



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

**SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE
Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA
HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)**

Ing. Eriberto David Fuentes Chávez

Asesorado por M.A. Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova.

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE
Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA
HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA ESCUELA DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA
POR

ING. ERIBERTO DAVID FUENTES CHÁVEZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. WALTER EMILIO RAMÍREZ CÓRDOVA.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de Leon Rodriguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gomez Donis
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANO	Mtro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
COORDINADOR	Dra. Alba Maritza Guerrero Spinola
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIA	Mtra. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de Escuela de estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, el 26 de agosto del año 2017.

Ing. Eriberto David Fuentes Chávez

Ref.APT-2018-034

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **"SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)"** presentado por el Ingeniero en Tecnología Industrial Eriberto David Fuentes Chávez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

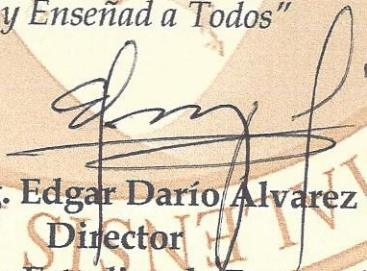
Cc: archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-034

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)"** presentado por el Ingeniero Tecnología Industrial Eriberto David Fuentes Chávez, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

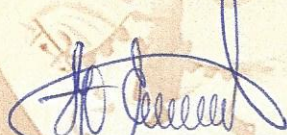
Cc archivo/LZLA.

Ref.APT-2018-034

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)"** presentado por el Ingeniero en Tecnología Industrial Eriberto David Fuentes Chávez.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Doctora. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinador(a) de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2018-034

En mi calidad como Asesor del Ingeniero en Tecnología Industrial Eriberto David Fuentes Chávez doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "SISTEMATIZACIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE CORTE Y DOBLE, CON ENFOQUE A INDICADORES DE DISPONIBILIDAD CON BASE A LA HERRAMIENTA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)" quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Walter Emilio Ramírez Córdova
Asesor(a)

Maestro en Administración Industrial y de Empresas de Servicios

Ing. Walter E. Ramírez C.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO 10,049

Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme sus abundantes bendiciones en mi carrera.
Mis padres	Cesar Fuentes y Rosa del Carmen Chávez. Su amor será siempre mi inspiración.
Mis hermanos	Cesar y Kimberly Fuentes Chávez. Por ser una importante influencia en mi carrera.
Mi novia	Andrea Elizabeth Morales Aroche. Por ser una importante influencia e inspiración en mi carrera.
Mis tías	Rosa Fuentes y Alicia Rivas. Por ser personas a quien admiro, e influencia en mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad San Carlos de
Guatemala.**

admirado para prepararme
profesionalmente.

Facultad de Ingeniería

Por los aprendizajes y
conocimientos adquiridos en mi
carrera.

Mis amigos de la facultad.

Ronald Herrera, por ser una persona
que me apoyó durante mi carrera,
entre otras cosas.

Por ser la casa de estudios de mi
carrera, y el centro académico

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Mantenimiento	1
1.1.1. Definición de mantenimiento	1
1.1.2. Mantenimiento preventivo	4
1.1.3. Mantenimiento predictive	4
1.1.4. Mantenimiento centrado en la confiabilidad	6
1.1.5. Características del mantenimiento centrado en la confiabilidad	11
1.1.6. Pasos basicos para la implementacion del mantenimiento centrado en la confiabilidad	12
1.1.7. Funciones y niveles del desempeño del mantenimiento centrado en la confiabilidad	13

1.1.8.	Concepto de consecuencia y causa de falla en mantenimiento centrado en la confiabilidad	13
1.1.9.	Clasificación de las actividades de mantenimiento.....	17
1.1.10.	Rutinas y tareas de mantenimiento a desarrollar en la maquinaria, para la prevención de la ocurrencia de fallas	19
1.1.11.	Justificación de la estrategia de mantenimiento basada en la ejecución de tareas de sustitución reacondicionamiento cíclico	20
1.2.	Planeación Integrada producción-mantenimiento	24
1.2.1.	Procedimiento para la planeación integrada producción mantenimiento a nivel táctico.....	25
1.3.	Indicadores de mantenimiento	25
1.3.1.	Metodología de implementación de indicadores de mantenimiento	27
1.3.2.	Principales Indicadores de la gestión de mantenimiento	27
1.3.2.1.	Tiempo medio entre fallas.....	28
1.3.2.2.	Tiempo medio de recuperación de la falla	28
1.3.2.3.	Disponibilidad técnica	28
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.1.	Antecedentes de la empresa	31
2.2.	Lista de equipos de la Planta de Corte y Doble.....	32
2.3.	Codificación de equipos y maquinaria.....	32

2.4.	Matriz de criticidad de equipos.....	33
2.5.	Diseño e Implementación de órdenes de mantenimiento.....	35
2.6.	Descripción de maquinaria y fallas recurrentes obtenidas de las órdenes de mantenimiento para el análisis y determinación de los períodos de sustitución sistematizada de principales componentes.....	37
2.7.	Análisis estadísticos para la determinación de tiempo óptimos de sustitución de repuestos.....	50
2.8.	Implementación de indicadores de mantenimiento.....	59
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	63
3.1.	Presentación de sistematización del modelo de mantenimiento	63
3.2.	Presentación de los niveles de inventarios de acuerdo a la sistematización del modelo de mantenimiento.....	68
3.3.	Presentación de indicadores de mantenimiento.....	73
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	APÉNDICES	87
	ANEXOS	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Crecientes expectativas del mantenimiento	06
2.	Evolución de los tipos de mantenimiento	07
3.	Análisis para la criticidad de la maquinaria.....	35
4.	Formato de orden de mantenimiento.....	36
5.	Máquina Shearline familia de cizallas automáticas	37
6.	Máquina Opti Speddy Bat familia de cizallas automáticas	39
7.	Máquina Robomaster 45 familia de dobladoras automáticas	41
8.	Máquina Robomaster 60 familia de dobladoras automáticas	42
9.	Máquina Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS familia de estribadoras automáticas	44
10.	Máquina Reta 16 familia de enderezadora	47
11.	Probabilidad de falla antes de 1.5 meses (Propuesta ejemplo).....	51
12.	Distribucion normal de probabilidades.....	52
13.	Gráfica de la disponibilidad promedio de cada maquinaria de la Planta de Corte y Doble en el año 2016	76
14.	Gráfica de la disponibilidad promedio de la maquinaria de la Planta de Corte y Doble de período de enero a septiembre 2017	78
15.	Layout de la maquinaria que se describieron en la investigación.....	96

TABLAS

I.	Tabla de porcentaje de tiempo de diagnóstico y reparación de equipos de acuerdo con su naturaleza constructiva	21
II.	Tabla de máquinas de la Planta de Corte y Doble	32
III.	Tabla de codificación de maquinaria de la Planta Corte y Doble	33
IV.	Ponderación de criticidad de maquinaria.	34
V.	Tabla de sub-partes y componentes de cizalla Shearline	38
VI.	Tabla de fallas recurrentes en cizalla Shearline	38
VII.	Tabla de sub-partes y componentes de cizalla Opti Speddy Bat.	40
VIII.	Tabla de fallas recurrentes en cizalla Opti Speddy Bat	40
IX.	Tabla de sub-partes y componentes de dobladora Robomaster 45	41
X.	Tabla de fallas recurrentes en dobladora Robomaster 45.....	42
XI.	Tabla de sub-partes y componentes de dobladora Robomaster 60	43
XII.	Tabla de fallas recurrentes en dobladora Robomaster 60	43
XIII.	Tabla de sub-partes y componentes de estribadora Coil 16 UHS 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS.....	45
XIV.	Tabla de fallas recurrentes en estribadora Coil 16 UHS 3D Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS	46
XV.	Tabla de sub-partes y componentes de enderezadora Reta 16	48
XVI.	Tabla de fallas recurrentes en enderezadora Reta 16	49
XVII.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “cizalla Shearline”	53
XVIII.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “cizalla Opti Speddy Bat”	54
XIX.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “dobladora Robomaster 45”	55

XX.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “dobladora Robomaster 60”	56
XXI.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “estribadora Coil 16 UHS 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS”	57
XXII.	Tabla de períodos promedio de fallas de componentes “enderezadora Reta 16”	58
XXIII.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes en “cizalla Shearline”	63
XXIV.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes en “cizalla Opti Speddy Bat”	64
XXV.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes en “dobladora Robomaster 45”	65
XXVI.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes en “dobladora Robomaster 60”	65
XXVII.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes de Estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14 y Fórmula 14 UHS”	66
XXVIII.	Tabla de períodos de sustitución sistematizada de componentes de “enderezadora, Reta 16”	67
XXIX.	Tabla de niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en “cizalla Opti Speddy Bat” y “ cizalla Shearline”	68
XXX.	Tabla de niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en “dobladora Robomaster 45 y Robomaster 60”.	69
XXXI.	Tabla de niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en “estribadora Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS”	70

XXXII.	Tabla de niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en “enderezadora, Reta 16”	71
XXXIII.	Tabla de componentes electronicos estratégicos de las 9 máquinas.....	72
XXXIV.	Tabla de indicadores (MTBF, MTTF, Disponibilidad técnica) de Cada una de las máquinas promedio del año 2016	75
XXXV.	Tabla de indicadores (MTBF, MTTF, Disponibilidad técnica) de Cada una de las máquinas promedio de enero a septiembre 2017.....	77
XXXVI.	Tabla comparativa entre Disponibilidad promedio para las máquinas en el año 2016 y Disponibilidad promedio de enero a septiembre 2017.....	79
XXXVII.	Tabla de programa de lubricación para la maquinaria	87
XXXVIII.	Matriz de coherencia.....	93

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

DISP	Disponibilidad del equipo.
ORMAN	Orden de mantenimiento.
TMEF	Tiempo medio entre fallas
TMPF	Tiempo medio para la reparación

GLOSARIO

- Componente:** Pieza esencial para el funcionamiento de una actividad mecánica, eléctrica o de naturaleza física, que conjugado a otro(s) crean el potencial para realizar un trabajo.
- Criticidad:** Es un indicador que permite establecer la jerarquía o prioridades de proceso, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones.
- Defecto:** Ocurrencia en un ítem que no impide su funcionamiento; sin embargo, puede a corto plazo, acarrear su indisponibilidad.
- Falla:** Ocurrencia de una avería en una máquina o equipo que impide su funcionamiento.
- Fiabilidad:** Se define como la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas, presión, temperatura, velocidad, tensión, vibración o fricción.
- Mantenibilidad:** Se define como la propiedad de que el equipo después de un fallo o avería ha puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado.

