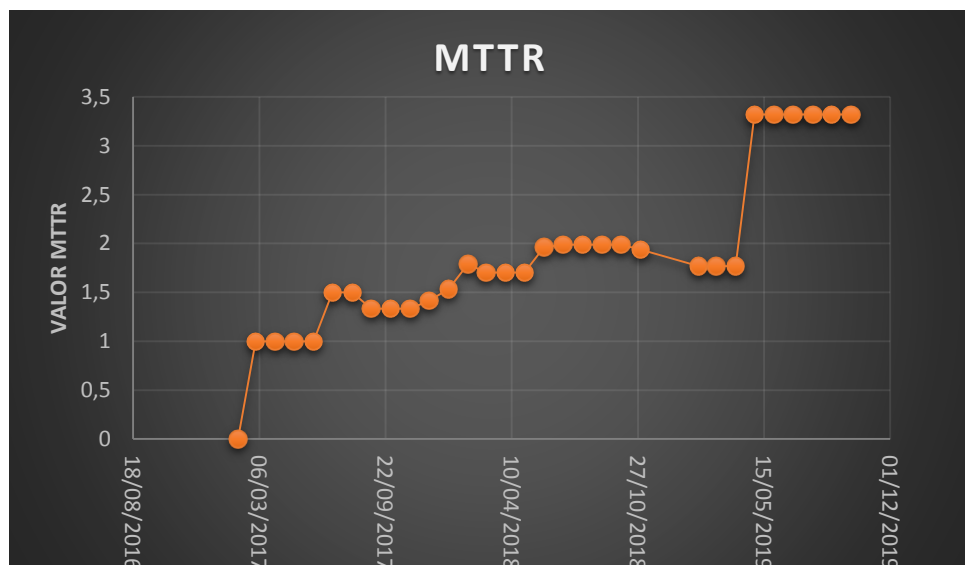


Gráfico 2. MTTR de la línea de corte. [Autores]

Como se puede observar en el Gráfico 2, el valor promedio permanece constante durante 4 meses y luego experimenta un incremento, mostrando que la eficiencia de las acciones de mantenimiento ha reducido, las posibles razones para este crecimiento son:

- Los valores proporcionados antes de noviembre del 2017 no son considerados como verificables por la nueva administración lo que genera incertidumbre en la veracidad de los datos en ese periodo de tiempo.
- Durante el periodo del 2017 los técnicos responsables de la ejecución de las acciones de mantenimiento y sus supervisores no reportaban de forma veraz los tiempos reales de ejecución lo que explicaría la continuidad en los primeros 4 meses del análisis.
- En los eventos de falla de los drivers presentados en el 2018 y parte del 2019 tomaron más de 20 horas para su reparación lo que elevó de forma significativa el valor del indicador.

Disponibilidad: Este indicador le permite al departamento de mantenimiento estimar de forma general, el porcentaje de tiempo que se puede esperar para que la línea esté disponible para el corte de la materia prima a través del análisis de MTBF Y MTTR. Esto se muestra en el Gráfico 3.



Gráfico 3. Disponibilidad de la línea de corte. [Autores]

Como se muestra en el Gráfico 3, la disponibilidad no ha sido afectada de manera importante en la línea de producción en general, presentando una disminución de 99.80% a 99.48%.

3.4. Código de equipos de la línea de corte de materia prima.

La distribución de los equipos de la línea de corte se maneja con una lista global, además poseen identificación mediante codificación de activos donde se considera el nombre del subsistema, número de activo, centro de costos e identificación por número de activo como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Listado de equipos con códigos de activos. [48]

Listado de equipos con códigos de Activos				
Equipo	Descripción	Activo	Código	CECOS
Desenrollador Centrabale	Motor de 5 HP	11077	SB-DSE1	01FABCM015
Brazo de descarga	Sistema Hidráulico	11073	SB-BD01	01FABCM015
Grupo Hidráulico	6 bombas de pistones	11076	SB-GH01	01FABCM015
Rodillo de tiro con cizalla hidráulica (guillotina cortadora)	Cizalla	11106	SB-CC01	01FABCM015
Mesa de Arrastre	Por cadenas y ruedas dentadas	11074	1382-MUHE	01FABCM015
Mesa de transporte lámina	Guillotina	11079	SB-MR01	01FABCM015
Cizalla Circular Fija	Transmisión por bandas	11080	SA-MC01	01FABCM015
Enrolladora	MOD: 125-12-70C-E	11075	SB-EN01	01FABCM015
Recogedor de Viruta		11075		01FABCM015

3.5. Resultados del diagnóstico.

Estructura organizacional del departamento de mantenimiento: La estructura del departamento está bien definida y las funciones de los miembros del equipo de trabajo se encuentran claramente explicadas en los documentos manejados por la empresa y no representa un problema para el normal desenvolvimiento de los planes de mantenimiento en la línea.

Filosofía de mantenimiento: La filosofía adoptada por el departamento de mantenimiento tiene objetivos bien detallados sobre el manejo de los planes de mantenimiento para toda la planta, sin embargo, no da prioridad a la línea de corte. Además, las actividades propuestas para reforzar esta filosofía como los “Autónomos” y “5’S” aún están en etapa de implementación en la planta.

Planes de mantenimiento: Las actividades preventivas se ejecutan sólo a los equipos que el grupo multidisciplinario consideró críticos en el último análisis de criticidad desarrollado, en los

demás sistemas se maneja únicamente mantenimiento correctivo. El mantenimiento predictivo se planifica exclusivamente para los tableros eléctricos, los elementos mecánicos no son considerados.

Indicadores de mantenimiento: Según los indicadores analizados en el diagnóstico la aparición de fallas en la línea ocurre con mayor frecuencia en los últimos 2 años y a su vez, le toma más tiempo al departamento de mantenimiento restituir los equipos a su estado operativo. La disponibilidad de la línea se ha mantenido y el porcentaje de actividades correctivas frente a preventivas permanecen debajo del 20% sin embargo, como se mencionó anteriormente son daños mucho más prolongados de corregir.

Averías en los equipos: El porcentaje de averías en la línea ha aumentado durante los dos últimos años, no obstante, el incremento más considerable son las horas de parada que pasaron de 6 horas en el 2017 hasta 28 solo en el mes de febrero del 2019.

Códigos de equipos: Existen códigos designados para los equipos de la línea y que se manejan actualmente en el sistema JD Edwards, sin embargo, no existe codificación para ítems mantenibles de cada equipo. En adición, algunos nombres de los equipos no corresponden con el nombre proporcionado por el fabricante, llegando a poner el mismo código para dos equipos diferentes como es el caso del desenrollador centrable y el carro de carga.

4. PROPUESTA.

4.1. Introducción al análisis.

Antes de empezar con el análisis, es necesario representar los equipos que componen la línea de producción para una mejor identificación al momento de describir a un equipo y su disposición física en la planta. Para ello, se divide cada equipo en representaciones simbólicas de sus componentes físicos más representativos, los motores y elementos electrónicos como tableros y paneles de control de la línea se representan con una figura rectangular con una “X” en el centro. Lo descrito se muestra en la Figura 12.

Una vez identificado los componentes físicos y su disposición en la planta, se procede a realizar un análisis de los equipos más críticos, para enfocar los esfuerzos a los elementos que pueden afectar a la función general de la línea. De la información recopilada en el análisis de criticidad se escogerán los equipos para el estudio. Con los equipos definidos, se puede iniciar el análisis de modos y efectos de falla para la línea de corte. No obstante, la metodología MCC postula que primero se conozca a detalle las funciones de los equipos y los elementos que lo componen, para definir con precisión cuales son las condiciones normales de trabajo del sistema para posteriormente especificar de qué modo puede una falla afectar las funciones de la línea. De igual manera, si las funciones de la línea fueron correctamente detalladas se puede iniciar con el análisis AMEF para conocer los modos en que los equipos del sistema pueden fallar siguiendo la metodología propuesta. Sin embargo, los elementos sujetos a estudio serán claramente identificables y poseer un código de ubicación en el equipo, por lo tanto, es necesario crear un sistema de codificación para los elementos que se analicen.

Finalmente, con el análisis AMEF realizado, se propone actividades de mantenimiento que mitiguen o amortigüen los efectos de falla que pudiesen presentarse. Para definir qué hacer y sentar

una base para las decisiones, se sigue la lógica MCC propuesta por la metodología. De igual manera, se propone una frecuencia de mantenimiento distribuida en todo el año.

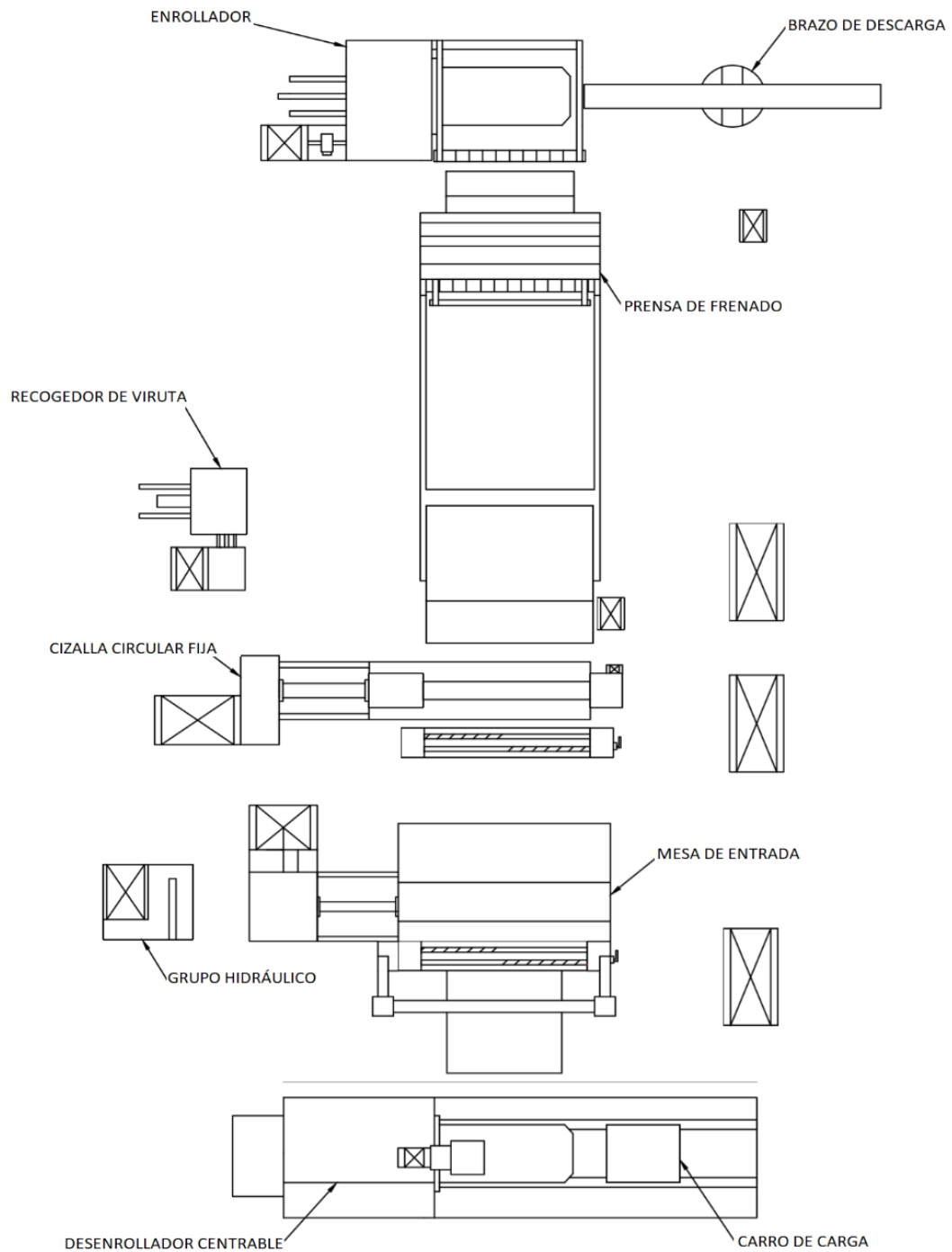


Figura 12. Equipos que conforman la línea de corte. [Autores]

4.2. Análisis y evaluación de criticidad de equipos vigentes en la línea.

El análisis de criticidad debe estar enfocado a establecer una metodología para determinar de manera más acertada la jerarquía de los procesos, equipos y sistemas que conforman una misma planta para establecer el plan de mantenimiento que permita dar prioridad a la programación y ejecución de las órdenes de trabajo.

Bajo este concepto, el análisis de criticidad realizado por el grupo multidisciplinario de Tugalt para los equipos que conforman las líneas de producción, ha permitido que el departamento de mantenimiento obtenga mayor información para la jerarquización de los componentes de sus sistemas, además sirve para dar prioridad a los programas de mantenimiento de acuerdo a un criterio establecido y aplicado para todos los equipos implicados.

Este análisis además de priorizar y optimizar recursos ayuda a mejorar la disponibilidad de la línea y componentes críticos que la conforman, los criterios empleados para el análisis de criticidad establecidos por el equipo multidisciplinario, está formado por cinco departamentos (producción, ingeniería, calidad, mantenimiento, seguridad e higiene industrial), que definirán el rango de ponderación de acuerdo al impacto e importancia que tienen dentro de la empresa. Los factores de criticidad de los equipamientos son:

- Factor de tiempo requerido para reparar.
- Factor de seguridad del personal y ambiente.
- Factor de costos o impacto de la parada de producción.
- Factor de costos de reparación.

Bajo el criterio del grupo multidisciplinario, se consideró que el Factor “costos o impacto de la parada de producción” es el que debe tener el rango de ponderación más elevado. Como empresa los ingresos económicos tienen mayor relevancia. Finalmente, las criticidades de cada factor son calculados respecto a la Ecuación 5, que se suman y cuyo resultado debe ser el 100%.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Gravedad} \quad (5)$$

El rango de ponderación presentado por el grupo multidisciplinario mostrado en la Tabla 14, tiene diferentes factores de consideración que intervienen directamente en la disponibilidad del equipo, como la frecuencia en que ocurren las fallas y el tiempo que toma el departamento de mantenimiento para regresar los equipos a condiciones normales de funcionamiento. Este rango también considera el peligro potencial de las fallas a la salud de sus operadores y riesgo medio ambiental que supone, sin desconocer el componente económico que incluye la reparación y cambio de elementos dañados.

Tabla 14. Factores de ponderación para frecuencia de ocurrencia. [48]

Factor	Frecuencia	Ponderación
Factor de ocurrencia de la falla	Una vez cada 3 meses	0.25
	Una vez al mes	0.5
	Dos veces al mes	1
Factor de tiempo requerido para reparar	El tiempo de reparación es menor a un día	0.25
	El tiempo de reparación supera un día	0.5
	El tiempo de reparación supero los 5 días	1
Factor de seguridad del personal y ambiente	Sin consecuencias	0.1
	Efecto temporal sobre personas, no afecta el ambiente	0.2
	Efecto temporal sobre las personas y ambiente	0.4
	Efecto irreversible sobre las personas	0.8
	Efecto irreversible sobre las personas y ambiente	1
Factor de costos o impacto de parada de producción	No implica demora en la entrega	0.25
	Implica demora de corto tiempo en la entrega	0.5
	Implica demora y pérdida de calidad	1
Factor de costos de reparación	Bajo costo de reparación	0.25
	Medio costo de reparación	0.5
	Alto costo de reparación	1

Este método de análisis lleva un año en vigencia dentro de las instalaciones de la empresa. En la Figura 13 se observa un informe de la criticidad de los equipos, que muestra el valor calculado de criticidad de acuerdo a los tres niveles establecidos crítico, semicrítico y no crítico. Según el análisis el equipo con mayor criticidad es la cortadora cizalla circular.

Ingresar la ponderación para cada criterio del factor de criticidad del equipamiento (la suma debe ser igual a 100)

Factor	Valor
Factor de Ocurrencia de la Falla	20
Factor de Tiempo Requerido para Reparar	23
Factor de Seguridad del Personal y Ambiente	20
Factor de Costos o Impacto de la Parada de Producción	30
Factor de costos de Reparación	7
TOTAL	100

Proceso de diagnóstico

Introducir el valor 1 para cada factor en la celda tomate que mejor describa la situación en caso de que la falla suceda

Factor Equipos		Factor de Ocurrencia de la Falla			Factor de Tiempo Requerido para Reparar			Factor de Seguridad del Personal y Ambiente				Factor de Costos o Impacto de la Parada de Producción			Factor de costos de Reparación			
		Una vez cada 3 meses	Una vez al mes	Dos veces al mes	El tiempo de reparación es menor a un día	El tiempo de reparación supera un 1 día	El tiempo de reparación supera una 5 días	Sin consecuencias	Efecto temporal sobre personas, no afecta el ambiente	Efecto temporal sobre las personas y ambiente	Efecto irreversible sobre las personas	Efecto irreversible sobre las personas y ambiente	No implica demora en la entrega	Implica demora de corto tiempo en la entrega	Implica demora y pérdida de calidad	Bajo Costo de Reparacion	Medio Costo de Reparacion	Alto Costo de Reparacion
Desenrollador	SB-DSE1	1				1				1					1			1
Brazo de descarga	SB-BD01	1			1				1						1		1	
Cortadora cizalla circular	SA-MC01		1			1					1				1			1
Enrolladora	SB-EN01		1			1				1					1			1
Grupo Hidraulico	SB-GH01	1				1				1					1			1
Mesa de frenado	1382-MUHE	1			1				1						1		1	
Mesa de transporte de lamina	SB-MR01	1			1			1						1	1			

Informe para el análisis de la criticidad de los equipamientos

Criticidad de los equipos Conformado:

Equipamiento	Valor	Criticidad
Desenrollador	61,5	CRITICO
Brazo de descarga	48,3	No crítico
Cortadora cizalla circular	74,5	CRITICO
Enrolladora	66,5	CRITICO
Grupo Hidraulico	61,5	CRITICO
Mesa de frenado	48,3	No crítico
Mesa de transporte de lamina	44,5	No crítico

Figura 13. Criticidad de los equipos de la cortadora según valores ponderados. [48]

4.3. Selección de equipos a analizar bajo la metodología MCC.

Luego de haber realizado el análisis de criticidad de cada equipo, se pudo identificar los equipos con un mayor rango de criticidad para la línea de corte de materia prima. Las averías de cada equipo se convierten en un problema para la producción, puesto que al realizar el mantenimiento correctivo a cada equipo constituye pérdidas de tiempo de producción, costos de repuestos, personal de mantenimiento y en ocasiones contratos a técnicos extranjeros. [15]

En la Figura 13 indicada anteriormente se puede observar los equipos que resultaron tener mayor criticidad, los equipos son:

- Cortadora cizalla circular.
- Enrolladora.
- Desenrollador.
- Grupo hidráulico.

4.4. Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).

Antes de realizar el análisis de modos y efectos de falla en la línea, se expondrá el proceso de fabricación de flejes a través de los distintos sistemas que forman parte de la línea de producción de corte, para posteriormente continuar con la metodología propuesta en el marco teórico.

- Como primer paso, es necesario definir las funciones de los sistemas involucrados en la producción de flejes y las fallas funcionales que pudiesen afectar.
- Como siguiente paso, se presenta la división de la línea en los diferentes sistemas, subsistemas e ítems mantenibles de acuerdo a la función que cumplen en el proceso de producción, teniendo como referencia la norma BS EN ISO 14224: 2016.
- Un tercer paso es la generación de códigos de identificación para los sistemas, subsistemas e ítems mantenibles de la línea. La empresa posee códigos de activos como ya se mostró en la Tabla 13, parte de estos códigos se conservarán y se complementarán en la propuesta de codificación con el objetivo de proponer una transición más familiar al momento que la empresa decida implementar la propuesta de mantenimiento.
- Como cuarto paso, se aplica la metodología AMEF utilizando la información de los puntos anteriores, y la metodología mencionada en el marco teórico.

- En el quinto paso, se determina el RPN de cada uno de los elementos analizados en el sistema, evaluando cada modo de falla según el criterio expuesto en el punto 2.4.2. Una vez seleccionadas las fallas se propone acciones de mantenimiento para las fallas que posean los valores más altos del análisis anterior usando la metodología MCC que presenta un algoritmo de decisión para luego proceder a la identificación del tipo de tarea de mantenimiento más idónea.

4.4.1. Procedimiento de fabricación de flejes en la línea de corte.

Carro de carga de bobinas: Su misión consiste en levantar y transportar las bobinas a través del muelle de carga e introducirlas en el tambor del desenrollador. Se acciona el botón de inicio en el tablero de control que enciende un moto-reductor a través de un sistema de transmisión piñón–corona que gira las ruedas del carro, para movilizarlo longitudinalmente por los rieles ubicados en el interior del muelle. (Figura 14).



Figura 14. Carro de carga de bobinas. [Autores]

Para levantar la cuna de carga, se usa un pistón elevador que es accionado por el operador a través del tablero de control, este activa la electroválvula permitiendo el paso del fluido a presión al pistón levantando la cuna a la altura deseada mientras el motor traslada el carro hasta el final del muelle introduciendo el diámetro interior de la bobina en el tambor. El carro posee 2 ejes guías a sus costados que ayuda a asegurar la estabilidad de la cuna al momento del levantamiento, de este

modo se irá alimentando de bobinas el desenrollador en función de las necesidades de producción. El subsistema de elevación se observa en la Figura 15.



Figura 15. Pistón elevador, guías de mesa y moto-reductor. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa presentados en la Tabla 15:

Tabla 15. Placa del carro de carga. [48]

Tensión principal	440 V
Potencia nominal	3,6 kW
Peso de la máquina	1250 kg
Peso soportado	Hasta 12000 kg
Carrera nominal del pistón de elevación	30 cm
Velocidad nominal de elevación	3 m/min
Velocidad nominal de transporte	9.34 m/min

Desenrollador centrable: Su función es desenrollar la bobina en las primeras fases del proceso de corte, una vez que la bobina se encuentre introducida en el mandrino con la ayuda del carro de carga, se acciona una electroválvula mediante el tablero de control que permite el paso de fluido a presión y expande las aletas con la ayuda de una barra de empuje y tiro. Al moverse longitudinalmente al eje de trabajo provoca un movimiento rotatorio a la biela del mandrino que a su vez

presionan el diámetro interior de la bobina hasta que éste se tense lo suficiente y de esta forma asegure. Lo descrito se puede apreciar en la Figura 16.



Figura 16. Desenrollador centrable. [Autores]

Para un óptimo funcionamiento de la línea de corte es necesario que la lámina esté centrada en el eje de trabajo, de esta manera todo el proceso se mantiene equilibrado y evita que la lámina se doble, por lo general al colocar las bobinas en el mandrino suelen sobrepasar el eje y cuando esto sucede se activa un pistón centrador de bobinas que mueve toda la estructura a través de unas guías ubicadas en la base del desenrollador y vuelve a ubicarla en una posición adecuada al eje de trabajo. Lo descrito se puede observar en la Figura 17.



Figura 17. Pistón centrador de la bobina. [Autores]

Cuando la bobina se encuentra centrada y tensionada se procede a desenrollar la lámina con la intervención de un brazo instalado en el cuerpo del desenrollador, que posee dos rodillos acoplados que ejercen una presión sobre la superficie de la bobina para transmitir movimiento rotatorio. Puesto que la materia prima viene de diferentes diámetros, el equipo posee un pistón hidráulico que levanta o baja al brazo a la medida de la bobina, luego un moto-reductor transmite el movimiento por un sistema de engranes hacia los rodillos para empezar con la operación antes mencionada. Lo descrito se puede apreciar en la Figura 18.



Figura 18. Brazo del desenrollador Centrabable. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa presentados en la Tabla 16.

Tabla 16. Placa del desenrollador centrable. [48]

Tensión principal	440 V
Potencia Nominal	3,6 kW
Peso de la máquina	4710 Kg
Peso soportado	Hasta 12000 Kg
Velocidad nominal de desenrollado	100 m/min
Radio de expansión nominal de aletas del tambor	7 cm
Velocidad nominal de expansión de aletas del tambor	7.6 m/min
Carrera de pistón centrador	20 cm

Mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina: Una vez iniciada la fase de desenrollado, la lámina entra en los rodillos de tiro cuya función es enderezar y tirar de la punta de lámina mediante dos rodillos, el movimiento de los rodillos son transmitidos por un moto-reductor a través de dos cardanes conectados a cada rodillo, el primero se encuentra fijo en la estructura mediante rodamientos y pernos de sujeción que a su vez sirve como base, el otro rodillo es

móvil y se mueve perpendicular a la mesa con la ayuda de dos pistones hidráulicos de doble efecto, acoplados en la parte superior de la estructura que provocan el movimiento. Para asegurar la estabilidad del movimiento del rodillo móvil, se colocó un sistema de piñón-cremallera entre la estructura que lo sostiene y la carcasa de la mesa. Para asegurar que la lámina esté centrada en el eje de trabajo en esta fase de la operación, la mesa posee tres sistemas:

- **Mesa de entrada:** plataforma retráctil con dos grados de libertad que facilita el paso de la lámina a los rodillos de tiro. Tiene la capacidad de incorporarse al iniciar el proceso y retraerse hacia la estructura de la mesa cuando termina, además expande o contrae su longitud cuando el proceso así lo requiera. Estos movimientos están impulsados por dos pistones hidráulicos de doble efecto.
- **Brazo enderezador:** rodillo acoplado a un brazo móvil de tipo telescópico instalado en la estructura mediante cojinetes. Su función es ejercer presión en los primeros tramos de la lámina para enderezarla y que pueda dirigirse hacia los rodillos centradores. Este proceso se realiza porque la lámina al ser desenrollada, toma una curvatura debido al bobinado que dificulta el direccionamiento hacia las siguientes fases del proceso.
- **Rodillos centradores:** son dos rodillos acoplados a una estructura móvil instalados en la carcasa, cuya función es centrar la lámina ejerciendo presión en los laterales, el movimiento es transversal al eje de trabajo y está transmitido por dos tornillos helicoidales acoplados en la base de la estructura que los sostiene. La forma de transmitir el movimiento es manual, con la ayuda de una palanca y dos ruedas dentadas incorporadas en uno de los extremos de los tornillos. Los tres sistemas antes mencionados se pueden apreciar en la Figura 19.



Figura 19. Meza de entrada, guías de centrado, Rodillos de tiro y cizalla guillotina.
[Autores]

Al momento de culminar con la fase de centrado y enderezado, entra en un proceso de “saneamiento” donde con la ayuda de una guillotina la punta es cizallada

y almacenada en un contenedor, este proceso es realizado mediante dos pistones hidráulicos de doble efecto instalados en la parte superior de la guillotina como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Guillotina. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa presentados en la Tabla 17.

Tabla 17. Placa mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina. [48]

Tensión Principal	440 V
Potencia Nominal	9 kW
Peso del equipo	7245 kg
Velocidad de elevación del brazo enderezador	5.7 m/min
Velocidad de despliegue de la mesa de entrada	6.2 m/min
Apertura máxima de rodillos centradores	2.2 m
Presión nominal de cizalladura	50 kg/mm^2
Velocidad de cizalladura	6 m/min

Cizalla circular fija: Cuando el proceso de desenrollado, enderezado y curado de la punta finaliza, la lámina está en condiciones para el redimensionamiento, esta función es realizada por la cizalla circular fija. Al pasar la banda entre los platos de corte, se produce la cizalladura que separa la plancha en varios flejes con dimensiones específicas.