Prioridad: Intervalo de tiempo que debe de transcurrir entre la constatación de la necesidad de una intervención de mantenimiento y el inicio de la misma.

RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en sistematizar un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para la maquinaria de una planta de corte y doble, en una empresa siderúrgica. La investigación se fundamenta en la implementación de indicadores de disponibilidad y capacidad operativa de la maquinaria, mediante el historial de fallas y la utilización de herramientas de ingeniería, tales como: criticidad de equipos, niveles de inventarios de repuestos, indicadores enfocados en la confiabilidad, MTBF (Tiempo medio entre fallas) MTTF (Tiempo medio para la reparación) y Disponibilidad técnica y la sistematización de la sustitución de repuesto. El objetivo principal es el ofrecimiento de la disponibilidad, calculada por medio de la distribución normal de probabilidades.

El trabajo se realiza en la siguiente secuencia: inicialmente se lista y codifica la maquinaria, con el fin de estandarizar el nombramiento de las mismas en las órdenes de mantenimiento y facilitar la tabulación de la información para posterior análisis.

Continuamente se realiza la criticidad de equipos en una valoración del producto de la frecuencia por consecuencia de las fallas, luego se implementa un formato de orden de mantenimiento.

Posterior se describen las sub partes y componentes de la maquinaria, paralelo a describir la cantidad de fallas al año de cada máquina, las cuales se recopilaron por medio de fuentes de información, como bitácoras, historial

de fallas y registros de órdenes de mantenimiento, comprendidos en el período de enero a diciembre del año 2016.

Luego se proponen períodos para la sustitución programada de repuestos que sufren desgaste y daño.

Por medio del análisis estadístico, se determina la confiabilidad de la maquinaria, la cual viene dada en un porcentaje y es la finalidad de la herramienta mantenimiento centrados en la confiabilidad; por último, se implementa indicadores enfocados en la disponibilidad de maquinaria, Indicador MTBF, tiempo medio entre fallas, Indicador MTTF, Tiempo medio para la reparación y Disponibilidad técnica.

Garantizando una confiabilidad de 95 % se realiza la implementación de los períodos semanales, mensuales, semestrales y anuales, con base a la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad. (MCC)

Para finalizar con un análisis gráfico del comportamiento de la disponibilidad técnica de la maquinaria, después de la sistematizar el modelo de mantenimiento, se logra un incremento del 1.89 % promedio para cada máquina. También se determina el consumo anual de repuestos, el cual sirve para la gestión de compras de repuestos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

Problema:

El problema identificado es la ausencia de una sistematización del modelo de mantenimiento de sustitución programadas de repuestos.

Descripción:

La investigación surge después analizar la gestión de mantenimiento e identificar, debido a fallas en los equipos, desajustes de piezas, condiciones operativas, donde los componentes están sometidos al desgaste y abrasión provocado por contacto con el hierro, induce a que ciertos productos no se produzcan en los estándares de calidad, lo cual hace que la maquinaria requiera cambios sistematizados.

Otro de los problemas es que no cuenta con un inventario de repuestos amplio para satisfacer los cambios. La adquisición de los repuestos se da en un tiempo prolongado, ya que se adquieren en el extranjero, esto provoca que no se le dé una solución al problema principal, de manera breve y efectiva.

Delimitación:

La investigación se enfoca en el mantenimiento preventivo, se limita a los equipos auxiliares de la Planta de Corte y Doble, tales como los compresores y las grúas.

Preguntas orientadoras:

A consecuencia de los problemas suscitados surgen las siguientes preguntas:

Pregunta central:

¿Qué modelo de mantenimiento va a propiciar que la maquinaria conserve su calidad operativa?

Preguntas auxiliares:

¿En función de qué se debe de medir el desempeño de las máquinas?

¿Qué tipo de modelo de mantenimiento permitirá garantizar confiabilidad que lo equipos mantengan su capacidad productiva?

¿Cómo se alcanza mantener los adecuados niveles de inventarios de repuestos?

OBJETIVOS

General

Diseñar un modelo de mantenimiento con base en la herramienta (MCC) mantenimiento centrado en la confiabilidad que garantice la calidad operativa de la maquinaria.

Específicos

1. Implementar indicadores, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para recuperación de la falla y disponibilidad técnica.
2. Realizar una sistematización del modelo de mantenimiento enfocado a sustitución cíclica, que garantice la confiabilidad que los equipos mantendrán su capacidad productiva.
3. Definir el consumo anual de componentes por cada máquina y mantener en inventario, de acuerdo con la sistematización del modelo de mantenimiento.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de la investigación es un estudio cuantitativo, que mide la gestión de mantenimiento de una Planta de Corte y Doble, por medio de indicadores enfocados en la disponibilidad.

El desarrollo de la investigación tiene un enfoque de tipo descriptivo para nueve máquinas de una Planta de Corte y Doble, consiste en determinar el tiempo promedio de fallas, calculado con base al historial de la maquinaria, luego proponer períodos de sustitución de repuestos consumibles, con la finalidad de obtener un porcentaje de disponibilidad de maquinaria, dicha disponibilidad es calcula por uno de los tres indicadores implementados.

El alcance de la investigación, es sobre los repuestos que se categorizan como consumibles, con la finalidad de deteminar, inventarios de repuestos a adquirir, que permitan ejecutar las sustituciones en los períodos establecidos.

Las variables estudiadas son las fallas recurrentes, los tiempos óptimos de sustitución de repuestos, la confiabilidad de maquinaria y la disponibilidad técnica.

Se realiza una medición inicial a la gestión de mantenimiento, determinando el valor de disponibilidad técnica por máquina, con base en los históricos de fallas, los indicadores de tiempo medio entre fallas y tiempo medio de recuperación de la falla. Despues de implementar los períodos de sustitución de repuestos, se mide otra vez el valor de disponibilidad técnica

por máquina, que refleja el aumento que traducido es tiempo disponible de trabajo.

La investigación se describe en las siguientes fases:

En la fase inicial, se lista, codifica y categoriza la maquinaria que es objeto de investigación.

En la segunda etapa, se describen las partes y las fallas recurrentes de la maquinaria, se realiza la propuesta de períodos de sustitución y se determina la confiabilidad por medio de análisis estadísticos de que la maquinaria, no falle en los períodos propuestos.

En la tercera fase, se implementa indicadores con enfoque a disponibilidad, indicador MTBF, Tiempo medio entre fallas, indicador MTTF, Tiempo medio para la reparación y Disponibilidad técnica.

La cuarta y última fase, consiste en establecer períodos de sustitución, que ofrezcan una confiabilidad del 95 % que la falla no se presente el período propuesto, con el fin de medir la mejora con base al indicador de disponibilidad técnica.

INTRODUCCIÓN

El estudio se centra en una Planta de Corte y Doble de una empresa siderúrgica, la cual tiene como giro de negocio la fabricación de hierro en formas, para la construcción de obras, como edificios, centros comerciales, etc. Tiene nueve máquinas automáticas que funcionan en el ciclo del tipo mono etapa.

Las nueve máquinas tienen la misma funcionalidad y componentes entre sí, por ejemplo, conjunto de ruedas de arrastre y conjunto de ruedas de enderezado vertical y horizontal, todas accionadas por servomotores que transmiten la potencia a cajas reductoras.

El estudio se realiza a raíz de identificar dos principales causas, primero que la gestión de mantenimiento es reactiva a atender fallas emergentes y no planificadas, y segundo, que no existe una sistematización de mantenimiento implementado, que mejore la disponibilidad de la maquinaria. Adicional, la gestión se enfrentaba a problemas como, productos fabricados fuera del estándar de calidad y bajo nivel de inventarios de repuestos.

El beneficio es para el personal de producción y de mantenimiento, al primero proporcionaría alta disponibilidad y capacidad productiva de la maquinaria, al segundo a dirigir las actividades a mantenimiento, basado en la herramienta mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC).

Se implementan los indicadores siguientes, MTBF, indicador de tiempo medio entre fallas, MTTF, indicador de tiempo medio de reparación e indicador de Disponibilidad técnica. Se generaron listados y cantidades de componentes que servirá para la gestión de compras.

La secuencia de solución fue la siguiente, recopilar de datos del historial de fallas de las máquinas y del historial de sustitución de repuestos, para calcular el período promedio de falla por equipo. Luego proponer períodos de sustitución, calcular la disponibilidad de la maquinaria con base a la distribución normal de probabilidades. Se implementa indicadores enfocados en la confiabilidad, MTBF (Tiempo medio entre fallas) MTTF (Tiempo medio para la reparación) y Disponibilidad técnica, para finalmente obtener un listado de componentes y cantidad que servirá para la gestión de compras.

En el capítulo 1, se definen conceptos de mantenimiento correctivo, preventivo y mantenimiento centrado en la confiabilidad, los pasos para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se analiza la justificación de la estrategia de sustitución o reacondicionamiento cíclico.

Acorde a lo planteado en el capítulo 2, se analiza la importancia de la planificación integrada entre producción y mantenimiento.

En el capítulo 3, se analiza conceptos como los indicadores de mantenimiento, el surgimiento de estos y el aporte sobre la gestión de mantenimiento. Se estudia la metodología de implementarlos en plantas de producción y se hace énfasis en los principales indicadores, para medir la disponibilidad productiva.

Se concluye que el modelo (MCC) mantenimiento centrado en la confiabilidad se establece con base en el análisis estadístico, donde se debe conocer la distribución normal, se establece una confiabilidad del 95 % de que los componentes duren antes del período establecido de sustitución.

Se recomienda seguir tomando datos de los períodos de cambio para determinar el uso óptimo de los componentes, y tener una confiabilidad mayor a 95 % que los componentes proporcionen una fiabilidad que durará el período establecido.

1. MARCO TEÓRICO

A continuación se describe una reseña acerca de mantenimiento, los indicadores que evalúan el desempeño de una gestión de mantenimiento y como medir y evaluar las disponibilidad de los equipos y maquinaria.

1.1. Mantenimiento

Son las acciones de reparación, sustitución o monitoreo en componentes, vehículos equipos y maquinaria, que conserve la calidad operativa, ofrezca disponibilidad y confiabilidad de los mismos.