Su estructura está compuesta por una gran carcasa metálica anclada al suelo que soporta un moto-reductor de 65 kW que transmite la potencia a través de dos cardanes a los ejes donde se acoplan los platos de corte, el número de platos montados es proporcional al número de flejes necesarios. (Figura 21)



Figura 21. Cizalla circular fija. [Autores]

Además, la velocidad del motor se puede regular conforme el espesor de lámina con el panel de control. El moto-reductor tiene incorporado un Dinamotacométrica que le permite regular sus rpm. La cizalla circular posee un sistema de seguridad de tipo manual, que está integrado al cuerpo del equipo y es controlado por dos palancas independientes como se muestra en la Figura 22, (una palanca por cada eje) y que se denominan frenos y al accionarse cortan la transmisión de movimiento hacia las cuchillas.



Figura 22. Freno manual. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa presentados en la Tabla 18.

Tabla 18. Placa cizalla circular fija. [48]

Tensión principal	440 V
Potencia Nominal	66,5 KW
Peso de la máquina	3690+1900 Kg
Velocidad de corte	100 m/min
Apertura de rodillos centradores	2.2 m

Para desmontar las cuchillas, el equipo posee un sistema de rieles para el soporte del eje móvil, estos están ubicados en la base y tiene incorporado un motor al cuerpo del soporte que permite desmontar los ejes de los rodillos excéntricos como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Sistema de rieles para el soporte del eje. [Autores]

Al igual que la “mesa de entrada con guías de centrado, rodillos de tiro y cizalla guillotina” este proceso no está exento de sufrir un descentrado en la lámina, al igual que la mesa de entrada, la cizalla circular posee rodillos de centrado ubicados en la entrada que ayuda a ubicar la banda en el eje de trabajo. La estructura y funcionamiento es el mismo mencionado anteriormente en la mesa de entrada. Lo descrito se puede apreciar en la Figura 24.



Figura 24. Rodillos de centrado. [Autores]

Recogedor de virutas: El proceso de cizalladura genera virutas durante la fabricación de los flejes, que deben ser retiradas y almacenadas de tal forma que no interrumpa o dificulte el desarrollo de las funciones de los equipos. Esta función es realizada por el recogedor de virutas que enrolla y almacena este residuo. La forma de operación de este equipo consiste en la activación manual desde la mesa de control. El operador revisa el foso de almacenamiento de la viruta y cuando considera que se ha acumulado lo suficiente, activa un moto-reductor que hace rotar a un eje para comenzar con el enrollado de la lámina. Al igual que en el enrollador, este equipo posee un rodillo acoplado, unos brazos que ayuda al compactado de la bobina que se va formando en la cámara del recogedor y el movimiento de estos brazos están impulsados por un pistón de doble efecto. Lo descrito se observa en la Figura 25.



Figura 25. Recogedor de Virutas. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa presentados en la Tabla 19.

Tabla 19. Placa del Recogedor de virutas. [48]

Tensión principal	440 V
Potencia Nominal	18 KW
Peso de la máquina	3075 Kg
Velocidad de enrollado	100 m/min

Prensa de Frenado: Este equipo posee varios sistemas incorporados con diversas funciones de mucha relevancia para que el proceso se lleve a cabo con la continuidad deseada, por lo tanto, se lo analizará en secciones.

- **Foso:** esta sección no puede ser considerado un equipo, puesto que es un foso de cinco metros de profundidad. Su función es evitar que los flejes se tensionen, no obstante por la importancia que tiene será considerada en esta investigación como una parte indirecta de la estructura de la prensa. Este foso es usado únicamente cuando la lámina se encuentra presionada y acoplada al rodillo de enrollado adicionalmente todo el proceso debe encontrarse en automático, está ubicado entre la cizalla circular fija y la prensa de tensionado como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Foso. [Autores]

- **Mesa de paso del foso:** plataforma retráctil con un grado de libertad, su función es servir de puente entre la cizalla circular fija y la prensa de tensionado en la primera etapa (proceso no automatizado), consta de varios rodillos incorporados que ayudan al deslizamiento de la banda a través de la mesa, tiene la capacidad de incorporarse al iniciar el proceso y retraerse hacia una de las paredes del foso cuando inicia el modo

automático, este movimiento está dado por un pistón hidráulico de simple efecto acoplado a la base de la prensa. Lo descrito se puede apreciar en la Figura 27.



Figura 27. Mesa de paso del foso. [Autores]

- **Prensa de tensionado 2:** Su función es ejercer una compresión a los flejes que salen del foso y direccionarlos hacia el enrollador, consta de un brazo metálico que tiene incorporado una vejiga accionado por válvulas neumáticas controladas desde el panel de control. Lo descrito se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Prensa de frenado. [Autores]

- **Rodillos deflectores:** consta de dos rodillos, uno móvil ubicado a la altura de la mesa en la prensa, cuyo movimiento es generado por un cilindro que permite al rodillo bajar para permitir el paso de la lámina e igualmente subir para ejercer una compresión contra el rodillo fijo que está posicionado en la parte superior y está acoplado a la estructura por medio de pernos de sujeción. Su función consiste en provocar una desviación en la dirección de los flejes para que el enrollador puede

realizar el bobinado de mejor manera. Lo descrito se puede apreciar en la Figura 29.



Figura 29. Rodillos deflectores. [Autores]

- **Mesa de abocado:** Es una plataforma retráctil cuya forma de trabajo es similar a la de la mesa de paso del foso. De igual forma su movimiento está concebido por un pistón de doble efecto ubicado en la base de la mesa, pero con dimensiones más reducidas. Su función consiste en servir como plataforma de acercamiento para el enrollador, la mesa posee una fila de rodillos para mejorar el deslizamiento de la banda como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Mesa de abocado. [Autores]

- **Platos separadores:** Para impedir embotellamientos entre los flejes cortados es necesario asegurar una separación entre las láminas que salen del foso, por esta razón, está incorporado en el cuerpo del equipo un eje con platillos desmontables que están dispuestos de acuerdo con las dimensiones de los flejes. Lo descrito se observa en la Figura 31.



Figura 31. Platos separadores. [Autores]

El sistema eléctrico de la máquina funciona mediante los datos de placa que se muestra en la Tabla 20:

Tabla 20. Placa prensa de frenado. [48]

Tensión principal	440 V
Peso de la máquina	2000 + 370 Kg
Velocidad de despliegue del puente del foso	7.6 m/min
Velocidad de despliegue de mesa de abocado	5.8 m/min
Apertura mínima entre rodillos deflectores	2.5 cm
Velocidad de deflexión	100 m/min

Enrollador de flejes: Su función es enrollar los flejes cortados por la cizalla circular fija, posee un tambor giratorio que sirve de bobina para colocar en su longitud a todos los flejes a la vez. El movimiento rotatorio del tambor está provocado por un moto-reductor, además posee un brazo con un eje separador que sirve de guía y permite que los flejes queden enrollados de forma ordenada. Los flejes enrollados son expulsados mediante una placa que empuja los flejes hacia el

brazo de descarga, mediante el accionamiento de un cilindro hidráulico. Lo descrito se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Enrollador de Flejes. [Autores]

El sistema de la máquina funciona mediante los datos de placa mostrados en la Tabla 21:

Tabla 21. Placa del Enrollador. [48]

Tensión principal	440 V
Potencia Nominal	58,6 KW
Peso de la máquina	7930 Kg
Velocidad de enrollado	100 m/min
Velocidad de expulsión de flejes	4.8 m/min
Carrera del pistón de expulsión	3.2 ,
Velocidad de elevación de guías de flejes	6.5 m/min

Brazo de descarga: Su misión es cargar sobre su viga las bobinas cortadas en forma de flejes que fueron expulsados por el desenrollador como se muestra en la Figura 33. A partir del brazo los operadores toman los flejes



Figura 33. Brazo de descarga. [Autores]

Grupo hidráulico: Su misión consiste en generar el movimiento de los actuadores de la línea de corte mediante potencia hidráulica (presión y caudal). El grupo hidráulico está compuesto por un conjunto de elementos dentro de un bloque cerrado como se muestra en la Figura 34. Un motor encargado de mover la bomba, es la que impulsa el aceite transformando la energía mecánica en hidráulica, un manómetro que indica la presión de salida, un filtro que elimina las impurezas del aceite, un depósito que contiene el aceite y finalmente una válvula limitadora de presión que regula la presión de trabajo.



Figura 34. Grupo hidráulico. [Autores]

4.4.2. Diagrama de bloque funcional.

Para definir de manera simple y concreta el nivel de las funciones principales que la línea de corte desarrolla, se presenta un diagrama de bloque funcional, este representa y etiqueta los subsistemas funcionales del sistema. Es importante puntualizar que el diagrama de bloque, se compone solamente de funciones, no aparecen nombre de equipos o componentes. [44]

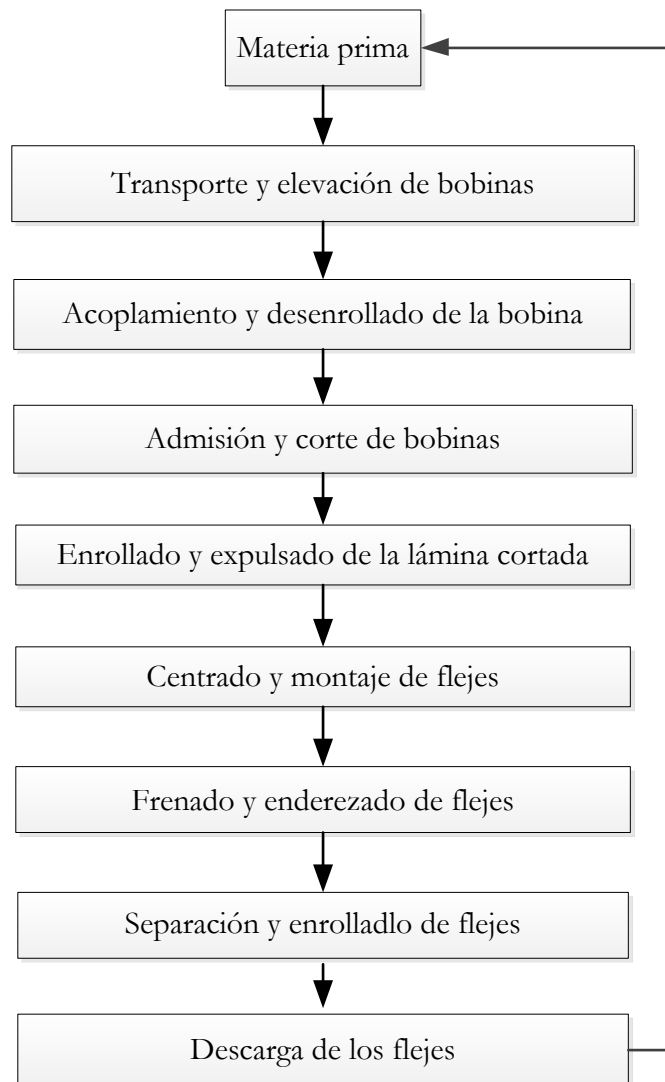


Figura 35. Diagrama de funcionalidad. [Autores]

4.4.3. Fallas funcionales de los elementos de la línea.

Además de la descripción del proceso de corte de flejes, a continuación, se describen las funciones generales del sistema en estudio de manera simplificada como se muestra en la Tabla 22 y se presenta una descripción de las funciones específicas para las que fueron diseñadas, determinando además las posibles fallas, para posteriormente realizar un estudio AMEF a toda la línea de corte de materia prima.

Tabla 22. Funciones y fallas funcionales de la línea de corte. [Autores]

Equipos	Nº de función	Nº Falla funcional	Descripción
Carro de carga	1a	1.1	Elevar las bobinas No eleva las bobinas
	1b	1.2	Transporta las bobinas hasta el Mandrino No transporta las bobinas
Desenrollador centrable	2a	2.1	Expandir las aletas No expande las aletas
	2b	2.2	Frenar el tambor No frena el tambor
	2c	2.3	Desenrollar la bobina No desenrolla la bobina
	2d	2.4	Centrar la bobina al eje de trabajo No centra
Mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina	3a	3.1	Enderezar la lámina No endereza la lámina
	3b	3.2	Centrar la lámina en el eje de trabajo No centra en el eje de trabajo
	3c	3.3	Tirar de la lamina No tira de la lamina
	3d	3.4	Cizallar la punta de la lamina No cizalla
Cizalla circular fija	4a	4.1	Cortar la lámina en flejes No corta la lamina
	4b	4.2	Cortes con baja calidad Cortes con dimensiones erróneas
Recogedor de virutas	5a	5.1	Bobinar las virutas No bobina las virutas
	5b	5.2	Expulsar la bobina No expulsa la bobina
Prensa de frenado	6a	6.1	Puente del foso No sirve de puente
	6b	6.2	Guía de flejes No sirve como guía
	6c	6.3	Tensionar los flejes No tensiona los flejes
	6d	6.4	Direccionamiento de los flejes No direcciona los flejes
Enrollador	7a	7.1	Guiar los flejes No guía los flejes
	7b	7.2	Enrollar los flejes No enrolla los flejes
	7c	7.3	Expulsar los flejes No expulsa los flejes
Brazo de descarga	8	8.1	Descargar las bobinas No descarga las bobinas
Grupo Hidráulico	9	9.1	Subministrar aceite a presión No subministra aceite

4.4.4. Propuesta de codificación y subdivisión para equipos de la línea.

Como se mencionó anteriormente se utilizará parte de la codificación vigente en los activos de la línea para complementar la nueva propuesta, para ello se coloca el código de cada sistema identificado con una descripción y de igual manera para los subsistemas que se muestra en las Tablas 23 y 24.