1.1.1. Definición de mantenimiento

Inicialmente se definirán conceptos generales de mantenimiento, el cual es centro de la investigación, donde se puede apreciar la opinión de varias personas que han tenido roles en la gestión de mantenimiento. El concepto de mantenimiento define qué son las acciones de reparar, sustituir, revisar y monitorear. Por su parte, Muñoz (2009) “el control constante de las instalaciones o de los componentes, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios, para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema general” (p.5). Es decir, el mantenimiento busca garantizar la vida útil de un bien fijo o móvil, estos bienes incluyen, vehículos, instalaciones, máquinas y equipos enfocados a la producción de algún beneficio para la empresa o usuario.

El mantenimiento es definido por Mesa, Ortiz & Pinzón (2006) “como el conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas” (p.155).

Entre otras definiciones, Moubray, (2005) “el departamento mantenimiento alcanza sus objetivos, al adoptar un acercamiento acertado al manejo de las fallas” (p. 13).

El mantenimiento para la definición de Cárcel (2016) “es el conjunto de técnicas que tienen por finalidad conseguir una utilización óptima de los activos productivos, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente” (p.4)

El mantenimiento para la opinión de Cuartas (2008) “es el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual son diseñados” (p. 1).

Los objetivos del mantenimiento son determinados por las expectativas del desempeño de los equipos y maquinaria, en función de cómo tratar las fallas.

El objetivo final del mantenimiento a equipos y maquinaria se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, reparar los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.

Para la opinión de Moubray (2005):

- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes. (p. 13)

Para Cuartas (2008), los objetivos del mantenimiento se reducen a dos que son fundamentales, “reducir costos de producción y garantizar la seguridad industrial” (p. 1)

En la opinión del objetivo del mantenimiento para García (2015), “es conservar la planta industrial con el equipo, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir la función para la cual son diseñados con la capacidad y la calidad especificadas” (p. 11)

Los objetivos de las tareas realizadas durante un proceso de mantenimiento, son los siguientes:

- Cambio de condición, con lo que se consigue un incremento de la vida operativa del sistema. Ejemplos típicos son: lavado, pintura, filtrado, ajuste, lubricación, calibración, etcétera.
- Garantía que no se presencia de fallas. Las actividades más comunes de este tipo son: inspección, detección, exámenes, pruebas.
- Cambio de consumibles, consecución de una tasa óptima de consumo para elementos como combustible, lubricantes, neumáticos, etcétera.
- Recuperación de la funcionabilidad del sistema, una vez que se ha producido la falla. Ejemplo las actividades más frecuentes realizadas para recuperar la funcionabilidad son: sustitución, reparación, restauración, renovación, etcétera. (García J, 2007 p.10).

Un objetivo del mantenimiento mencionados por García, es el cambio de consumibles por desgaste. En la investigación se cumplirá este objetivo, ya que se realiza la sistematización de modelo de mantenimiento por sustitución de repuestos, por desgaste.

1.1.2. Mantenimiento preventivo

En la opinión de Gaytan (2000) “la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, con el fin de garantizar que la calidad de servicio que éstos proporcionan, continúe dentro de los límites establecidos” (p. 13). Apoyada de esta definición se concluye que toda labor de conservación y acciones que garanticen que se presenten fallas, en los equipos y maquinaria, con la finalidad de seguir ofreciendo la disponibilidad, debe catalogarse como mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento siempre es programable y existen en el mundo muchos procedimientos para llevarlos a cabo, tienen la finalidad de evitar paros no programados por averías en los equipos y maquinaria.

En la investigación el mantenimiento preventivo es el tipo de mantenimiento que mayormente se aplica, el cual busca evitar fallas por medio de sustituir repuestos en períodos establecidos.

1.1.3. Mantenimiento predictivo

Son las inspecciones o diagnóstico que se efectúan de manera periódica, en equipos y maquinaria en funcionamiento, con el fin de identificar fallas potenciales y anticiparse a mantener los equipos antes de parada de equipos no programado.

El mantenimiento predictivo, según la opinión de Gaytan (2000), “es por medio de utilizar captadores, sensores transductores, con la propiedad de cambiar cualquier tipo de energía lumínica, sonora, ultrasónica, radiante, vibratoria o calorífica, en señales de energía eléctrica, que informen el estado del funcionamiento de la máquina” (p. 17)

Para este tipo de mantenimiento se requiere para su aplicación, conocer en los equipos y maquinaria, las partes vitales, tiempo de vida útil, un estudio profundo del recurso que se va a mantener y los parámetros de servicio que se espera de cada uno de ellas.

Dentro de las finalidades de este tipo de mantenimiento están:

- Obtención de información estadística de comportamientos.
- Identificación de fallas.
- Reducción de costos por paradas no programadas.
- Maximizar en tiempo de vida útil de los equipos y maquinaria.
- Las fallas posibles en estos equipos permiten anticiparse a planificar paros programados para corrección de las averías.

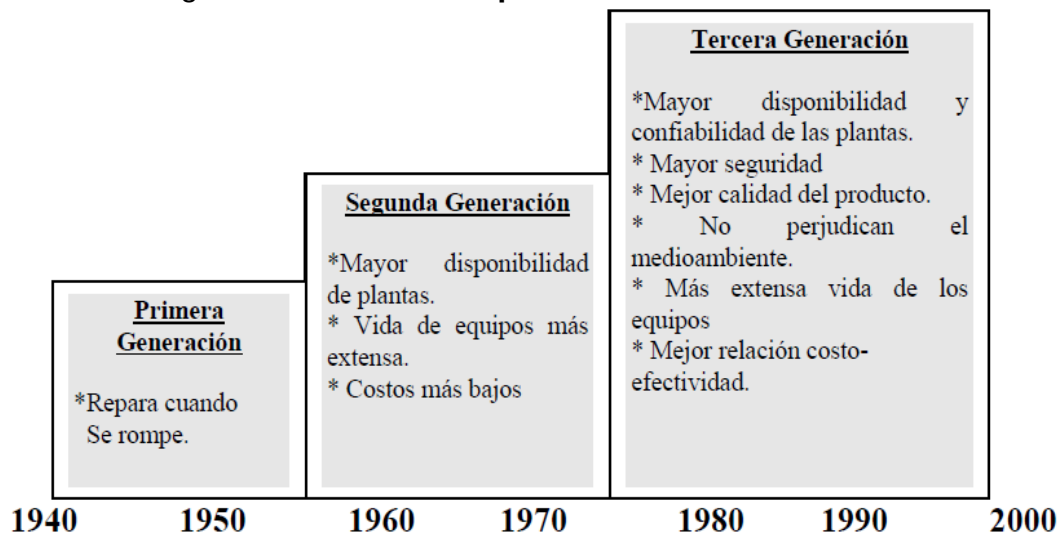
En las actividades de mantenimiento predictivo, están la termografía, análisis de vibraciones, ensayos no destructivos como partículas magnéticas, análisis de aceite, ultrasonido. Sus aplicaciones pueden ser, el espectro de calor de los paneles eléctricos y motores, la medición de vibraciones en movimientos radial del rotor de un motor monofásico o trifásico, la presencia de materiales ferrosos en el aceite, síntoma de desgastes o falta de lubricación en equipos, y por último, la medición de espesores de intercambiadores de calor indirectos.

1.1.4. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Históricamente, el mantenimiento centrado en la confiabilidad, tiene su surgimiento, según García (2007) “desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas, para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas” (p.26).

Con el fin de ayudar a las líneas aéreas a establecer un sistema para nuevos tipos de aviones, antes que estos entraran en funcionamiento. Como resultado el MCC es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no existe mucha documentación al respecto. (García J, 2007 p.29)

Figura 1. Crecientes expectativas del mantenimiento



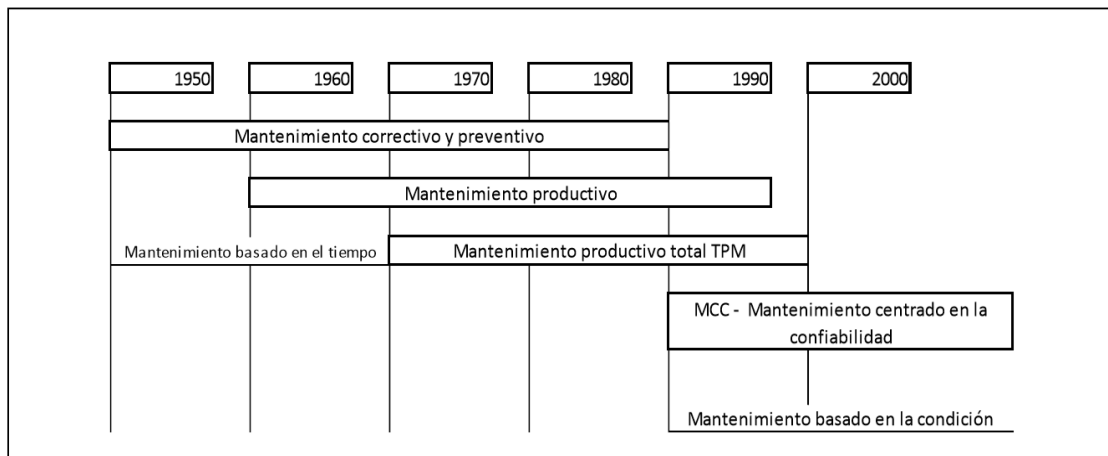
Fuente: Moubray, J, (2005 p. 7)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) tiene sus orígenes en la Marina, Ejército y Aviación, donde se requiere de la total confiabilidad, tanto de maquinaria y equipo, como de la logística. El mantenimiento centrado en la confiabilidad se define como la probabilidad que un sistema o

componente pueda funcionar correctamente fuera de falla por un tiempo específico.

La idea central del mantenimiento centrado en confiabilidad es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que a los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina desde el punto de vista productivo. (Ver figura 2)

Figura 2. **Evolución de los tipos de mantenimiento**



Fuente: Mesa, Ortiz & Pinzón, (2006, p. 156)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene una inversión de capital mayor con relación a los otros tipos de mantenimiento. Esto debido a las características de los componentes o sistemas que se instalarán en el equipo en que se realiza en el mantenimiento. De esta forma, se describe que la confiabilidad del mantenimiento se logra, a través de más material, es decir, mayor espesor o dimensión, mejores materiales o manteniendo equipos de reserva para que actúen como substitutos, en el caso que falle el equipo principal. Mesa, Ortiz & Pinzón, (2006, p. 156)

El concepto y criterio definido por, Mesa, Ortiz & Pinzón, (2006) “es la confianza que se tiene de un componente, equipo o sistema que desempeñe su función básica, durante el período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación” (p. 156).

El criterio de confiabilidad se basa en la confianza que el componente o sistema que se le aplicó mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente durante un tiempo establecido, por lo que el tiempo es uno de los factores más importantes en este criterio. Por otro lado, el criterio de mantenibilidad se basa en tener un equipo o sistema en funcionamiento durante un período establecido, mientras se cumplen los procedimientos preestablecidos, como la lubricación, cambio de consumibles, ajustes, entre otros.

En su opinión, Perez y Moubray (2003), “Se llama mantenimiento centrado en la confiabilidad, porque reconoce que el mantenimiento lo que busca es asegurar que los elementos físicos continúen con su capacidad incorporada, conocida como confiabilidad inherente”. (p.8)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, según García (2015), “Es una metodología que procura determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos en su contexto de operación, cambio de consumibles en función del uso” (p. 17).

Con relación a lo que comenta Mesa, Ortiz & Pinzón, (2006), “El tiempo es un factor importante para el cálculo de la confiabilidad, radica en el tiempo transcurridos desde una reparación hasta la siguiente falla de un componente o sistema” (p. 158)

En la unificación de conceptos, la confiabilidad de un equipo es que continúe operando a su capacidad diseñada, por medio de planificar

cambios de repuestos o partes que dañen, con base a su tiempo de vida útil, el ejemplo, cambios de consumibles en una máquina.

En su opinión Moubray (2003), “No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores”. (p.8). Aunque se modifique la esencia del funcionamiento de los equipos o se cambien repuestos antes del tiempo preestablecido por el fabricante, no se puede garantizar mayor confiabilidad que la ofrecida por el diseñador.

Es una estrategia utilizada para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico que asegure el desempeño de sus funciones, el objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad, es mantener las funciones de los sistemas al nivel de rendimiento fabricado, dado un determinado entorno operacional.

Desde otra perspectiva, Proveda & Martínez (2011), refieren que el mantenimiento centrado en la confiabilidad analiza las tareas de mantenimiento y el costo de las fallas, para la implementación de sus estrategias de mantenimiento” (p.1)

Estrategias importantes tales como, reducir el mantenimiento correctivo, aumentar la confiabilidad de los equipos durante su ciclo de vida, mediante técnicas proactivas, como el monitoreo de condiciones de operación y determinación de vida útil de ciertos componentes de un equipo para sustituirlo, el rediseño de instalaciones.

Así mismo, la confiabilidad puede ser definida como García (2007) “como la probabilidad en que un equipo o sistema de equipo realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas”. (p.20)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, por lo tanto, se propone preservar el estado original de diseño o normal de operación, es evidente que esto sea posible, los equipos deben ser capaces de cumplir las funciones, las cuales son seleccionados y que la selección haya tenido en cuenta la condición de operación real.

Bajo estos conceptos de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se realiza un análisis por componente de la máquina, del tiempo de vida útil del componente, determinado por el período que se presentaron fallas, información obtenida del historial de fallas, continuamente, se determina un período en el cual se deben de realizar sustituciones programadas, para dar paso a estimar el cálculo del porcentaje de confiabilidad de que un componente no fallara y provoque paros no programados.

Dicho cálculo fue realizado por medio de encontrar el valor Z en la tabla de distribución normal, el cual es igual a cociente de dividir, el resultado de resta del valor propuesto menos la media de un conjunto de datos del historial de fallas, entre la desviación estándar. De esta manera encuentro el valor de Z en la tabla de distribución normal de probabilidad, 1 menos el valor encontrado, proporciona el porcentaje de confiabilidad que el componente no falle. En el inciso 2.7 se explicará de manera descriptiva los cálculos realizados.

Con respecto a algunas de las ventajas del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se encuentran las siguientes:

- Si se aplica en una empresa que ya tenga implementado un sistema de mantenimiento preventivo, puede homologar el 80 % de las actividades de mantenimiento.
- Si se aplica en una empresa que no tenga implementado un sistema de mantenimiento preventivo, reduce la cantidad de actividades de mantenimiento correctivo, desde un 60 % a un 80 %.

- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados en el proceso, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden hacer y qué no, qué no puede esperar y quién debe hacer para conseguirlo.

El caso de la Planta de Corte y Doble, donde se realiza la investigación no contaba con un sistema de mantenimiento correctivo, por lo que la ventaja (b) es la de mayor impacto, redujo las actividades de mantenimiento correctivo e incrementó las actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad, por medio de sustitución de repuestos, periódicamente y en función del desgaste de repuestos.

1.1.5. Características del mantenimiento centrado en la confiabilidad

- Considera la fiabilidad del equipo o maquinaria.
- Asegura tiempo disponible para el desempeño de su función.
- Mantiene la calidad y capacidad productiva.
- Mejora el rendimiento.
- Mejora calidad de la producción.
- Permite que los equipos sigan operando en la condición del entorno operacional.

Estas características justificaron la elección de la herramienta en la investigación, principalmente las características (b) la cual dará por resultado la mejora porcentual de la disponibilidad de la maquinaria, ya que el mantenimiento centrado en la confiabilidad reduce las paradas no programadas en los equipos.

1.1.6. Pasos básicas para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad

En los pasos básicos para la implementación se evalúan aspectos que permitan controlar y satisfacer la sustitución de componentes claves, en todas las máquinas, medir la eficacia de las actividades de mantenimiento, por medio de indicadores.

- Listar la maquinaria.
- Codificar la maquinaria.
- Categorizar la maquinaria por medio de una matriz de criticidad.
- Realizar un formato de orden de mantenimiento, para análisis de períodos de sustitución, evaluación de indicadores.
- Inventariar las cantidades de partes y componente por máquina.
- Inventariar las fallas recurrentes asociadas con las partes y componentes de las máquinas.
- Determinar períodos óptimos de sustitución de repuestos.
- Calcular la confiabilidad de los equipos.
- Implementar indicadores con enfoque a disponibilidad de equipos.
- Realizar programas de períodos de sustitución.
- Conjuntar repuestos para posterior realizar solicitudes de repuestos para períodos anuales.

En el desarrollo de la investigación, la presente secuencia de pasos se sigue para obtener resultados, reflejado en la confiabilidad que la maquinaria permita producir y en la disponibilidad técnica de las mismas.

1.1.7. Funciones y niveles del desempeño del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Según Moubray (2005), “para determinar que debe hacerse en el componente es importante hacer dos cosas; determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla y asegurarse que el bien físico es capaz de comenzar realizar lo que se esperan” (p. 12).

Se pueden realizar dos clasificaciones para las funciones que estos usuarios esperan de los equipos y maquinaria, estas son primarias y secundarias.

Las funciones primarias, según Moubray (2005) “esta categoría de funciones cubren temas productivos tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente, bajo estas características se adquirió el equipo o maquinaria” (p. 12)

Las funciones secundarias, según Moubray, (2005) “esta categoría de funciones cubren temas ergonómicos tales como, aspectos de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medio ambientales” (p. 12)

1.1.8. Concepto de consecuencia y causa de falla en mantenimiento centrado en la confiabilidad

Uno de los términos clave en el mantenimiento centrado en la confiabilidad es el concepto de fallas, las cuales son un evento no deseado que se presenta en un equipo o componente; misma que afecta la funcionalidad, disponibilidad, mantenibilidad y en síntesis la vida útil del sistema.

Las fallas son factores trascendentales en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, como es el caso de las fallas funcionales que permiten identificar como puede fallar el componente en el ejercicio de sus funciones. Las fallas funcionales se definen por Moubray (2003), “incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado”. (p.11).

Los modos de falla deben ser determinados bajo los siguientes factores:

- Deben de probables de ocurrir.
- Deben incluirse los modos de falla que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido, pero son probables de ocurrir.
- Se deben incluir los modos de falla relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento. (Proveda, J, & Martínez E, 2011, p. 2)

En la investigación se consideran las sustituciones programadas de repuestos, considerando el modo de falla con el desgaste por abrasión del material que manufactura, con base a los historiales de fallas.

En su opinión, Pérez (2003), “enfatan no solo en la importancia de la identificación de las fallas funcionales, sino en los efectos que las fallas puedan tener”. (p.11) Es decir, que pasaría si la falla ocurriera, el análisis de las consecuencias de las fallas consiste en preguntar ¿cómo y cuánto afectará la falla? Esto con el propósito de verificar cuál es el nivel de atención para tratar la falla.

Se clasifican las fallas en cuatro grupos en función de las consecuencias, las cuales son:

- Las fallas que no son evidentes, las cuales no tienen impacto directo, pero exponen a la maquinaria a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. La manera como el mantenimiento centrado en la confiabilidad trata las fallas que no son evidentes, es, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- Las fallas que tienen consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, si puede afectar físicamente a alguien o algún aspecto ambiental, la manera como el mantenimiento centrado en la confiabilidad trata las fallas con consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, es, considerando las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- Las fallas que tienen consecuencias operacionales son las que afectan la producción en términos de capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos de la reparación, por lo que se requiere invertir en tratar de prevenirlas, la manera como mantenimiento centrado en la confiabilidad trata las fallas con consecuencias operacionales, y como se abordó en la investigación, es, inventariar las fallas recurrentes de las partes y componentes de la maquinaria, para determinar períodos óptimos de reparación o sustitución, con el fin de que no impacte en términos de producción.

- Las fallas que tienen consecuencias que no son operacionales, se clasifican en esta categoría las fallas evidentes que no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación, sin embargo, el mantenimiento centrado en la confiabilidad también puede tratarles, en el caso de esta investigación es tipo de fallas no fue punto de análisis. (Pérez, 2003, p.11-12).

Las causas de la fallas pueden clasificarse en 6 grupo y en función edad, aleatoriedad y mortalidad infantil.

- Fallas por contacto directo con el producto.
- Falla asociada con la fatiga.
- Falla asociada con la corrosión.
- Falla asociada con la abrasión.

Estas causas de fallas se encuentran asociadas a las fallas cíclicas en las que existe una zona de desgaste en un tiempo determinado.

Fallas que corresponden a equipos complejos y con frecuencias aleatorias, donde difícilmente se conoce un período de vida útil de componentes.