Tabla 23. Códigos y los sistemas de la línea de corte. [Autores]

Nomenclatura de sistemas en la cortadora	
Código	Descripción
CR	Carro de carga
DS	Desenrollador Centrable
CC	Mesa de entrada con guías de centrado, rodillos de tiro y cizalla guillotina
MC	Cizalla circular fija
RV	Recogedor de virutas
PF	Prensa de frenado
EN	Enrolladora
BD	Brazo de descarga
GH	Central hidráulica

Tabla 24. Nomenclatura de los subsistemas. [Autores]

Nomenclatura se subsistemas	
Código	Descripción
TR	Transmisión de potencia
EL	Elevación
FR	Frenado
AD	Admisión
CM	Compresión
DS	Desenrollado
AC	Aceite
CE	Centrado
CT	Corte
MN	Montaje
EN	Enrollado
ED	Enderezado
EX	Expulsión
DE	Descarga
SP	Separación
BM	Bombeo
MT	Monitoreo
CL	Control

Una vez definido el sistema de codificación, se procede a dividir la maquinaria en subsistemas siguiendo un criterio acorde a la norma ISO 14224:2016, clasificando los equipos de acuerdo a las funciones que cumplen en su respectiva etapa del proceso. Es necesario puntualizar que en la columna denominada “Pos” está indicada la posición exacta de cada elemento en el plano proporcionado por el fabricante. Así mismo, los subsistemas de la línea deben dividirse para alcanzar el nivel más básico de la taxonomía de acuerdo a la teoría mencionada en el punto 2.7. Un ejemplo de la subdivisión realizada se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Subdivisión desenrollador centrable. [Autores]

Ítems mantenibles					
Equipo	Subsistema	Código	Ítem mantenible	Código	Pos.
Desenrollador centrable	Mandrino	AD	Biela de expansión	AD-02	15
			Rodamiento de rodillos a rotula	AD-03	75
			Barra interior de empuje y tiro	AD-04	19
			Mangueras	AD-05	-----
			Cojinete de biela (bujes)	AD-06	14
			Electro válvulas	AD-08	-----
	Freno neumático	FR	Plato de freno	FR-01	22
			Electro válvulas	FR-02	-----
			Zapatillas	FR-03	70
			Mordaza	FR-04	70
			Pastillas de freno	FR-05	70
			Diafragma	FR-06	70
	Centrador de bobinas	CE	Cilindro centrador	CE-01	52
			Mangueras	CE-02	-----
	Desenrollador	DS	Motor	DS-01	33
			Reductor	DS-02	33
			Piñón de ataque	DS-03	36
			Engrane arrastre rodillo	DS-04	37
			Rodillo introductor (Rodillos)	DS-05	34
			Rodamiento rígido	DS-06	74
Cojinetes de pivote delantero y trasero			DS-07	42 43	
Cilindro introductor			DS-08	58	
Mangueras			DS-09	-----	
Electro válvula			DS-10	-----	

4.4.5. Determinación de modos de falla

Una vez definidas las condiciones ideales de trabajo de los equipos de la línea, establecido las funciones del sistema y codificado los ítems mantenibles más relevantes, se puede dar inicio a la determinación de los modos y efectos de falla, es decir, se establece cómo los sistemas involucrados dejan de cumplir con sus funciones. Para establecer lo mencionado, el análisis AMEF determina qué modos de falla se pueden producir, los efectos potenciales sobre la línea y las posibles causas

que lo producen, toda la documentación y parámetros usados para la elaboración de las tablas se encuentran detalladas en el marco teórico.

En primer lugar, luego de definir todos los posibles modos de falla para los elementos más importantes escogidos durante la codificación, se define los modos con los valores más altos de RPN siguiendo los parámetros propuestos en las tablas 1-2 antes de plantear una tarea de mantenimiento, algunos resultados de este análisis se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Modos de falla y su RPN. [Autores]

Etapas del proceso	Modo potencial de falla	Elemento	Código	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Carro de carga							
Elevación de las bobinas desde el muelle	Fuga de aceite	Pistón de elevación	CR-EL-01	7	5	8	280
Transporte de las bobinas hasta el desenrollador	Fractura y deformación de los dientes	Piñón-Corona	CR-TR-04	8	5	8	320
	Deformación y fracturas	Rodamientos de rodillos a rotula de las ruedas	CR-TR-05	7	2	9	126
	Desgaste	Rueda	CR-TR-06	7	2	9	126
Desenrollador centrable							
Expansión de las aletas	Ruptura de la barra	Barra interior de empuje y tiro	DS-AD-04	7	5	6	210
Frenado	Perforación	Diafragma	DS-FR-06	7	5	6	210
	Desgaste desigual	Pastillas de freno	DS-FR-05	7	5	4	140
Desenrollado	Deformación y fracturas	Rodamiento de rodillos a rotula	DS-AD-03	8	4	5	160

A continuación, los modos de falla escogidos con el criterio RPN se utilizan para plantear tareas de mantenimiento, siguiendo la lógica MCC propuesta en la metodología y con la experiencia del personal del departamento de mantenimiento. Los resultados de la propuesta se presentan en la Tabla 27 y corresponde a una versión resumida del documento entregado a TUGALT.

Tabla 27. Cuadro de AMEF. [Autores]

AMEF de maquinaria de la línea de corte de flejes						
Línea: SLITTER			Preparado por:			
Responsable:			Fecha:			
			Revisión:			
Función del equipo	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de la falla	Elemento	Código	Tarea de mantenimiento
Desenrollador centrable						
Expansión de las aletas	No expande las aletas	Ruptura de la barra	las aletas no se expanden	Barra interior de empuje y tiro	DS-AD-04	Inspección de fisuras, corrosión, deformación y picaduras (análisis tintas penetrantes)
Frenado	Frena la bobina de forma anormal	Perforación	Pérdida de capacidad de frenado en caliente	Diafragma	DS-FR-06	Comprobación de ausencia fugas
		Desgaste desigual		Pastillas de freno	DS-FR-05	Revisión del desgaste y reemplazo de pastillas
Desenrollado	No desenrolla la bobina	Deformación y fracturas	El mandrino gira de forma anormal y puede causar desgaste y ruptura de otros elementos del tambor	Rodamiento de rodillos a rotula	DS-AD-03	Inspección del rango de nominal de vibraciones (monitoreo con vibrómetro)
Mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina						
Tiro	No tira de la banda	Deformación y fracturas	Desgaste y posterior ruptura del acople del rodillo con el cardán	Rodamiento de los rodillos	CC-TR-09	Inspección del rango de nominal de vibraciones (monitoreo con vibrómetro)
						Flushing

Continuación. **Tabla 27**

Cizalla circular fija						
Corte de banda en flejes	No realiza el corte	Ruptura en cruceta	Desacople del cardan posible accidente para el operador	Cardán completo	MC-TR-07	Comprobación de ausencia de holgura en la cruceta
		Deformación de los dientes	No frena	Excéntrica del castillete fijo	MC-FR-02	Comprobación de giro de la palanca
		Ruptura de los dientes	No se puede montar los ejes, impide el corte	Rueda conductora del castillete móvil	MC-MN-04	Flushing
		Deformación y fracturas	Deformación del eje de las cuchillas	Rodamientos rodillos cónicos	MC-CT-04	Inspección del rango de vibraciones (monitoreo con vibrómetro) Flushing
		Deformación y fracturas	El eje de las cuchillas vibra	Rodamiento del castillete móvil	MC-MN-07	Inspección de ausencia de vibraciones (monitoreo con vibrómetro) Flushing
		Sobrecalentamiento de aceite	Desgaste de ruedas dentadas	Reductor	MC-TR-05	Análisis tribológico
		Prensa de frenado				
Tensionar los flejes	No tensiona Los flejes	Perforación de la vejiga	Las platinas no se elevan	Vejiga neumática	PF-FR-02	Limpieza de limallas en platinas
Direccionar los flejes hacia el enrollador	No direcciona los flejes	Desalineación del acople	El rodillo móvil no revoluciona	Acoplamiento tipo DK del Dinamotacométrica	PF-ED-08	Comprobación manual de desgaste de estrella elástica

Continuación. **Tabla 27**

	Direcciona los flejes de forma anormal	Deformación y fracturas	Movimiento restringido de los rodillos	Rodamiento de los rodillos deflectores	PF-ED-09	Flushing
Enrollador de flejes						
Guía de flejes	Guía de forma anormal	Deformación y fracturas	Ruptura de elementos del brazo	Rodamiento del brazo	EN-SP-01	Flushing
Enrollado de flejes	No enrolla los flejes	Ruptura de los dientes	Las aletas no se expanden	Rueda conductora de expansión	EN-EN-02	Inspección de fisuras, corrosión, deformación y picaduras (análisis tintas penetrantes)
		Deformación y fracturas	El Mandrino no gira	Rodamientos axiales del tambor	EN-EN-01	Inspección de fisuras, corrosión, deformación y picaduras (análisis tintas penetrantes)
		Deformación	Ruptura del eje	Rodamiento del motor	EN-TR-10	Inspección y lubricación
		Estator quemado	Desgaste del recubrimiento	Estator	EN-TR-11	Prueba de megado
		Sobrecalentamiento de aceite	Desgaste de ruedas dentadas	Reductor	EN-TR-06	Análisis tribológico
Brazo de descarga						
Descarga	No descarga los flejes	Deformación y fracturas	El brazo no gira	Corona RHOTE ERDE	BD-DE-02	Flushing

Continuación. **Tabla 27**

Grupo hidráulico						
fuerza y movimiento mediante presión	No envía presión de aceite por las mangueras	Fuga en la manguera	No bombea el fluido a presión a los equipos	Tuberías de succión y desfogue	GH-BM-03	Ajuste e inspección de acoples de tuberías
		Desgaste de los engranes	Ruptura de los dientes	Bomba de engrane		GH-BM-02
Tableros de control						
Controles del enrollador y cizalla circular fija	Tarjeta de potencia del variador quemado	Aumento del valor nominal de corriente	Enrollador no funciona	Tarjeta de potencia	TC-CL-01	Termografía infrarrojo
		Estática en los componentes electrónicos	Enrollador no funciona			Limpieza de polvo con brochas y guantes antiestáticos
	Variador quemado	Vibración en la inductancia por chapa metálica floja	Discontinuidad del voltaje quema la tarjeta de potencia del variador e inutiliza al enrollador o a la cizalla	Chapa metálica	TC-CL-02	Verificación de ajuste de tornillos y ausencia de deterioro
	Contactador principal quemado	Aumento de resistencia y caída de tensión	Enrollador o cizalla no funcionan	Contactos	TC-CL-03	Termografía infrarrojo
Control y memoria general de la línea	Controlador desprogramado o bloqueado	Cambio brusco de voltaje	Paro de la línea	Tarjeta	TC-CL-04	Inspección de los valores nominales soportados
	Controlador inutilizado	Modulo quemado	Paro de la línea	Modulo	TC-CL-05	Termografía infrarrojo

4.5. Resultados de la propuesta.

Codificación de elementos: Se subdividieron los equipos de la línea en subconjuntos e ítems mantenibles de acuerdo a la función que cumplen en el sistema de acuerdo a la metodología propuesta en la norma ISO 14224:2016. Además, se relacionaron los códigos propuestos en la investigación con los números de identificación de elementos en los planos proporcionados por el fabricante.

Elementos críticos escogidos para mantenimiento: Ya concluido el análisis AMEF y determinado los ítems con el RPN más alto, se escogió varios elementos distribuidos entre los equipos de la línea, cuyos modos de falla pueden afectar significativamente al funcionamiento general del sistema dando un total de 37 ítems mantenibles. (Tabla 28)

Tabla 28. Ítems mantenibles escogidos para mantenimiento. [Autores]

Equipo	Ítems mantenibles
Carro de carga	4
Desenrollador centrable	4
Mesa de entrada con cizalla guillotina	3
Cizalla circular fija	8
Prensa de frenado	3
Enrollador	6
Brazo de descarga	1
Grupo hidráulico	3
Tablero eléctrico	6
Total	37

Tipo de mantenimiento: Se logró establecer una estrategia de mantenimiento siguiendo la lógica propuesta en la metodología RCM, para escoger acciones que permitan amortiguar los modos de falla en función de sus efectos en la línea. Además, se contó con la asesoría del grupo multidisciplinario para valorar las tareas propuestas.

Frecuencia de mantenimiento: Para establecer la frecuencia de las tareas propuestas, fue necesario la experiencia de los técnicos mecánicos para expresar las acciones de mantenimiento en horas de trabajo y distribuir el tiempo de forma equilibrada, a través

de todo el año para evitar sobrecarga de trabajo y asegurar que se cumplan todas las actividades de mantenimiento presentadas en la investigación, como se observa en la Tabla 29.

Tabla 29. Frecuencia de mantenimiento. [Autores]

Mes	Tiempo
Enero	5,49
Febrero	5,16
Marzo	5,48
Abril	5,66
Mayo	4,16
Junio	8,16
Julio	5,49
Agosto	5,32
Septiembre	8,98
Octubre	6,16
Noviembre	5,16
Diciembre	10,16
Total	75,38

5. CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS.

La ejecución de la propuesta analizada en este proyecto, implica un impacto técnico-económico en la administración de la línea. Por consiguiente, se debe detallar los beneficios de la reestructuración de los planes de mantenimiento que se han ejecutado hasta este momento en la línea de corte de flejes. Además como se ve reflejado en capítulos anteriores, existen elementos en el sistema con acceso limitado que dificultan la detección oportuna de posibles fallas y posterior mantenimiento, además de la existencia de componentes que tardan varios meses en adquirirse para su reposición en caso de una falla, afectando directamente en la fabricación de productos en la empresa y pudiendo ocasionar grandes pérdidas por costo de oportunidad por cada hora que se encuentre interrumpida la producción de flejes (825 dólares/hora aproximadamente). [51]

5.1. Costos actuales de mantenimiento.

Para determinar la rentabilidad económica del nuevo plan de mantenimiento, es ineludible realizar la proyección de costos de mantenimiento, para ello, se toman datos reales proporcionados por Tugalt para efectuar las estimaciones necesarias. Los resultados de estas valoraciones serán utilizados como punto de comparación al momento de cuantificar los

beneficios de la propuesta. Como punto de partida para la determinación de beneficios, es necesario la compilación de datos relevantes para la proyección, por consiguiente, se determina los costos actuales de mantenimiento que comprenden factores como:

- Costos de mantenimiento correctivo
- Costos por mantenimiento preventivo

La metodología MCC recomienda el uso de datos fiables de los últimos dos años para la ejecución de su filosofía, de igual forma se usa un periodo de tiempo similar a la mencionada para las proyecciones en este apartado, que comprende desde enero del 2017 hasta febrero del 2019, fecha en que se dio por culminado la recepción de datos para la elaboración de este proyecto.