- Falla electrónica
- Falla hidráulica
- Falla neumática

La falla aleatoria puede ser súbita o progresiva, de ser súbita, no existe una manera de prevenirla y debe ser mitigada, en el caso de que la falla sea aleatoria y progresiva, se pueden monitorear las condiciones de operación para determinar un período adecuado para tratar un modo de falla. (Proveda & Martínez, 2011, p. 4)

En la investigación, se describieron las fallas comunes, las cuales se pueden categorizar dentro del tipo de fallas asociadas con la abrasión y desgaste en función del tiempo de uso, siendo fallas progresivas existe la manera de prevenirlas, como lo indica Martínez, a estas son a las que se les determina períodos de sustitución sistematizadas, que la maquinaria ofrezca disponibilidad técnica para producción, en el caso de las otras cinco clasificaciones de tipos de fallas, no son evaluadas en la investigación.

1.1.9. Clasificación de las actividades de mantenimiento

Las tareas o actividades del mantenimiento se clasifican en dos grupos en función del estado de los componentes y partes de los equipos y maquinaria.

Tareas o actividades, según condición de los componentes y partes de los equipos y maquinaria, las cuales se realizan, con el fin prevenir ciertos tipos de falla, por medio de técnicas prevención de fallas.

Estas actividades se basan debido a que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de la proximidad que se susciten, estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional. (Pérez & Moubray, 2003, p, 13).

Dichas indicios de fallas potenciales en los equipos y maquinaria se pueden identificar por medio de mantenimiento predictivo, o por medio de ensayos no destructivos, tales como termografía, ultrasonido, radiografía, partículas magnéticas, análisis de vibraciones y análisis de aceite.

Tareas o actividades de reacondicionamiento y sustitución cíclica, son las actividades programadas que se realizan, en los equipos y maquinaria, posterior a ser revisados, en sus partes y componentes, con la finalidad de

reparar o sustituir en determinados períodos de tiempo. (Pérez & Moubray, 2003, p, 14).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad clasifica las actividades en las siguientes 7 grandes fases:

- Fase 1: Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen la planta. Para ello es necesario recopilar esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

En esta fase, se realiza un listado de toda la maquinaria, sus partes y sus componentes, se codificó y se categorizó, con base a la criticidad dentro de la función en la planta.

- Fase 2: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Determinación de las especificaciones del sistema, listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto. Listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema.
- Fase 3: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.

En esta fase, dentro de la investigación, se realiza un inventario de fallas determinando la frecuencia en las partes y componentes de la maquinaria.

- Fase 4: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- Fase 5: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del plan de mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.

Como parte de las medidas preventivas que eviten estas fallas, en el desarrollo de la investigación, se realiza un plan de sustitución de repuestos, en frecuencias anticipadas a las fallas. Con base a la cantidad de sustituciones por partes y componentes, se obtuvo el inventario anual de repuestos, con la intención de no estar pagando varios pagos por transporte y envío.

- Fase 6: Definición clara de lo que se pretende implantando mantenimiento centrado en la confiabilidad. Determinación de indicadores, y valoración de éstos antes de iniciar el proceso.

Posterior a realizar cambios sistematizados, se implementa indicadores con enfoque a disponibilidad, como lo son los siguientes indicadores, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para la reparación de la falla y disponibilidad técnica.

- Fase 7: Evaluación de las medidas adoptadas, mediante la valoración de los indicadores seleccionados en la fase 6.

En la discusión de resultados, se evalúa el desempeño de los equipos posterior a realizar la sustitución sistematizada. Por medio de un promedio de disponibilidad técnica en la maquinaria.

1.1.10. Rutinas y tareas de mantenimiento a desarrollar en la maquinaria, para la prevención de la ocurrencia de fallas

Las rutinas y tareas de mantenimiento que se definieron para la prevención de la ocurrencia de las fallas en la maquinaria, se pueden agrupar en dos grandes categorías descritas: Tareas de sustitución cíclica y tareas de reacondicionamiento cíclico.

Las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes del límite de edad específico más allá de su condición en el momento de intervención.

De esta forma se maximiza el indicador de disponibilidad, ya que solo se programarán paradas por mantenimientos mayores y se reduce el indicador de paradas forzadas al prevenirse la ocurrencia de fallas en los sistemas auxiliares críticos, ya que al ser intervenidos (sustitución y reacondicionamiento cíclico) se espera que los equipos no presenten problemas al menos en el período de tiempo hasta la próxima intervención.

1.1.11. Justificación de la estrategia de mantenimiento, basada en la ejecución de tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico

En términos generales, las fallas en la medida que ocurran tendrán algún tipo de efectos directos o indirectos sobre la seguridad o el comportamiento funcional de la planta industrial. En qué medida la planta queda afectada depende del contexto operacional del equipo que ha fallado, su comportamiento funcional y los efectos físicos de la causa o modo de la falla ocurrida. Esta combinación de efectos, comportamiento funcional y contexto operacional, sugiere que cada falla tendrá consecuencias específicas asociadas a ella.

Limita la ocurrencia de fallas en los sistemas auxiliares asociados a las unidades de producción y específicamente a los equipos críticos que tienen una consecuencia directa en la parada de la unidad y por ende, en la imposibilidad de producir.

La justificación económica de la realización de las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico en los equipos críticos de los sistemas auxiliares antes mencionados se basa precisamente en que una vez que la unidad de producción se detiene deja inmediatamente de generar ganancias durante el período que toma corregir la falla y volver la unidad a servicio.

El tiempo para reparar la falla incluye todo el trabajo previo de desmontaje y montaje, posterior que en la mayoría de los casos ocupa un porcentaje importante, debido a la ubicación física de los equipos que dificulta las labores de los mantenedores por las condiciones adversas de espacio, iluminación, calor, ruido etc. En la tabla I, se pueden observar los tiempos de diagnóstico y reparación de equipos, según su naturaleza constructiva. (Ver tabla I)

Tabla I. Porcentaje de tiempo de diagnóstico y reparación de equipos de acuerdo con su naturaleza constructiva

Naturaleza	Diagnóstico	Reparación
Mecánico	10%	90%
Hidráulico	20%	80%
Eléctrico	60%	40%
Electrónico	90%	10%

Fuente: Cambell, Duffuaa & Raouf (2000)

En la tabla I, se describe la proporción de la relación de diagnóstico y reparación para los cuatro tipos de fallas.

Actividades de diagnóstico:

- Instante en que se verifica la falla.
- Tiempo para la localización del defecto.

- Tiempo para el diagnóstico.

Actividades de reparación:

- Tiempo para el desmontaje (Acceso).
- Tiempo para la remoción de la pieza.
- Tiempo de espera por repuestos (logístico).
- Tiempo para la substitución de piezas.
- Tiempo para el remontaje.
- Tiempo para ajustes y pruebas.
- Instante de retorno del equipo a la operación.

Hung (2008), Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene su alcance no solo en la en las fallas y sus consecuencias, sino en las características de estas fallas. Según García J, (2007).

“Integra una revisión de fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento. Así como también mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento, se gasta donde más beneficios va generar”. (García J, 2007 p.29)

Con relación a la tarea del mantenimiento García J, (2007) es necesario considerar que estas tareas requieren de algunos recursos mínimos para asegurar el éxito del mantenimiento, estos se agrupan en las categorías: abastecimiento, equipos de pruebas, personal, instalaciones, datos técnicos y recursos informáticos.

- Abastecimiento o aprovisionamiento: Es un nombre genérico que incluye el suministro de todos los repuestos, insumos, consumibles, suministros especiales, y artículos de inventario necesarios para apoyar a los procesos de mantenimiento.
- Equipos de prueba y apoyo: incluye todas las herramientas, equipos especiales de vigilancia de la condición, equipos de comprobación, metrología y calibración, bancos de prueba, y equipos auxiliares de servicio necesarios para apoyar a las tareas de mantenimiento asociadas al elemento o sistema.
- Personal: se incluye el necesario para la instalación, comprobación, manejo y realización del mantenimiento del elemento o sistema y de los equipos necesarios de prueba o apoyo. Debe considerarse la formación específica del personal necesario para cada tarea de mantenimiento.
- Instalaciones: incluye las instalaciones especiales necesarias para la ejecución de las tareas de mantenimiento. Deben considerarse las plantas industriales, edificios, edificaciones portátiles, fosos de inspección, diques secos, refugios, talleres de mantenimiento, laboratorios de calibración y otras instalaciones para reparaciones especiales y revisiones generales relacionadas con cada tarea de mantenimiento.
- Datos técnicos: procedimientos de comprobación, instrucciones de mantenimiento, procedimientos de revisiones generales, instrucciones de modificación, información sobre las instalaciones, planos y especificaciones que son necesarios para realizar las funciones de mantenimiento del sistema. Tales datos no solo se refieren al sistema, sino también al equipo de prueba y apoyo, transporte y manejo del equipo, equipo de instrucción e instalaciones.

- Recursos informáticos: comprende los ordenadores y sus accesorios, programas informáticos, discos y cintas de programas, bases de datos, etc. Necesarios para realizar las funciones de mantenimiento. Incluye tanto la vigilancia de la condición como el diagnóstico. (García J, 2007 p.11)

En la investigación, se busca optimizar ciertos recursos, por ejemplo en abastecimiento, reducción de costos por transporte y envíos, instalaciones, datos técnicos, descripción por actividades enviadas vía correo electrónico, para reducir impresión de hojas y recursos informáticos, se contó con una computadora de escritorio

1.2. Planeación Integrada producción-mantenimiento

Consiste en desarrollar un procedimiento general que contribuya al logro de la planeación integrada entre los subsistemas de producción y de mantenimiento, a nivel táctico. Se utiliza el análisis y diseño de algunos de los elementos fundamentales que determinan la eficacia del proceso de toma de decisiones en la planeación del mantenimiento y la objetividad necesaria de las decisiones en la planeación de la producción.

Según Sarango (2010), la programación tiene que ver con la hora o el momento específico y el establecimiento de fases o etapas de los trabajos planeados junto con las órdenes para efectuar el trabajo, su monitoreo, control y el reporte de su avance. Es obvio que una buena planeación es un requisito previo a la programación. (p, 63)

1.2.1. Procedimiento para la planeación integrada producción mantenimiento a nivel táctico

El procedimiento para la planeación integrada producción mantenimiento a nivel táctico se detalla de la siguiente manera:

- Evaluar sistemas de mantenimiento posibles de adoptar en la planta.
- Evaluar la metodología para la gestión del mantenimiento.
- Analizar el valor de las actividades en los activos fijos.
- Establecer un sistema de mantenimiento más adecuado.
- Evaluación el impacto del sistema de mantenimiento propuesto.

Díaz, (2015), procedimiento para la planeación integrada producción mantenimiento a nivel táctico.

En la investigación se realiza un cuadro comparativo entre la disponibilidad de equipos antes de sistematización de mantenimiento, y después de la sistematización para evaluar la mejora después de la implementación.

1.3. Indicadores de mantenimiento

Fernández M, & Shkiliova L, (2012), refieren respecto a los indicadores de mantenimiento.

Actualmente, a nivel internacional se utiliza un grupo de indicadores para evaluar la función mantenimiento, clasificados como de clase mundial, debido a que presentan las mismas denominaciones y expresiones en todos los países, aparte de estar presentes en todas las normas de referencia sobre el tema. Del total de estos indicadores, cuatro se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costo.

Además, Fernández M, & Shkiliova L, (2012), impulsan a tomar en cuenta que para la utilización de los indicadores de mantenimiento, estos deben estar alineados o fundamentados en las necesidades y políticas de cada empresa; incluyendo el análisis de los recursos de producción y los recursos humanos. Por lo tanto, al perder de vista estos aspectos los indicadores de mantenimiento no cumplen su objetivo dentro de las empresas.

Según la perspectiva de Amendola (2004), los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

La incidencia del factor humano en el mantenimiento está relacionado con el grado de conocimiento específico como lo argumenta Cárcel (2016) “La actividad de mantenimiento requiere conocimientos muy específicos y variados; destacando el de diferentes y, en muchas ocasiones, novedosas tecnologías. Su optimización es compleja y la toma de decisiones se desenvuelve en un ambiente de incertidumbre”. (p, 13)

Así mismo no solo incide el factor humano con sus conocimientos, sino que la toma de decisiones o acciones tomadas respecto a la detección de fallas, como menciona Cárcel (2016), la incidencia del factor humano “desenvuelve en un ambiente de incertidumbre” (p, 14), debido a que el comportamiento del ser humano es menos regular que la máquina.

1.3.1. Metodología de implementación de Indicadores de mantenimiento.

Con base a lo anterior, se considera que en los momentos actuales, los trabajos encaminados a la gestión del mantenimiento en los talleres del sector industrial deben estar dirigidos en una primera etapa a sentar las bases que permitan implementar paulatinamente un sistema de gestión, donde los indicadores a evaluar no solo contemplen los aspectos técnicos, sino también los económicos y los ambientales. En esta primera etapa, la gestión debe estar enfocada a garantizar el control técnico de las máquinas y utilizar con este fin indicadores que garanticen la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad de las mencionadas máquinas.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se considera que la evaluación y medición de la actividad de mantenimiento y reparación, a través de tres indicadores fundamentales de clase mundial: Tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparación y disponibilidad técnica de equipos.

En la investigación se implementa, tres de cinco de los principales indicadores de mantenimiento para gestionar la función mantenimiento: Tiempo medio entre fallas (MTBF), Tiempo medio para la reparación (MTTF), disponibilidad de equipo (DISP), obviando los siguientes indicadores, costo de mantenimiento por facturación y costo para la eliminación de las fallas.

1.3.2. Principales Indicadores de la gestión de mantenimiento.

Dentro de los principales indicadores para medir el desempeño de la gestión de mantenimiento están los siguientes:

1.3.2.1. Tiempo medio entre fallas

El indicador tiempo medio entre fallas, según Gamarra (2009) se refiere a la “relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el período observado”. (p, 61)

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo programado} - \text{Tiempo de parada por averías}}{\text{Cantidad de fallas}} \text{ horas/falla}$$

Fórmula No. 1

1.3.2.2. Tiempo medio de recuperación de la falla

Gamarra (2009), nombra como “tiempo medio para reparar, este es un indicador que mide el tiempo en que en promedio demorará en ponerse operativa un equipo” (p. 61)

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo de parada por averías}}{\text{Cantidad de fallas}} \text{ horas/falla}$$

Fórmula No. 2

1.3.2.3. Disponibilidad técnica.

Gamarra (2009), en relación al indicador Disponibilidad técnica se refiere a que “La disponibilidad propiamente dicha es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada” (p, 61)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTF)}$$

Fórmula No. 3

Estos indicadores coinciden, tanto en su formulación como en su contenido, con los respectivos indicadores de la fiabilidad: trabajo útil medio hasta la falla, tiempo medio de restablecimiento de la capacidad de trabajo y el coeficiente de disponibilidad técnica, que se utilizan ampliamente en los estudios de la fiabilidad de la maquinaria agrícola, por lo que al calcularlos se puede gestionar la función mantenimiento.

En la investigación se implementa estos tres indicadores que actualmente permiten medir el desempeño del mantenimiento, para comparar entre la metodología anterior y después de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan los aspectos de la investigación relacionados al diagnóstico de la gestión de mantenimiento previa a la sistematización del modelo de mantenimiento.

2.1. Antecedentes de la empresa

La investigación se centra en una Planta de Corte y Doble de una empresa metalúrgica, la planta en mención centraliza sus operaciones en la fabricación de hierro en formas, para lo cual utiliza 9 máquinas automáticas que tienen básicamente la misma funcionalidad y componentes entre sí, tales como conjunto de ruedas de arrastre y conjunto de ruedas de enderezado que son movidas por servomotores transmitiendo a cajas reductoras la potencia.

Con el estudio se obtienen los siguientes aspectos importantes, que se implemente de la sistematización de mantenimiento, producciones de productos en los estándares de calidad, contar con niveles adecuados de repuestos para realizar sustituciones sistematizadas, contar con una alta disponibilidad y capacidad operativa de la maquinaria para cumplir con la demanda del mercado, la ampliación de las actividades del personal de mantenimiento.

2.2. Codificación de equipos y maquinaria

Continuamente se describen la maquinaria de la Planta de Corte y Doble, de donde se obtuvieron los datos para el análisis.

Tabla II. Lista de máquinas de la planta de corte y doble

No.	Equipo	Matrícula	Descripción de familia
1	Cizalla	Opti Speddy Bat	Cizalla automática
2	Dobladora	Robomaster 60	Dobladora automática
3	Cizalla	Shearline	Cizalla automática
4	Dobladora	Robomaster 45	Dobladora automática
5	Estribadora	Coil 16 uhs 3d	Estribadora automática
6	Estribadora	Coil 16 uhs	Estribadora automática
7	Estribadora	Fórmula 14	Estribadora automática
8	Estribadora	Fórmula 14 uhs	Estribadora automática
9	Enderezadora	Reta 16	Enderezadora automática

Fuente: elaboración propia.

En la tabla II, se lista las 9 máquinas donde se describe el equipo, matrícula y al tipo de familia que pertenecen, a las cuales se les realiza el análisis de criticidad, se describe la cantidad de partes y la frecuencia de fallas.

2.3. Codificación de equipos y maquinaria

Continuamente se describen la maquinaria de la Planta de Corte y Doble de acuerdo a su codificación que se le asignó.

Tabla III. **Codificación de maquinaria de la Planta de Corte y Doble**

No.	Equipo	Matricula	Descripción	Código
1	Cizalla	Opti Speddy Bat	Cizalla automática	Ci01opti
2	Dobladora	Robomaster 60	Dobladora automática	Do02robo
3	Cizalla	Shearline	Estribadora automática	Ci03shea
4	Dobladora	Robomaster 45	Estribadora automática	Do04robo
5	Estribadora	Coil 16 uhs 3d	Estribadora automática	Es05coil
6	Estribadora	Coil 16 uhs	Estribadora automática	Es06coil
7	Estribadora	Fórmula 14	Estribadora automática	Es07form
8	Estribadora	Fórmula 14 uhs	Enderezadora automática	En08form
9	Enderezadora	Reta 16	Enderezadora automática	En09reta

Fuente: elaboración propia.

En la tabla III, se lista la codificación de la maquinaria que permitirá la fácil ubicación y procesamiento de datos, para determinar los períodos óptimos de sustitución de repuestos.

2.4. Matriz de criticidad de equipos

A continuación se describen el análisis de criticidad de equipos, se evalúa en tres áreas en las que una o varias fallas puedan tener impacto, las cuales son producción, costo de mantenimiento, calidad, para calcular consecuencia de la falla.

Tabla IV. Ponderación de criticidad de maquinaria

No.	Equipo	Código	Descripción de Familia	Producción			Costo de manto.			Calidad			Frecuencia			Severidad	Frecuencia	Criticidad	Criticidad >= 40
				A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B				
1	Opti Speddy Bat	Ci01opti	Cizalla automática	9			5			7			8			7	8	56	crítico
2	Robomas ter 60	Do02robo	Dobladora automática	6					2	5			7			4.3	7	30.3	No crítico
3	Shearline	Ci03shea	Cizalla automática	9			4			7			8			6.7	8	53.3	crítico
4	Robomas ter 45	Do04robo	Dobladora automática	6					2	5			7			4.3	7	30.3	No crítico
5	Coil 16 uhs 3d	Es05coil	Estribadora automática	5			5			7			7			5.7	7	39.7	No crítico
6	Coil 16 uhs	Es06coil	Estribadora automática	5			5			6			6			5.3	6	32	No crítico
7	Fórmula 14	Es07form	Estribadora automática	5			4				3		7			4	7	28	No crítico
8	Fórmula 14 uhs	En08form	Estribadora automática	5			5				3		8			4.3	8	34.7	No crítico
9	Reta 16	En09reta	Enderezadora automática	6		9				6			8			7	8	56	crítico

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV, se realiza el cálculo de la criticidad de la maquinaria, se dio un valor de acuerdo a la siguiente ponderación, si el impacto es bajo tendrá un valor entre 1 a 3, si el impacto es medio tendrá un valor 4 a 6, y el último rango es si el impacto es alto, tendrá un valor entre 7 y 9.

Luego se realiza el promedio de los valores dados a cada área de las que se evalúa, luego se pondera de 1 a 8 la frecuencia de las fallas de acuerdo a los históricos de fallas que sirvieron en la estudio, el producto de la probabilidad por la consecuencia arriba de valor 40 se consideran como equipos críticos, según el análisis de criticidad de la maquinaria y son a los que se les debe de dar mayor atención en la sistematización del modelo de mantenimiento. (Ver figura 3)

Figura 3. **Análisis para la criticidad de la maquinaria**

Frecuencia de falla	8	8	16	24	32	40	48	56	64
	7	7	14	21	28	35	42	49	56
	6	6	12	18	24	30	36	42	48
	5	5	10	15	20	25	30	35	40
	4	4	8	12	16	20	24	28	32
	3	3	6	9	12	15	18	21	24
	2	2	4	6	8	10	12	14	16
	1	1	2	3	4	5	6	7	8
		1	2	3	4	5	6	7	8

Consecuencia de Falla

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3, se calcula con el análisis de criticidad, y las máquinas crítica son: Ci01opti, cizalla automática Opti Speddy Bat, Ci03shea, cizalla automática Shearline y En09reta, Enderezadora Reta 16, ya que el impacto que estas máquinas no produzcan es mayor al resto de la maquinaria.