5.1.1. Costos de mantenimiento correctivo.

En esta sección se analiza el costo que generaron las fallas en la línea durante la producción y las horas de parada que provocaron hasta su reparación. Un ejemplo de lo descrito se observa en el Anexo 2 donde se muestra los costos de mantenimiento correctivo del año 2018. El costo total anual obtenido por mantenimiento correctivo se muestra en la Tabla 30, se incluye una columna con los datos del promedio mensual para un mejor contraste puesto que para el año 2019 se analiza solo hasta febrero.

Tabla 30. Costos anuales por mantenimiento correctivo. [48]

Costo de mantenimiento correctivo		
Año	Costo total (\$)	Promedio mensual (\$)
2017	156.27	13
2018	975.08	81.25
2019	349.68	174.84

Algunas observaciones que se encontraron durante la captación de datos para este análisis, es el costo cero de algunos elementos que fueron reemplazados durante el mantenimiento correctivo, como los drives o motores eléctricos que se encuentran amortizados en las ordenes de trabajo. Por lo tanto, el valor del mantenimiento se reduce considerablemente en la orden, de un costo aproximado de 6000 dólares por drive (dato proporcionado por el departamento de mantenimiento) a un costo cero, esto provoca que el precio de mantenimiento se vea reflejado únicamente en la mano de obra. [51]

5.1.2. Costos por mantenimiento preventivo.

Para tener una visión más clara sobre el costo de mantenimiento real de la empresa en la línea de corte de flejes, se determina la carga económica que representa las acciones preventivas programadas por el departamento de mantenimiento en los mismos periodos de tiempo que se analizó el mantenimiento correctivo. Un ejemplo de lo descrito se muestra en el Anexo 3, donde se refleja todas las tareas ejecutadas. Con esta información se determina el costo total por año y el promedio mensual del gasto por mantenimiento preventivo. Es preciso señalar que algunos de estos valores son manejados por el departamento de mantenimiento sin considerar el costo de las piezas de recambio que tenían en bodega y que fueron amortizados hasta llegar a un valor cero al momento de realizar la orden de trabajo. Por tal motivo los valores se reducen considerablemente hasta llegar los mostrados en la Tabla 31.

Tabla 31. Promedio mensual y costo anual de mantenimiento preventivo. [48]

Año	Costo total (\$)
2017	523.32
2018	1838.29
2019	2.15

5.1.3. Proyección de costos de mantenimiento con datos históricos.

En este apartado se determinan el costo que puede enfrentar el departamento de mantenimiento si los modos de falla continúan con la tendencia actual. Para realizar las estimaciones se realizan dos métodos donde interviene la función de predicción de Excel y la fórmula encontrada con la línea de tendencia. El resultado de las proyecciones se puede observar en la tabla 32.

Tabla 32. Proyección de costos de mantenimiento con datos históricos. [Autores]

Descripción	Valor (Dólares)
Pronostico con función de predicción	9900
Pronostico con línea de tendencia	8800

5.2. Costo de la propuesta.

En el desarrollo de la metodología MCC para la línea, se pudieron identificar los elementos más críticos del sistema, así como las causas más probables para que suceda la falla, con esta información se logra proponer actividades de mantenimiento para mitigar sus efectos en el proceso de producción. Estas actividades generan un costo por concepto de horas hombre que hay que definir de acuerdo al tiempo que toma realizar cada acción de mantenimiento, al número de personal necesario para su ejecución, las veces por año que se soliciten y los posibles insumos que pudiesen ser necesarios.

5.2.1. Costo de actividades.

Muchas de las actividades que se proponen en el proyecto, son similares a acciones de mantenimiento que son realizadas o fueron ejecutadas alguna vez por el personal técnico de Tugalt, por lo tanto, fue necesario la experiencia del departamento de mantenimiento para plantear un tiempo tentativo de ejecución para cada acción propuesta, al igual que los posibles insumos necesarios. Con los valores adquiridos se realizó un análisis de los posibles costos anuales de la propuesta, multiplicando horas totales por año por el precio por hora de un técnico en Tugalt (5.40 dólares/hora) para luego sumar este valor al costo anual de los insumos. Un ejemplo del cálculo de este costo se presenta en la Tabla 33.

Tabla 33. Costo de actividades propuestas para el carro de carga. [Autores]

Descripción de actividad	Responsable	Tiempo de ejecución (horas)	Veces al año	Horas totales por año	Número de personal necesario	Costo anual de actividad (\$)	Insumos	Costo total de insumos por año	Costo total anual (\$)
Carro de carga									
Limpieza de vástago e inspección de ausencia de fugas	Mecánico	0,7	2	1,4	1	7,42	Desengrasante industrial	5	9,3
							Guaipe	0,3	
							Lubricante	4	
Comprobación de ausencia de picaduras	Mecánico	4	1	4	2	21,2	-	-	21,2
Cambio de rodamientos	Mecánico	10	1	10	3	53	Rodamientos de rodillos a rotula	400	405
							Lubricante	3	
							Anticorrosivo	2	
Revisión de desgaste y reparación de ruedas	Mecánico	8	2	16	3	84,8	Rectificado (2horas)	17	18
							Electrodos (4)	1	

Los datos determinados de toda la línea a partir de la tabla anterior reflejan dos valores importantes que varían entre sí y que son:

- Costo total de las actividades de mantenimiento sin cambio de piezas
- Costo total de las actividades de mantenimiento con cambio de piezas

Estos costos son importantes para determinar un valor mucho más realista del proyecto, puesto que, para el momento de proponer las actividades de mantenimiento no se conoce con exactitud el estado físico de los ítems o si precisan

un remplazo, siendo este último caso el más desfavorable, pues eleva el costo de mantenimiento. Por lo tanto, se realiza un promedio entre estos dos valores y se obtiene un costo más real, como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Costos totales y promedio de actividades propuestas por año. [Autores]

Descripción	Precio (\$)
Costo anual de mantenimiento sin cambio de piezas	1.865,59
Costo anual de mantenimiento con cambio de piezas	4.216,59
Promedio total anual de mantenimiento	3.041,09

5.2.2. Costo de capacitación al personal.

Para asegurar una aplicación adecuada del MCC, es necesario dictar una capacitación a todo el personal involucrado en el proceso de producción de la línea de corte, con el objetivo formar un equipo coordinado de trabajo donde todos los miembros manejen la misma información y entiendan los beneficios del proceso de adaptación que demanda la metodología.

La empresa tiene profesionales capacitados en la metodología MCC que pueden proveer de toda la información necesaria para facultar a los involucrados en el mantenimiento de la línea, como es el caso del jefe de mantenimiento de la empresa. El costo de una actividad de capacitación técnica por parte de un interno de la empresa no tiene una remuneración económica, sin embargo, se considera un valor supuesto de un expositor en caso de necesitarlo. Las reuniones de capacitación generan costos de insumos, como se puede observar en la Tabla 35.

Tabla 35. Costos por reuniones y capacitación del personal involucrado. [Autores]

Descripción de insumos	Días requeridos	Unidades requeridas	Precio unitario (\$)	Costo total de insumo
Refrigerio	2	14	1,75	94,5 \$
Copias de guía RCM	1	14	3,50	49 \$
Marcadores	1	4	1,5	6 \$
Costo total				149,5 \$

Además, debido a la dificultad que suele presentarse para la coordinación de horarios disponibles de todo el personal involucrado para la capacitación, será necesario contratar horas extras, los costos generados por esta actividad se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Costos por contratación de horas extras. [48]

Número de personal involucrado	Descripción	Número de horas extra	Valor hora normal de trabajo (dólares)	Valor de horas extra (dólares)	Pago de horas extra por reunión
2	Supervisor de mantenimiento	8	3,09	3,25	26 \$
1	Técnico Mecánico	4	2,85	2,81	11,24 \$
1	Programador de mantenimiento	4	5,35	5,62	22,48 \$
1	Jefe de mantenimiento	4	8,92	9,37	37,48 \$
11	Técnico de mantenimiento	44	1,87	2,81	123,64 \$
1	Auxiliar de mantenimiento	4	2,08	3,12	12,48 \$
Total					233,32 \$

Los costos totales por capacitación del personal en la metodología MCC se pueden apreciar en la Tabla 37.

Tabla 37. Costos totales por capacitación. [Autores]

Descripción	Valor (\$)
Costo del expositor	1600 \$
Costo de insumos	149.5 \$
Costo total de horas extra del personal	233.32 \$
Costo total	1982.82

5.3. Beneficios económicos

Para determinar los beneficios económicos que representa la implementación de las acciones de mantenimiento propuestas, es necesario realizar una proyección de los costos de mantenimiento que la empresa podría enfrentar si los modos de falla suceden en el tiempo estimado en el análisis AMEF, en contraste con el costo que se genera con la implementación de la nueva filosofía. Además, se incluye el estudio de los beneficios en el costo de oportunidad perdido en la empresa que tiende a aumentar en los últimos años.

5.3.1. Proyección de costos de mantenimiento por modos de falla.

En este apartado se determina la proyección de los costos de mantenimiento para la línea en los próximos dos años, por consiguiente, es necesario tomar los datos obtenidos en los puntos anteriores para tener una base histórica donde iniciar las estimaciones para posteriormente adjuntar el costo de los posibles modos de fallo que se pueden presentar en dos escenarios posibles. El resumen de los costos generados por mantenimiento en la línea hasta febrero de 2019 se puede apreciar en la Tabla 38.

Tabla 38. Resumen de costos de mantener la línea de corte. [48]

Año	Costo anual por mantenimiento correctivo	Costo anual por mantenimiento preventivo	Costo total anual de mantenimiento
2017	156.27	4095.73	4252
2018	975.08	2626.92	3602
2019	349.68	6866.32	7216

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, se puede generar dos curvas que contrasten los distintos escenarios propuestos para este análisis, un escenario optimista y pesimista. Para realizar las estimaciones propuestas, primero se necesita estimar los costos de cada modo de falla, enfocándose en los mismos rubros que considera el departamento de mantenimiento al momento de valorar el precio de una orden de trabajo. Los modos en que se produce una falla en un equipo tienen distintas repercusiones en un sistema tanto técnicas como económicas dependiendo de su gravedad y función en el sistema, por consiguiente, se consideran parámetros como:

- 1. Costo de elementos:** Es un valor muy subjetivo puesto que depende de cada fabricante, además se debe considerar si es necesario que el elemento se importe o deba construirse entre otras consideraciones. Algunos elementos ya se encontraban en la base de datos de Tugalt.
- 2. Costo de mano de obra:** Representa la remuneración económica por hora que recibe el personal técnico de mantenimiento, por lo tanto, el tiempo de reposición de un elemento es proporcional al costo de la mano de obra.
- 3. Tiempo de fabricación:** Algunas piezas de los equipos deben ser construidos en el área de mecanizado de la fábrica, lo que repercute en costos de hora/máquina, el precio dependerá del tiempo de fabricación de cada pieza.

4. **Costo de hora máquina:** Cuando el elemento se fabrica en las instalaciones de mecanizado de Tugalt se puede estimar el costo de fabricación, depende del tipo de máquinas usadas y el tiempo de uso.
5. **Costo total de reparación:** En este punto se suman tanto el costo del elemento o su costo de fabricación y valor de la mano de obra.

Con los parámetros establecidos, se evalúa las estrategias que se podrían tomar para cada modo falla en caso de que sucediesen para luego calcular la proyección del costo que se genera, un ejemplo del análisis pesimista realizado se muestra en la Tabla 39. Para el análisis pesimista se considera todos los posibles modos de fallo analizados en la fase del AMEF, sin embargo, para el enfoque optimista se obvian todas las fallas cuyo RPN no llegue a un valor superior de doscientos.

Tabla 39. Proyección de costos de reparación para el desenrollador. [Autores]

Desenrollador Centrabale									
Modo de falla	Elemento	Acción de mantenimiento	Costo de elemento (\$)	T. de reparación (horas)	Costo mano de obra (\$)	Costo de hora máquina	T. de fabricación (horas)	Costo total de construcción (\$)	Costo total de reparación (\$)
Ruptura	Barra interior de empuje y tiro	Construcción	250	10	53	30	16	480	783
Perforación	Diafragma	Cambio	200	2	10,6	0	0	0	210,6
Desgaste desigual	Pastillas de freno	Cambio	30	1	5,3	0	0	0	35,3
Deformación y fracturas	Rodamiento de rodillos a rotula	Cambio	5000	12	63,6	0	0	0	5063,6

Con estos datos se calcula los precios proyectados para todos los posibles modos de falla en la línea como se muestra en la Tabla 40. La versión extendida del cuadro anterior se encuentra en el Anexo 5.

Tabla 40. Proyección de costos de modos de falla en los próximos años. [Autores]

Máquina	Costo de modo de falla (Pesimistas)	Costo de modo de falla (Optimista)
Carro de carga	656,9	266,5
Desenrollador centrable	6.092,50	993,6
Mesa de entrada con cizalla guillotina	71,2	71,2
Cizalla circular fija	6.030,10	5238,3
Prensa de frenado	798,3	555,3
Enrollador de flejes	6304	6304
Brazo de descarga	5.190,80	0
Grupo Hidráulico	1.591,80	1510,6
Tableros de control	7.900,7	4858,3
Total	34,636.30	19,797.8

Con las proyecciones establecidas de los costos de mantenimiento se puede generar una comparación de los beneficios económicos que representa la propuesta, evaluando la reducción del costo de mantener la línea en los mismos escenarios optimista y pesimista.