El sistema de producción de la Planta de Corte y Doble, es mixto, ya que las únicas máquinas que requieren secuencias de bietas de producción son: Robomaster 60 y Robomaster 45, las cuales deben de ser alimentadas por las máquinas, Opti Speddy Bat y Shearline respectivamente, el resto de máquinas requieren secuencias monoetas, lo cual justifica que dos de las tres máquinas que se categorizo como críticas lo sean.

2.5. Diseño e Implementación de órdenes de mantenimiento

A continuación se presenta el diseño implementado para describir las actividades a realizar en cada mantenimiento, conocido como ORMAN, indica el tipo de mantenimiento a realizar de los cuales pueden ser, correctivo, preventivo, predictivo o programable, la parte de la máquina donde se realizarán las actividades, incluye herramientas y equipos a utilizar. (Ver figura 4)

Figura 4. Formato de orden de mantenimiento

[illegible]

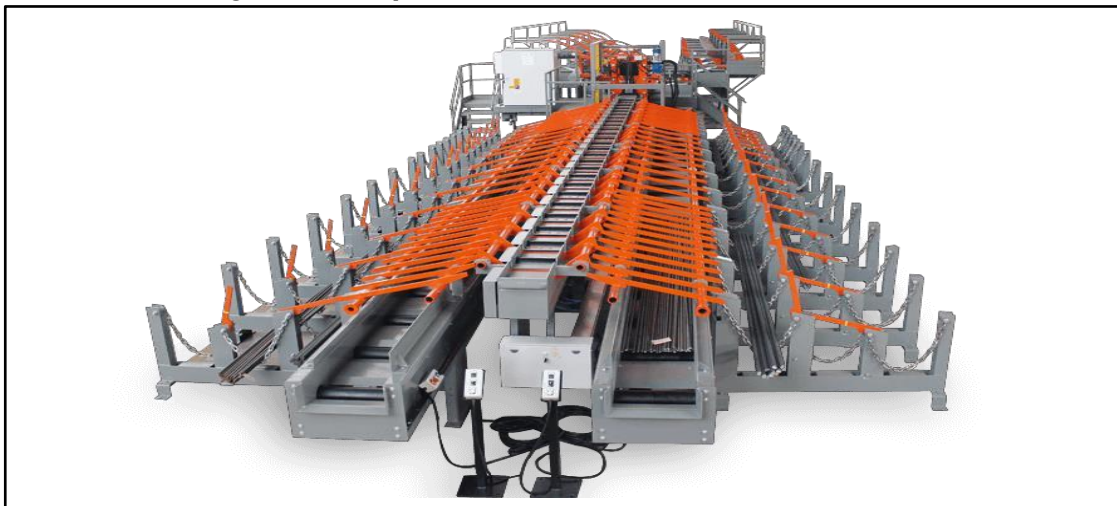
Fuente: elaboración propia.

El formato de orden de mantenimiento se implementa para uso de la gestión de mantenimiento, con la finalidad de toma de datos para obtener los indicadores basados en la confiabilidad y determinar los períodos óptimos de cambios de repuestos consumibles.

2.6. Descripción de maquinaria y fallas recurrentes obtenidas de las órdenes de mantenimiento para el análisis y determinación de los períodos de sustitución sistematizada de principales componentes

A continuación se describen cada una de la máquinas y sus partes, las fallas recurrentes obtenidas, a través de las órdenes de mantenimiento, las cuales servirán para el análisis y determinación de los períodos de sustitución sistematizada de los principales componentes.

Figura 5. Máquina Shearline familia de cizallas automáticas



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

La máquina cizalla automática Shearline tiene un principio de funcionamiento de hidráulico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen mover ruedas de arrastre que mueven las varillas de diferentes diámetros, las cuales son medidas por medio de un encoder para

luego cortarlas, como un producto terminado y como material semielaborado para las máquinas dobladoras.

Tabla V. sub-partes y componentes de cizalla Shearline

Familia	Descripción	Cantidad
Central hidráulica	Bomba hidráulica	1
Medida	Carro de medida	1
Cuchillas	Cuchilla fija	1
	Cuchilla móvil	1
Banco de	Rodillo motorizado	1
Almacenamiento	Rueda de traslación motriz	4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla V, se describe los componentes más importantes de la cizalla Shearline, y la cantidad de componentes con la que cuenta la máquina, a los cuales se les mide la frecuencia y cuál es la falla más recurrente, en un período un año.

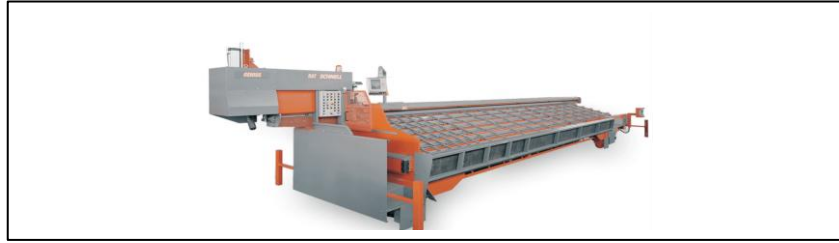
Tabla VI. Fallas recurrentes en cizalla Shearline

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Ruptura de tornillos del cilindro en la base.	2
Desajuste de Encoder de carro de medida en error.	3
Desgaste de cuchillas de corte.	4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI, se describe las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de la cizalla Shearline, a los cuales se les aplicará el análisis de confiabilidad para determinación del período.

Figura 6. **Máquina Opti Speddy Bat familia de cizallas automáticas**



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

La máquina cizalla automática Opti Speddy Bat, tiene un principio de funcionamiento de mecánico eléctrico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen mover ruedas de arrastre que mueven las varillas de diferentes diámetros, las cuales son medidas por medio de un encoder para luego cortarlas, para posterior acomodarlas en diferentes canales, como un producto terminado y como material semielaborado para la máquinas dobladoras.

Tabla VII. **sub-partes y componentes de cizalla Opti Speddy Bat**

Familia	Descripción	Cantidad
Arrastre	Ruedas de arrastre	5
Medida	Rueda de medida	2
Contraste	Anillo elástico rueda libre	1
	Cuchilla fija	1
	Cuchilla móvil	1
Inserción de hilo	Rodillo vertical	1
	Rodillo horizontal perfilado	1
	Rueda de anillos 20 por rueda	60
Banco de	Rodillo motorizado	1
	Rueda de traslación motriz	4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII, se describe los componentes más importantes de la cizalla Opti Speddy Bat, y la cantidad de componentes con la que cuenta la máquina, a los cuales se les mide la frecuencia y cuál es la falla más recurrente, medido en un período de un año.

Tabla VIII. **Fallas recurrentes en cizalla Opti Speddy Bat**

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Falta de lubricante en conjunto de arrastre	2
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre.	6
Desgaste en ruedas de arrastre.	1
Desgaste de anillos de ruedas de inserción de hilo.	1
Desgaste de cuchillas de corte.	8

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VIII, se describe las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de la cizalla Opti Speddy Bat, a los cuales se les aplicará el análisis de confiabilidad para determinación del período.

Figura 7. **Máquina Robomaster 45 familia de dobladoras automáticas**



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

La máquina dobladora automática Robomaster 45, tiene un principio del funcionamiento de mecánico eléctrico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen mover los ejes de plegado para envolver varillas corrugadas de diferentes medidas en ejes normados para dobleces, tomando como el punto de referencia la mesa fija para la medición y doblado del otro extremo de las varillas.

Tabla IX. **Sub-partes y componentes de dobladora Robomaster 60**

Familia	Descripción	Cantidad
Inserción de hilo	Pastilla pinza	4
Mesa fija	Brazo de doblado	1
Mesa móvil	Brazo de doblado	1
Doblado	Bulón de doblado	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX, se describe los componentes más importantes de la dobladora Robomaster 45, y la cantidad de componentes con la que cuenta la máquina, a los cuales se les mide la frecuencia y cuál es la falla más recurrente, medido en un período de un año.

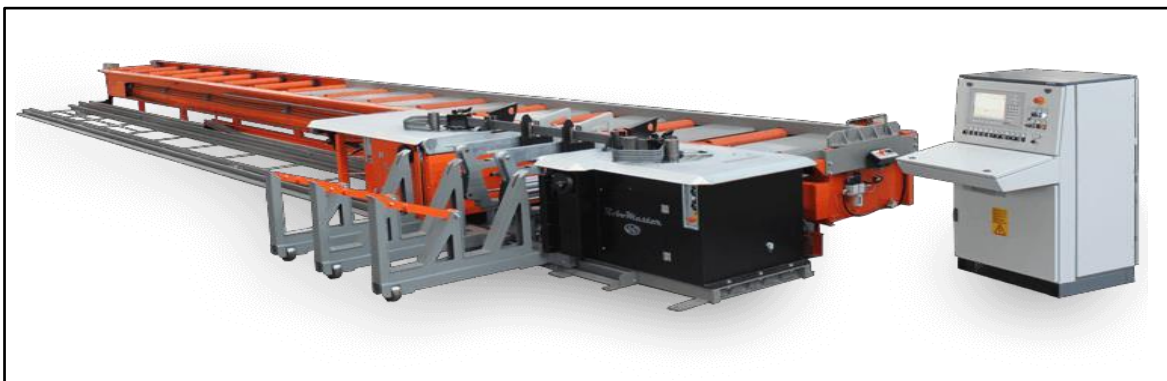
Tabla X. **Fallas recurrentes en dobladora Robomaster 60**

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Falta de lubricante en caja reductora mesa fija	1
Ruptura de cadena de traslación de mesa móvil.	2
Falta de lubricante en caja reductora mesa móvil	1
Ajuste de encoder de movimiento de traslación.	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X, se describe las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de la dobladora Robomaster 45, a los cuales se les aplicará el análisis de confiabilidad para determinación del período.

Figura 8. **Máquina Robomaster 60 de familia de dobladoras automáticas**



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

La máquina dobladora automática Robomaster 60, tiene un principio del funcionamiento de mecánico eléctrico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen mover los ejes de plegado para envolver varillas corrugadas de diferentes medidas en

ejes normados para dobleces, tomando como el punto de referencia la mesa fija para la medición y doblado del otro extremo de las varillas.