En el enfoque optimista se puede considerar que todas las tareas de mantenimiento serán efectivas si se realizan en el periodo de tiempo establecido y se utilizan las herramientas adecuadas. Para dar un enfoque pesimista a las acciones de mantenimiento propuestas, no se consideran todas aquellas que intervenga únicamente el factor humano como inspecciones visuales, comprobaciones manuales o limpieza de elementos, y se da prioridad a las tareas donde interviene instrumentos de precisión como monitoreo con vibrómetro, análisis de infrarrojo, análisis tribológico entre otros. Tomando estos datos se obtiene como resultado la proyección de costos de modos de falla reflejados en la Tabla 41.

Tabla 41. Costo de modos de falla con propuesta. [Autores]

Máquina	Costo de modo de falla con propuesta (Pesimista)
Carro de carga	402,4
Desenrollador centrable	245,9
Mesa de entrada con cizalla guillotina	0
Cizalla circular fija	256,5
Prensa de frenado	666,5
Enrollador de flejes	123,6
Brazo de descarga	0
Grupo Hidráulico	81,2
Tableros de control	4842,4
Total	6618,5

Con estos datos se puede generar una gráfica comparativa de los distintos costos de mantenimiento que puede enfrentar el departamento de mantenimiento en los próximos 2 años. Todos los valores mostrados en Grafico 4 toma como referencia el pronóstico con datos históricos de la empresa para evaluar los beneficios.

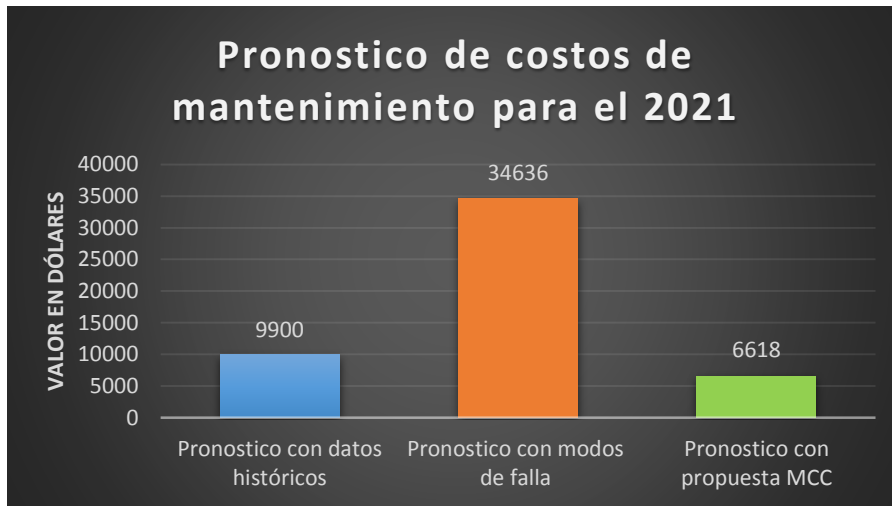


Gráfico 4. Proyección de costos de mantenimiento por modos de falla. [Autores]

5.3.2. Costo de oportunidad perdido por mantenimiento correctivo

El costo de oportunidad son todos los beneficios económicos que la empresa podría haber percibido con la producción de flejes y que se perdió con la aparición de fallas que condujeron a paradas no programadas durante la producción. Como ya se ha mencionado en puntos anteriores, el gasto recurrente de una hora de parada en la producción de la fábrica representa un estimado de 825 dólares/hora, por lo tanto, se realiza una multiplicación de este valor por las horas de parada de los últimos años, los resultados de estas operaciones se reflejan en la Tabla 42, donde se puede observar un claro incremento en la pérdida de costo de oportunidad provocado por mantenimiento correctivo en la línea.

Tabla 42. Costo de oportunidad perdido por mantenimiento correctivo. [Autores]

Año	Horas de parada	Costo por hora de parada (\$)	Costo de oportunidad perdido (\$)
2017	7,66	825	6.319,5
2018	21,41	825	17.633,25
2019	28	825	23.100,00

Como se parecía en la tabla anterior, la pérdida de este costo ha ido en aumento en los últimos años y se proyecta que la tendencia se mantenga. Es por ello que se realizó una estimación de los valores esperados en el 2021 con los datos proporcionados por la empresa y el uso del software Excel para trazar una línea de

tendencia. Con este método se determinó una ecuación polinómica de segundo orden para estimar las horas de parada esperadas como se observa el Grafico 5, los datos determinados servirán para calcular la pérdida de costo de oportunidad.

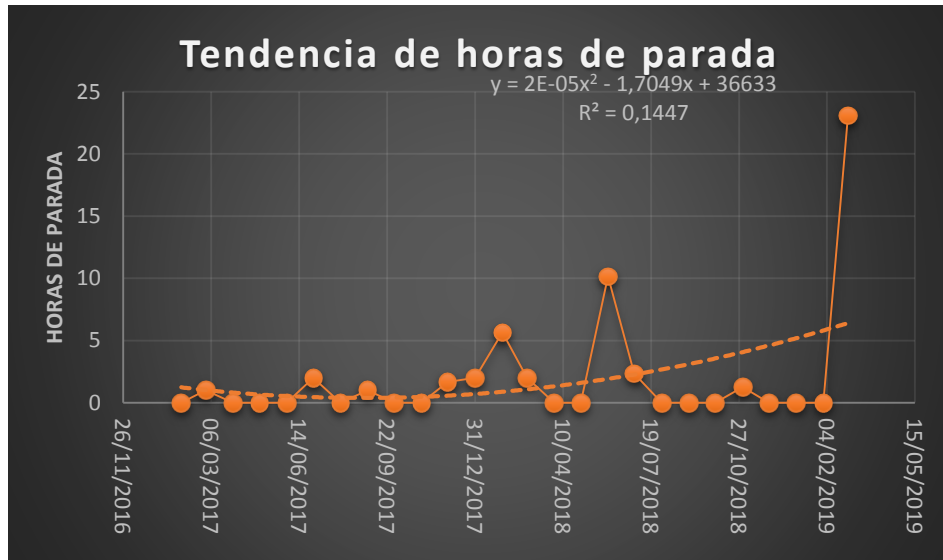


Gráfico 5. Línea de tendencia para horas de parada no programada. [Autores]

A continuación, con la determinación de la ecuación se estima finalizar febrero del 2021 con un valor de 65 horas de parada, esto representa un costo perdido de oportunidad de 54000 dólares aproximadamente.

5.3.3. Proyección de costos de oportunidad perdido por modos de falla

Los modos de falla también pueden generar pérdidas de costo de oportunidad si llegasen a ocurrir, por concepto de tiempo perdido de producción durante la puesta a punto. Para este análisis se utilizó los conceptos de:

Tiempo de reparación: Aspectos como ubicación, anclaje, insumos o personal especializado influyen en tiempo que le lleva al personal técnico y administrativo dejar al elemento que presentó la falla en estado operativo y a excepción de los tableros eléctricos no puede ser mayor a 10.9 horas, puesto que los turnos nocturnos para mantenimiento correctivo no son considerados como perdida de producción para la empresa, tampoco los días posteriores al evento en que se suscitó la falla, puesto que el personal reprograma la producción hasta que culmine con la puesta a punto de los equipos.

Costo total perdido de oportunidad: En este punto se multiplica las horas de parada de producción (que es equivalente al tiempo de reparación) por 825 dólares/hora para determinar el costo de oportunidad que se perdió por cada modo de falla. Un ejemplo de todo lo anterior mencionado se refleja en la Tabla 43.

Tabla 43. Posibles tiempos de parada de producción para el carro de carga. [Autores]

Carro de carga					
Modo de falla	Tiempo de reparación (Horas)	Número de ocurrencias al año	Tiempo de parada en dos años (Horas)	Costo por hora de parada (\$)	Costo total en dos años (\$)
Fuga de aceite	2	2	8	825	6600
Fractura y deformación de los dientes	3	1`	12	825	9900
Deformación y fracturas	5	0	5	825	4125
Desgaste	3	0	3	825	2475

Con la información proporcionada en la tabla anterior se calcula una proyección del costo de oportunidad perdida por modos de falla con dos escenarios, como se muestra en la Tabla 44. Los escenarios se realizan con las mismas consideraciones en el análisis de “costos de modos de falla con propuesta”, es decir, para el costo de oportunidad perdido con propuesta no se contemplan las acciones de mantenimiento que no intervengan instrumentos de precisión, como limpieza e inspecciones.

Tabla 44. Proyección de costos de oportunidad perdida por modos de falla. [Autores]

Costo de oportunidad perdido por modos de falla		
Equipo	Sin propuesta	Con propuesta
Carro de carga	8267	9900
Desenrollador centrable	19800	6600
Mesa de entrada	6600	0
Cizalla circular fija	18150	8250
Prensa de frenado	1650	1650
Enrollador de flejes	118800	9900
Brazo de descarga	0	0
Grupo hidráulico	3300	3300
Tableros de control	18150	0
Total	194700	39600

El producto de la elaboración de la tabla anterior, son los datos obtenidos de las horas de parada en la línea que se reducen como se observa en la Tabla 45.

Tabla 45. Horas de parada por modos de falla. [Autores]

Horas de parada por modos de falla		
Equipo	Horas de parada proyectado sin propuesta	Horas de parada proyectado con propuesta (Enfoque pesimista)
Carro de carga	5	12
Desenrollador centrable	12	8
Mesa de entrada	4	0
Cizalla circular fija	11	10
Prensa de frenado	1	2
Enrollador de flejes	72	12
Brazo de descarga	0	0
Grupo hidráulico	2	4
Tableros de control	11	0
Total	118	56

5.4. Beneficios técnicos de la propuesta.

Para evaluar los beneficios técnicos de esta propuesta es preciso recurrir a la información encontrada en la fase de diagnóstico, donde se ve reflejado que uno de los principales problemas es el aumento del número de ocurrencias de fallas en la línea en los últimos años. Esta tendencia se ve manifestado directamente en el indicador MTBF, por consiguiente, se debe demostrar cómo afecta la propuesta de forma positiva en este indicador. Para lograr este objetivo es necesario obtener valores de referencia con los datos reales que se generaron en la línea y determinar una curva de tendencia para el mismo periodo de tiempo que se analizó los beneficios económicos.

En la generación de la curva del indicador MTBF durante la fase de diagnóstico, se encontraron irregularidades que pueden afectar las estimaciones que se realizarán en este apartado, mismas que se explicaron en el punto 3.3.10. Estas alteraciones provocan que la curva de tendencia se precipite a valores muy bajos y poco realistas a la situación que enfrenta el departamento de mantenimiento actualmente, por lo tanto, se reduce el rango de toma de datos históricos de la línea de corte, iniciando desde diciembre del 2017, fecha en la cual la curva se empieza a estabilizar. El resultado de la curva de tendencia se aprecia en el Grafico 6.

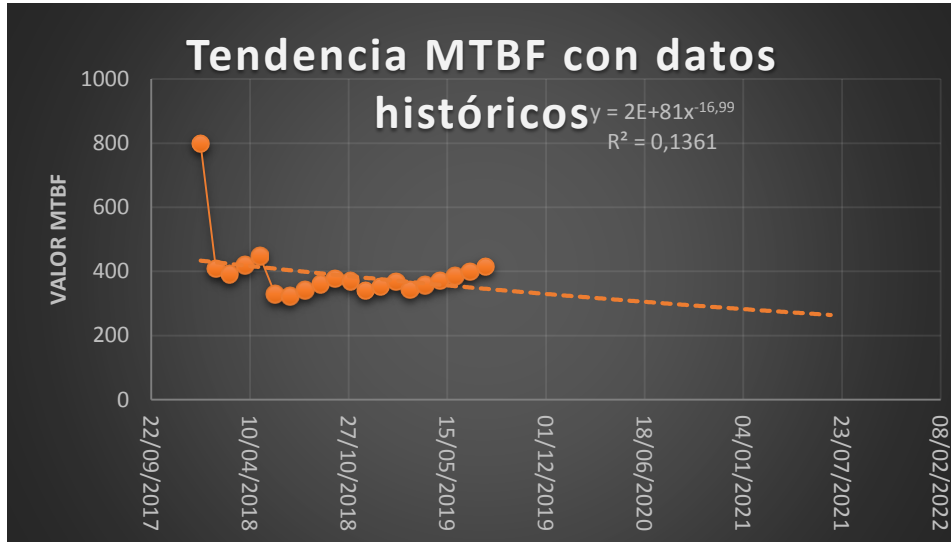


Gráfico 6. Tendencia MTBF con datos históricos de la línea. [Autores]

Para proyectar los valores MTBF con la propuesta es preciso calcular dos escenarios que contrasten el beneficio de la implementación de la nueva filosofía de mantenimiento estas consideraciones son:

- Proyección del MTBF con modos de falla
- Proyección del MTBF con propuesta de mantenimiento

5.4.1. Proyección de MTBF con modos de falla.

Para obtener una proyección del MTBF, es preciso remitirse a los datos obtenidos en el análisis AMEF sobre la frecuencia de falla. En este apartado se indica entre otras cosas la escala de evaluación para cada modo de falla según su probabilidad de ocurrencia. Esta escala se usa para para determinar cuántos modos de fallo ocurren en un periodo de dos años. Los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 46.

Tabla 46. Numero de ocurrencia de fallas proyectadas en dos años. [Autores]

Escala de evaluación	Descripción	Modos de falla en la escala	Ocurrencias en dos años
6	1 ocurrencia cada 3 meses	2	16
5	1 ocurrencia cada 6 meses	5	20
4	1 ocurrencia cada año	10	20

Con estos valores se determina la proyección MTBF para los próximos dos años usando la ecuación (2) y (3). Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Proyección MTBF para los próximos dos años. [Autores]

Horas de trabajo al mes	252
Horas de trabajo en 2 años	6048
Proyección de fallas en 2 años	56
Calculo FN (2)	0,009256
Calculo MTBF (3)	108

5.4.2. Proyección de MTBF con propuesta.

Para proyectar los valores MTBF con la propuesta, se toman algunas consideraciones usadas para el análisis económico, es decir, se proyecta la propuesta obviando todas aquellas acciones de mantenimiento que no intervengan instrumentos de precisión para dar una perspectiva más realista a este apartado. Con esta premisa se presentan los resultados en la Tabla 48.

Tabla 48. Número de ocurrencias de fallas proyectadas con la propuesta. [Autores]

Escala de evaluación	Descripción	Modos de falla en la escala	Ocurrencias en 2 años
6	1 ocurrencia cada 3 meses	0	0
5	1 ocurrencia cada 6 meses	2	8
4	1 ocurrencia cada año	0	0
3	1 ocurrencia cada 2 años	2	2

Con estos valores se determina la proyección MTBF para los próximos dos años usando la ecuación (2) y (3). Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 49.

Tabla 49. Proyección MTBF para los próximos dos años con la propuesta. [Autores]

Horas de trabajo al mes	252
Horas de trabajo en 2 años	6048
Proyección de fallas en 2 años	10
Calculo FN (2)	0,001653
Calculo MTBF (3)	604

5.4.3. Cuantificación de beneficios técnicos.

Con los datos adquiridos en las tablas anteriores se puede proyectar los tres valores esperados, evaluados en el mismo periodo de tiempo. La primera columna pertenece a la probabilidad de fallo actual de la línea con los datos reales de la empresa versus la columna generada si los modos de falla llegasen a ocurrir en los próximos años, también se superpone una columna con los valores MTBF formados con el nuevo plan de mantenimiento como se presenta en el Grafico 7.

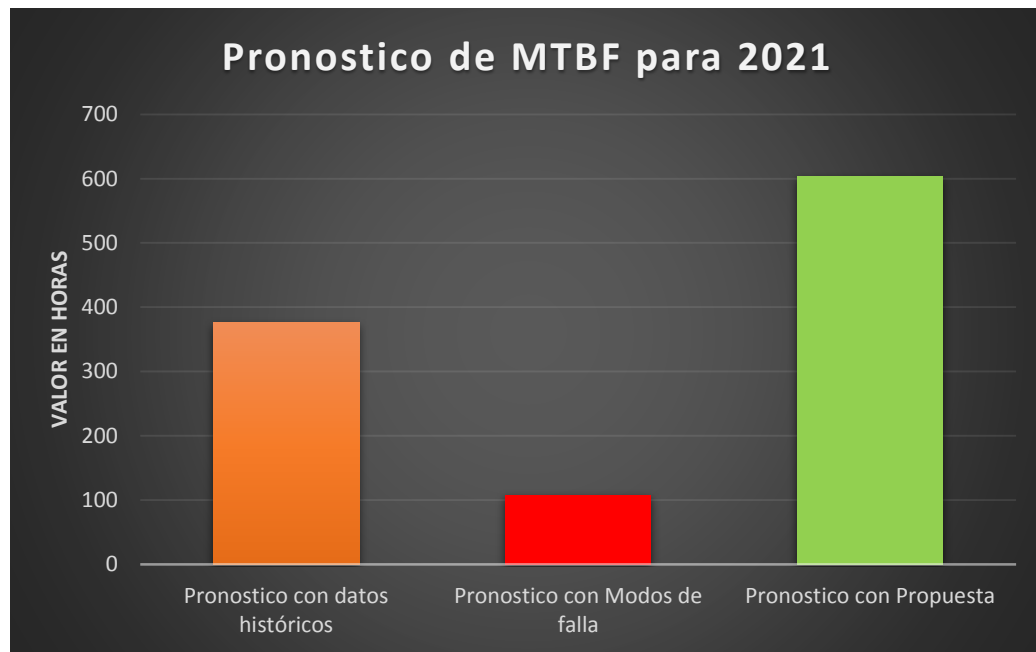


Gráfico 7. Estimaciones de MTBF. [Autores]

5.5. Resultados de la cuantificación de beneficios.

Beneficios económicos: La proyección de costos de mantenimiento para los modos de falla pronosticados en los próximos dos años se reduce de treinta y cuatro mil dólares en un enfoque pesimista a seis mil seiscientos dólares aproximadamente con una inversión promedio de tres mil dólares anuales por concepto de insumos de mantenimiento y mano de obra. A este valor se suma la capacitación de personal con un costo aproximado de mil ochocientos dólares.

Beneficios técnicos: El tiempo medio entre fallas (MTBF) proyectado con la propuesta muestra un incremento frente a la tendencia de datos históricos y la proyección con modos de fallo, del 160% y 559% respectivamente. Este incremento permitirá a la línea de corte trabajar ininterrumpidamente por más horas durante el año.

Beneficios en horas de parada: Las horas de parada pronosticadas con la propuesta muestran un descenso del 47% frente a la proyección con modos de fallo.

Beneficios en costo de oportunidad: Con la propuesta el costo de oportunidad perdido se reduce de 194700 dólares en un enfoque pesimista a 39600 dólares

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones de la fase de diagnóstico.

El diagnóstico del plan de mantenimiento en TUGALT reveló que los esfuerzos para mantener los equipos que conforman la línea de corte se centra en estrategias de lubricación, inspecciones visuales y pruebas eléctricas de elementos superficiales y no advierte los posibles modos de fallo que pudiesen ocurrir en elementos internos que son esenciales para el normal desenvolvimiento del proceso de producción de flejes.

En adición, los indicadores manejados por la empresa para la línea, refleja una clara tendencia de aumento de fallas en los equipos, así como una disminución en el tiempo de reacción del departamento de mantenimiento ante acciones correctivas, fomentado por la carencia de una subdivisión jerárquica de los equipos hasta sus componentes individuales más importantes, especialmente en los tableros eléctricos.

6.2. Conclusiones de la propuesta

Las herramientas del AMEF utilizadas en la fase de la propuesta revelaron varios ítems mantenibles que son considerados críticos, repartidos en los equipos de mayor relevancia en la línea que no fueron considerados en el plan de mantenimiento actual de la empresa, proporcionando un total de 37 elementos, los cuales fueron clasificados y codificados en base a la NORMA ISO 14224:2016.

En adición, utilizando la lógica propuesta por el MCC en los ítems mantenibles más críticos, se propuso estrategias de mantenimiento para reducir los efectos nocivos que tienen los posibles modos de fallo sobre el proceso de producción. Además, se propone una frecuencia de mantenimiento repartido con equidad en todo el año productivo con un promedio de 7 horas mensuales.

6.3. Conclusiones de la cuantificación de beneficios

Los beneficios de las estrategias basadas en el MCC son evidentes, se reduce la pérdida del costo de oportunidad proyectado de 194700 dólares a 39600 dólares hasta octubre de 2021 si los modos de falla llegasen a ocurrir. Además, el tiempo de parada se reduce de un estimado de 118 horas a 56 horas en el mismo periodo de tiempo.

En adición, según los pronósticos realizados, se prevé que la empresa podría llegar a enfrentarse con rubros de más de 34,636.30 dólares por concepto de reparación de fallas y sustitución de elementos dañados si los modos de falla llegasen a ocurrir hasta el 2021, frente a un posible monto reducido de 6,618.5 dólares con la implementación de la propuesta con enfoque pesimista.

El beneficio técnico de la propuesta se puede notar en el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) puesto que la disminución de fallas por año representa menos inversión de repuestos, materiales de mantenimiento y costo de oportunidad perdido. El estimado del valor MTBF si los modos de fallo ocurriesen se estima en menos de 108 horas mientras que con la nueva implementación se prevé un valor de 604 horas para el año 2021 mejorando también la proyección de 376 puntos con historiales de la empresa.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar el sistema de informe y adquisición de datos de los técnicos mecánicos y eléctricos, puesto que las inconsistencias encontradas en las órdenes de trabajo y la falta de información en las descripciones de las actividades efectuadas por los técnicos, dificultan la recolección de datos fiables para la elaboración la propuesta y trabajos futuros.
- Se recomienda la adquisición de los elementos presentados en el anexo 6, para reducir el tiempo de intervención en el mantenimiento correctivo de elementos críticos.
- Se recomienda realizar un análisis MCC con enfoque eléctrico en los tableros de control de la línea
- Se recomienda extender esta investigación a las demás líneas de producción en TUGALT como formadoras y perfiladora para aumentar los beneficios y confiabilidad de sus productos.
- Se recomienda la conformación de un equipo de trabajo especializado en la filosofía MCC que continúe ampliando el proyecto en planta.
- Se recomienda ampliar la capacitación sobre la filosofía MCC a todos los operadores y técnicos de Tugalt.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, *Norma ISO 14224*. Brussels, 2016.
- [2] «IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Search results (by Area)». 2007.
- [3] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC), «Norma Técnica NTC 2050». 1998.
- [4] F. Gonzáles Fernández, *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial avanzado*, Segunda Edición. Madrid, España: FC, 2005.
- [5] S. Duffua, A. Raouf y J. Dixon, *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*, Primera Edición. México D.F : Limusa Wiley, 2007.
- [6] Análisis de Criticidad para fines de mantenimiento, «Norma Estándar NORSOK Z - 008». 2001.

- [7] Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología, «Norma ISO 55000». 2014.
- [8] A. Torres Salinas, *Contabilidad de Costos*. México: McGraw - Hill, 1996.
- [9] R. Steiner, *Diccionario internacional inglés/español*, Segunda Edición. New York: Simon & Schuster, 1997.
- [10] A. Solís Soto, «Localización y distribución de una planta industrial de café en el estado de Hidalgo», Tesis Pregrado, Universidad autónoma del estado de Hidalgo, México, 2008.
- [11] D. H. Mesa Grajales, Y. Ortiz Sánchez, y M. Pinzón, «La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento», *Sci. Tech.*, vol. XII, n.º 30, 2006.
- [12] J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Segunda Edición. Madrid, España: Aladon LLC, 2004.
- [13] Q AEC, «Asociación Española para la Calidad - Mantenibilidad». [En línea]. Disponible en: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenibilidad>. [Accedido: 10-dic-2018].
- [14] Sistemas de gestión de la calidad, Fundamentos y vocabulario, «Norma ISO 9000». 2005.
- [15] E. Jiménez y M. Patiño, «Propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Línea Piloto en la Compañía Nacional De Chocolates SAS», Tesis Pregrado, Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [16] «Departamento de Mantenimiento Tugalt». .
- [17] Itzel Castillo, «Normas Afnor Nf x 60 010... - PDF», *EDOC*. [En línea]. Disponible en: <https://edoc.site/normas-afnor-nf-x-60-010-pdf-free.html>. [Accedido: 12-dic-2018].
- [18] O. García Palencia, *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogotá: Ediciones de la U, 2012.
- [19] J. Calloni, *Mantenimiento Eléctrico y Mecánico para pequeñas y medianas empresas*. Argentina: Nobuko, 2007.
- [20] Comisión de Mantenimiento y Mecánica. Glosario Básico de Términos de Mantenimiento en Colombia, *Bogotá D.C: Asociación Colombiana de Ingenieros-ACIEM*. 2012.
- [21] S. García, *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*, Días de Santos, S.A. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2003.
- [22] L. Torres, *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento*, Primera Edición. Buenos Aires, Argentina: Alfaomega, 2015.
- [23] «Guía para la Aplicación de la Metodología “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad-MCC”», *MRI institute*. [En línea]. Disponible en: <https://www.machineryinstitute.org>. [Accedido: 09-oct-2018].
- [24] R. Pascual, *El Arte de Mantener implementación del RCM*. Santiago, Chile, 2008.
- [25] S. García, *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2003.
- [26] D. Villacreses, «Análisis de efectos y modo de falla aplicada a maquinaria de vulcanización PLT radial que operan en Continental Tire Andina. S.A.», Tesis de Master, Cuenca-Ecuador, 2018.
- [27] A. Crespo, P. Moreu, A. Sánchez, *Ingeniería de mantenimiento Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos*. España: AENOR, 2004.
- [28] A. F. A. Trujillo, «Propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), para la planta de tratamiento de aguas en Termosuria-Meta», Tesis Pregrado, Universidad Libre, Colombia, 2018.
- [29] C. Ojeda, «Aplicación de la metodología MCC en sala elaboración planta concentrados Pepsi-Cola», Universidad Simón Bolívar, Venezuela, Pasantías, sep. 2012.

- [30] V. H. Bocanegra Yáñez y E. M. Morales Hernández, «Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a equipos de la empresa GYEC grupo mexicano SA de CV.», Tesis, Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [31] NORMA SAE JA 1012, «Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie». 2002.
- [32] J. Caravajo, E. Solano, «Diseño de un plan de mantenimiento en el área de construcción de llantas radiales primera y segunda etapa de la compañía Ecuatoriana del caucho S.A. mediante la estrategia RCM (Reliability centered maintenance)», Politécnica Salesiana, Cuenca, 2008.
- [33] J. Campos, «Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)».
- [34] «RCM2 - Introducción - Reliabilityweb: A Culture of Reliability», *RELIABILITYWEB.COM*. [En línea]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/rcm2-introduccion>. [Accedido: 05-oct-2018].
- [35] H. Gutiérrez, R. De la Vara, *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*, Tercera Edición. Mc Graw Hill, 2013.
- [36] M. Gardella Gonzales, «Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos», PhD Tesis, Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [37] «60812 IEC_2006 AMEF». [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/268969934/60812-IEC-2006-AMEF>. [Accedido: 25-abr-2019].
- [38] A. Crespo, P. Moreu, A. Sánchez, *Ingeniería de Mantenimiento. Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos*. España: AENOR, 2004.
- [39] B. Vela, E. Peñafiel, «“Propuesta de implementación del modelo: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la empresa metalmecánica en la industria ecuatoriana de artefactos ECASA”», Tesis Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2004.
- [40] Reliabilityweb, «La Cultura de la Confiabilidad Operacional - Reliabilityweb». [En línea]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>. [Accedido: 06-dic-2018].
- [41] J. Heizer, Y. Render, *Dirección de la Producción y Operaciones, decisiones Tácticas*, Octava Edición. Madrid: Pearson Education, .S.A, 2008.
- [42] E. Castro, «Proceso de Codificación de Equipos y Aplicación del Sistema SAP en la Gestión del Mantenimiento en Ampliación de la Planta Arauco Remanufactura Tres Pinos.», Tesis de Grado, Valdivia - Chile, 2006.
- [43] Yuscly Pantoja, «Codificación de equipos», 12:19:03 UTC.
- [44] C. Quinteros, «Análisis y diseño de un modelo experimental de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sector industrial», ESPOL, 2008.
- [45] E. Logan, «Propuesta de mejora en la planeación y control de la producción para la línea de corte de bobinas de acero laminado en frío - SLITTER», Tesis de Grado, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2012.
- [46] M. P. Pinos Andrade y M. G. Serrano Tapia, «Propuesta metodológica para la selección de cargos críticos. Caso aplicado: TUBERÍA GALVANIZADA S.A. (TUGALT)», Universidad del Azuay, Ecuador, 2018.
- [47] «Tugalt S.A», *prezi.com*. [En línea]. Disponible en: <https://prezi.com/f0qfk2bcpmf0/tugalt-sa/>. [Accedido: 15-abr-2019].
- [48] Empresa Tugalt S.A., «Plan Estratégico Tugalt 2020». .

- [49] C. Hanna y W. Antonio, «Mejoramiento de la operación de preparación de máquinas cortadoras de bobinas de acero “slitters” en una empresa metalmecánica por medio del sistema smed», Tesis de Grado, ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 2005.
- [50] C. Morales Ríos, «Sistema automatizado de mantenimiento de máquinas rotatoria basado en el monitoreo de sus condiciones», Tesis de Grado, Universidad mayor de San Andres, La Paz- Bolivia, 2018.
- [51] Empresa Tugalt S.A., «Manual de Calidad Tugalt 2018». .

9. ANEXOS.

Anexo 1. Orden de trabajo generada en JD Edwards.

ORDENES DE TRABAJO MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2018										
N° Orden	3323788	N° OT ppal	3323788	N° Unidad						
Descripción	SB-DD Revisión mecánica	UniNeg								
Comentario est		Cta aux								
Número de equipo	11077 DESENROLLADOR	Emisor	10828623	Cristian Ortiz Farfan						
CD categoría 01	AV04 Mantenimiento total a máquina	Supervisor	40001734	Andres Castillo Leon						
CD categoría 02	F15 REVISION GENERAL	Asignado a	40000918	Pablo Benavides Niola						
CD categoría 03	T08 REVISAR	N° de cliente								
CD categoría 04		Fecha inicio	8/10/2018	F solic				14/10/18		
CD categoría 05		Finaliz planif	4/10/2018							
Prioridad		Sucurs	01RP1FAB01							
Tipo	U MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N° de articulo								
Estado	M solicitud de trabajo de manten	Referencia	11073							
Hrs pvta		N° mensaje	01TU069							
Total costo										
Lista piezas equipo										
N° de equipo	11077	DESENROLLADOR								
Nivel		Tipo de linea		N° de articulo	Descripcion	Cant estándar	UM	UM ppal	Cant existencias	Origen
					Revisión de rango de funcionamiento de manómetros					
					Inspección visual del estado de unidad de mantto					
					Revisión de funcionamiento de cilindros neumáticos					
					Engrasado de paletas					
					Lubricación de rodamientos					
					Inspección de fugas de tuberías					
					Limpieza de mesa de mandos					
					Ajuste de pernos					
					Revisión de funcionamiento mecánico de mandrinos					
					Revisión de zapatas de freno					

Anexo 2. Costos de mantenimiento correctivo. [48]

Equipo	Descripción	Horas	Costo (\$)
2018			
Brazo de descarga	Desmontaje y lubricación de rodamiento	1	4,5
Cortadora cizalla circular	Calibración de tarjeta de control	2	22
	Reemplazo de taco dínamo de motor de cizalla	3,42	37,62
	Cambio de mangueras dañadas	1	4,5
	cambio de aceite móvil DT, perno y manguera dañada	2,66	77,28
	Reparación de tarjeta electrónica	3	560,41
Enrollador	Cambio de sensor	0,5	2,5
	Calibración de fin carrera	0,5	5
	Cambio de manguera	1,25	39,34
Mesa de entrada con cizalla guillotina	Revisión de sueldas frías	2	27
	Cambio de contactor y fusible	2,75	82,25
	Cambio de motor y drive de cizalla	2,3	112,68
Horas totales en el año		22,38	
Costo total anual (\$)		975,08	

Anexo 3. Costos anuales por mantenimiento preventivo. [48]

Equipo	Descripción	horas	total costo
Carro de carga	reemplazo de manguera hidráulica	0,45	2,03
	fin carrera flojo	0,25	1,13
Cizalla circular fija	se cambia zapatas de freno en la cortadora	1	5
	cambio de rodamientos	7	79,3
	limpieza general	7	55,9
	Reparación	2,55	26,72
	reparación en tubería	0,75	4,68
	corrección	2	86,9
	cambio de zapatas	3	15
	limpieza general de slitter	0,5	2,509
	cambio de motor	2	80,28
Enrollador	cambio de reflector	0,5	162
	cambio de reflector y filamento	0,5	162,25
	cambio de perno y pin de seguridad	1,58	12,9
	cambio de filamentos	0,66	31,3
	cambio placa y fin carrera	1.5	15
	plan de acción	1	26
Desenrollador	se reemplaza cable en mal estado	1	5
	sin cambios	0,75	3,38
	cambio de motor	1	16,57
	lubricación del tambor	3,5	52,66
	se cambia yodyn	0,5	58,48

Continuación. **Anexo 3**

Prensa de frenado	cambio de vejiga	8	104
Recogedor de virutas	cambio de estrella elástica	1,25	64
	cambio de acople	1	1
	calibración de recorrido de vástago	0,67	3,02
Grupo hidráulico	cambio de aceite	8	695,98
	des trabamiento de electroválvulas	0,3	3

Anexo 4. Gastos de repuestos y materiales de mantenimiento. [48]

2017			
Elementos	Cantidad	Precio Unitario	Costos
Cuchilla Slitter D=E- 300 X I-180 esp =15MM	60 UN	275	16500
Lima tronzado 151,2-25-30	1 UN	159,26	159,26
Inserto p/tronzado N 123G2-0300-0004-TM 4325	10 UN	31,590	315,9
Cable P/soldar 2/0 AWG	10 MT	16,873	168,73
Luminaria industrial campana acrílico 250W - 220V	1 UN	116,875	116,88
Matrimonio Lovejoy L-190	1 UN	145,785	145,79
Bronce buje 2X1	180 CM	1,797	323,41
Acero 147M D = 250 X 150MM	40 CM	11,029	441,14
Desengrasante Omya NES-2000 ELEC	2 GA	56,814	113,63
Acero K110 D = 252,5MM	62 CM	27,933	1731,84
2018			
Tubo ng, ASTM 1 MTRS, 4 X 6,4M 500 MM	2 MT	123,235	246,47
Plancha pedazos plancha	3 UN	58,182	174,55
Acero XW41 D = 310MM	120 CM	49,517	5942
Unidad mantenimiento 1/2	1 UN	170,230	170,23
Tacodínamo línea reo 444 R	1 UN	550,410	550,41
Luminaria led tipo industrial 150W 5K 100-270V	2 UN	199,441	398,88
Aceite móvil DTE No, 26	30 GA	11,735	352,06
Aceite móvil DTE No, 26	20 GA	11,735	234,71
2019			
Acero 147M D = 250 X 150MM	65 CM	15,02	976,51
Matrimonio Lovejoy L-190	1 UN	271,27	271,27
Desengrasante Omya NES-2000 ELEC	1 GA	58,01	58,01
Caucho Lovejoy L190	1 UN	57,84	57,84
Sensor magnético 8MM C/CABLE AE1/AP-2A 24VDC PNP-NO	1 UN	47,34	47,34

Anexo 5. Proyección de costos de modos de falla en los próximos 2 años con enfoque pesimista.
[Autores]

Escenario pesimista									
Carro de carga									
Modo de falla	Elemento	Acción de mantenimiento	Costo de elemento (\$)	Tiempo de reparación (horas)	Costo mano de obra (\$)	Costo de hora máquina	Tiempo de Construcción (horas)	Costo total de construcción (\$)	Costo total
Fuga de aceite	Pistón de elevación	Reparación	0	2	10,6	30	2	60	70,6
31/12/2017	Piñón corona	Construcción	0	3	15,9	30	6	180	195,9
Deformación y fracturas	Rodamientos de las ruedas	Cambio	228	5	26,5	0	0	0	254,5
Desgaste	Rueda	Reparación	60	3	15,9	30	2	60	135,9
Desenrollador centrable									
Ruptura	Barra interior de empuje y tiro	Construcción	250	10	53	30	16	480	783
Perforación	diafragma	Cambio	200	2	10,6	0	0	0	210,6
Desgaste desigual	Pastillas de freno	Cambio	30	1	5,3	0	0	0	35,3
Deformación y fracturas	Rodamiento de rodillos a rotula	Cambio	5000	12	63,6	0	0	0	5063,6
Mesa de entrada con rodillos de tiro y cizalla guillotina									
Deformación y fracturas	Rodamiento de los rodillos	Cambio	50	4	21,2	0	0	0	71,2
Sobrecalentamiento de aceite	Reductor	Limpieza y cambio de aceite	56,66	1	5,3	0	0	0	61,96
Cizalla circular fija									
Ruptura en cruceta	Cardan completo	Cambio	50	4	21,2	0	0	0	71,2
Deformación de los dientes	Excéntrica del castillete fijo	Mecanizar	0	1	5,3	30	6	180	185,3
Ruptura de dientes	Ruedas dentadas del castillete móvil	Construcción	350	2	10,6	30	12	360	720,6

Continuación. Anexo 5

Deformación y fracturas	Rodamiento de rodillos cónicos	cambio	2500	6	31,8	0	0	0	2531,8
Deformación y fractura	Rodamiento del castillete móvil	cambio	2500	4	21,2	0	0	0	2521,2
Prensa de frenado									
Perforación de la vejiga	Vejiga neumática	cambio	90	4	21,2	0	0	0	111,2
Desalineación del acople	Acoplamiento o tipo DK del dinamotaco métrica	Cambio	550	1	5,3	0	0	0	555,3
Deformación y fracturas	Rodamiento de los rodillos deflectores	Cambio	100	6	31,8	0	0	0	131,8
Enrollador de flejes									
Deformación y fracturas	Rodamientos del brazo	Cambio	100	6	31,8	0	0	0	131,8
Ruptura de los dientes	Rueda conductora de expansión	Cambio	100	10	53	30	14	420	573
Deformación y fracturas	Rodamientos axiales del tambor	Cambio	5000	48	254,4	0	0	0	5254,4
Deformación	Rodamiento del motor	Cambio	60	12	63,6	0	0	0	123,6
Estator quemado	Estator	Rebobinar	200	4	21,2	0	0	0	221,2
Brazo de descarga									
Deformación y fracturas	Corona RHOTERDE	Cambio	5000	36	190,8	0	0	0	5190,8
Grupo hidráulico									
No bombea el fluido a presión a los equipos	Tuberías de succión y desfogue	Cambio	60	4	21,2	0	0	0	81,2
Ruptura de dientes	Bomba de engrane	Cambio	1500	2	10,6	0	0	0	1510,6

Continuación. **Anexo 5**

Tableros eléctricos									
Aumento del valor nominal de corriente	Tarjeta de potencia	Termografía infrarrojo	3800	5	26,5	0	0	0	3826,5
Estática en los componentes electrónicos		Limpieza de polvo con brochas y guantes antiestáticos							
Vibración en la inductancia por chapa metálica floja	Chapa metálica	Verificación de ajuste de tornillos y ausencia de deterioro	1000	3	15,9	0	0	0	1015,9
Aumento de resistencia y caída de tensión	Contactos	Termografía infrarrojo	1000	6	31,8	0	0	0	1031,8
Modulo quemado	Modulo	Termografía infrarrojo	2000	5	26,5	0	0	0	2026,5

Anexo 6. Elementos propuestos para bodega. [Autores]

Elemento	Código de Equipo	Pos.	Ítems	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Husillo corredera	EN	58	1	650	650
Rodamiento de rodillos a rotula N° 23056	EN	130	1	2562.31	2562.31
Rodamiento de rodillos a rotula N° 23048-C	DS		1	2500	2500
Eje y freno- Casquillo extreme trasero de barra de empuje	DS	66	1	2500	2500
Freno neumático TWIFLEX-FU modelo DB-3011 tipo MR2B	DS	70	2	300	600
Piñón del eje loco	CR	12	1	300	300
Excéntrica castillete móvil	MC	4	2	350	700
Excéntrica castillete fijo	MC	3	2	250	500
Rodamientos rodillos cilíndricos N° NU2222	MC	217	2	1200	2400

Continuación. **Anexo 6**

Vejiga neumática 250X20X1.400 c/válvula 3/4" X60 log	PF	98	1	150	150
Dínamoacométrica tipo REO 444R c/ brida 0,09V/Rev., Ø 11	PF	97	1	500	500
Acoplamiento tipo DK 20/37 Eje Ø 11	PF	111	1	4	4
Freno TWIFLEX-FU Tipo MXB-5	EN		1	300	300
Rodamiento de rodillos n° 22232 c	RV	77	1	520	520
Rodamientos de rodillos n° 22224 c	RV	78	1	445	445
Bomba de engranaje salami PG331- IRON	GH		1	1400	1400
Costos totales				11369 \$	13469 \$