Tabla XI. Sub-partes y componentes de dobladora Robomaster 60

Familia	Descripción	Cantidad
Inserción de hilo	Pastilla pinza	4
Mesa fija	Brazo de doblado	1
Mesa móvil	Brazo de doblado	1
Doblado	Bulón de doblado	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI, se describe los componentes más importantes de la dobladora Robomaster 60, y la cantidad de componentes con la que cuenta la máquina, a los cuales se les mide la frecuencia y cuál es la falla más recurrente, medido en un período de un año.

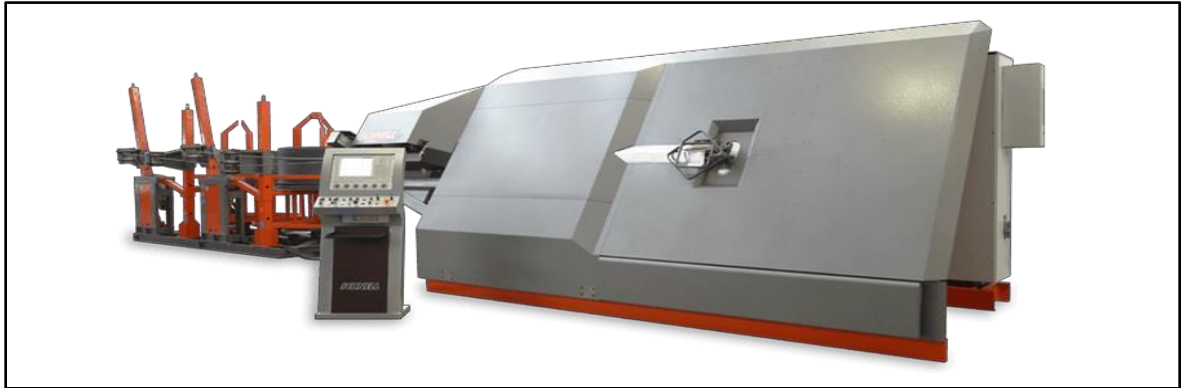
Tabla XII. Fallas recurrentes en dobladora Robomaster 60

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Falta de lubricante en caja reductora mesa fija	1
Ruptura de cadena de traslación de mesa móvil.	2
Falta de lubricante en caja reductora mesa móvil	1
Ajuste de encoder de movimiento de traslación.	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XII, se describe las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de la dobladora Robomaster 60, a los cuales se les aplicará el análisis de confiabilidad para determinación del período.

Figura 9. Máquina Coil 16 UHS 3, máquina Coil 16 UHS, máquina Fórmula 14, máquina Fórmula 14 UHS - familia de estribadoras automáticas



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

Las máquinas estribadoras automáticas tienen un principio de funcionamiento de mecánico eléctrico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen arrastrar el material hacia la máquina, liberando los devanadores para permitir el arrastre, luego enderezar el alambón corrugado por medio del tren enderezador vertical y horizontalmente compuesto por nueve ruedas respectivamente, luego formar el alambón corrugado por medio de un brazo de doblado, con dos tipos de movimientos, uno axial y el otro radial, luego realizar el corte del alambón por medio de cuchillas movidas por un servomotor y caja reductora.

Tabla XIII. **Sub-partes y componentes de estribadora Coil 16 UHS 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14 y Fórmula 14 UHS**

Familia	Descripción	Cantidad
Arrastre	Rueda de arrastre de=235.50 z=116 m=2 dp=232	4
Enderezado	Rueda de enderezado de=108 di=72 dp=92 a=60	8
Interno	Rueda del enderezador partida llana de=111 di=56	4
	Rueda de medida de=232 di=30	1
	Anillo en goma di=95.500 de=124 sp=33	1
	Anillo de presión di=124 de=148 sp=35	1
Enderezado	Rueda de enderezado combinada de=106 di=72	6
Externo	Rueda de enderezado partida combinada de=108 di=56	4
	Rueda anti-twist de=108 di=172	2
Inserción de hilo	Rueda de=158 di=56	1
	Rueda separadora de hilos	1
	Rueda presencia de hilo h=52 de=76 di=45	1
	Rueda de contraste de=160 di=64 h=64	1
	Rueda de enderezado dp=90 de=108 h=48	1
Cuchilla	Cuchilla fija	1
	Cuchilla móvil	1
Brazo de doblado	Pinza de bulón	1
	Perno de doblado	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII, se describe las sub partes y la cantidad de componentes mas importante de las estribadoras Coil 16 UHS 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14 y Fórmula 14 UHS a las cuales se les describe la cantidad de componentes y mide la frecuencia de las fallas más recurrentes, medición en un período de un año.

Tabla XIV. **Fallas recurrentes en estribadora Coil 16 UHS 3D, Coil 16, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS**

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Desgaste de ruedas de arrastre	1
Desgaste de ruedas de enderezado	1
Desgaste de rueda de contraste	1
Desgaste de rueda de medida	1
Desgaste de cuchilla móvil de corte	2
Desgaste de cuchilla fija de corte Ruptura de perno de plegado	2
Falta de lubricante en caja reductora de caja reductora	2
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre	4
Desajuste de tornillos de devanadores.	6
Desajuste de sensores de posición.	6
Desajuste de sensores de posición.	8

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIV, se describe las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de las estribadoras Coil 16 uhs 3D, estribadoras Coil 16, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS, a las cuales se les aplica el análisis de confiabilidad para determinación del período, adicionalmente se puede observar que la cantidad de fallas se incrementa directamente proporcional a la cantidad de componentes, asimismo se observa un mayor número de fallas registradas en los diferentes componentes.

Figura 10. Máquina RETA 16 - Familia de enderezadora automáticas



Fuente: <http://www.schnellsoftware.com/>

La máquina enderezadora automática, tiene un principio del funcionamiento de mecánico eléctrico, por medio de servomotores conectados a cajas reductoras, hacen arrastrar el material hacia la máquina, luego enderezar el alambrón corrugado por medio del tren enderezador vertical y horizontalmente compuesto por nueve ruedas respectivamente, luego realizar el corte de medida establecida del alambrón por medio de cuchillas movidas por un servomotor y caja reductora.

Tabla XV. **Sub-partes y componentes de enderezadora Reta 16**

Familia	Descripción	Cantidad
Arrastre	Rueda de arrastre de=235.50 z=116 m=2 dp=232	4
Enderezado	Rueda de enderezado de=108 di=72 dp=92 a=60	8
Interno	Rueda del enderezador partida llana de=111 di=56	4
	Rueda de medida de=232 di=30	1
	Anillo en goma di=95.500 de=124 sp=33	1
	Anillo de presión di=124 de=148 sp=35	1
	Rueda de enderezado combinada de=106 di=72	8
Externo	Rueda de enderezado partida combinada de=108 di=56	4
	Guía hilo fijo	1
Inserción de hilo devanadora	Rueda contraste guía hilo cable acerado	1
	Rueda contraste guía hilo cable acerado	1
Cuchilla	Cuchilla móvil	1
	Cuchilla fija	1
Vía de rodillos	Sensor óptico vía de rodillos	2
Guía hilo	Guía hilo fijo 62x37 l=70 p/n	1
	Repuesto guía hilo entrada d=90 l=60	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XV, se describe los componentes más importantes de la enderezadora Reta 16 a las cuales se les describe la cantidad de componentes y mide la frecuencia de las fallas más recurrentes, medición en un período de un año.

Tabla XVI. **Fallas recurrentes en enderezadora, Reta 16**

Fallas recurrentes:	Cantidad de fallos (Anual)
Desgaste de ruedas de arrastre	8
Desgaste de ruedas de enderezado	6
Desgaste de rueda de medida	6
Desgaste de rueda contraste	6
Desgaste de cuchilla móvil de corte	12
Desgaste de cuchilla fija de corte	12
Falta de lubricante en caja reductora de caja reductora	3
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre	12
Desajuste de encoder de medida	1
Desgaste de horquillas sujetadoras de canal	4
Desgaste de guía hilo de entrada	6
Desgaste de guía hilo de fijo.	6

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI, se describen las fallas más importantes, y las frecuencias de fallas de enderezadora automática Reta 16, a los cuales se les aplicará el análisis de confiabilidad para determinación del período, se puede observar que la cantidad de fallas se incrementa directamente proporcional a la cantidad de componentes, al igual se observan un mayor número de fallas registradas en los diferentes componentes.

2.7. Análisis estadísticos para la determinación de tiempo óptimos de sustitución de repuestos

Análisis de mantenimientos centrados en la confiabilidad.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es la confianza que tiene un componente, equipo o parte, de desempeñar una función básica durante un período establecido.

Descripción	Periodos en que se presentan la falla (meses)				μ
	1.65	1.56	1.54	1.61	
Desgaste de ruedas de arrastre					1.590

A fines de ejemplo, se analiza la confiabilidad con base en los históricos de fallas para un componente de la enderezadora, Reta 16.

Análisis estadísticos.

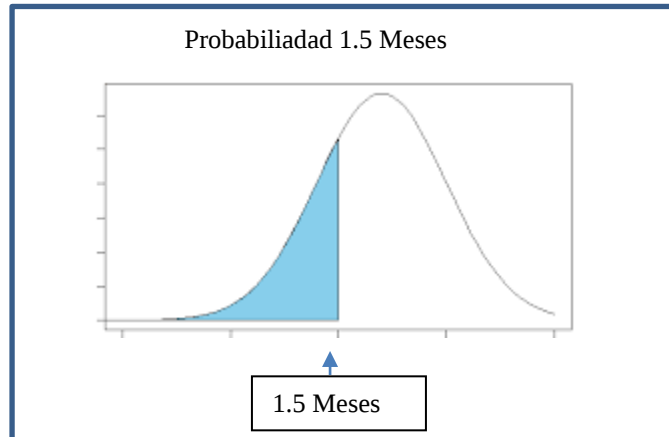
La probabilidad de que componente de la enderezadora Reta 16, se desgaste en tiempo menor de 1.5 meses (Valor establecido en la sistematización del modelo de mantenimiento) se describe a continuación.

$$\text{Promedio } (\mu) = 1.590$$

$$\text{Desviación Estándar } (\sigma) = 0.04966554$$

X = 1.5 Meses (Valor propuesto para la sistematización de componentes)

Figura 11. Probabilidad de falla antes de 1.5 meses (Propuesta ejemplo)



$$P(x < 1.5) \quad P(Z_c)$$

$$Z_c = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$$Z_c = \frac{1.5 - 1.59}{0.0466}$$

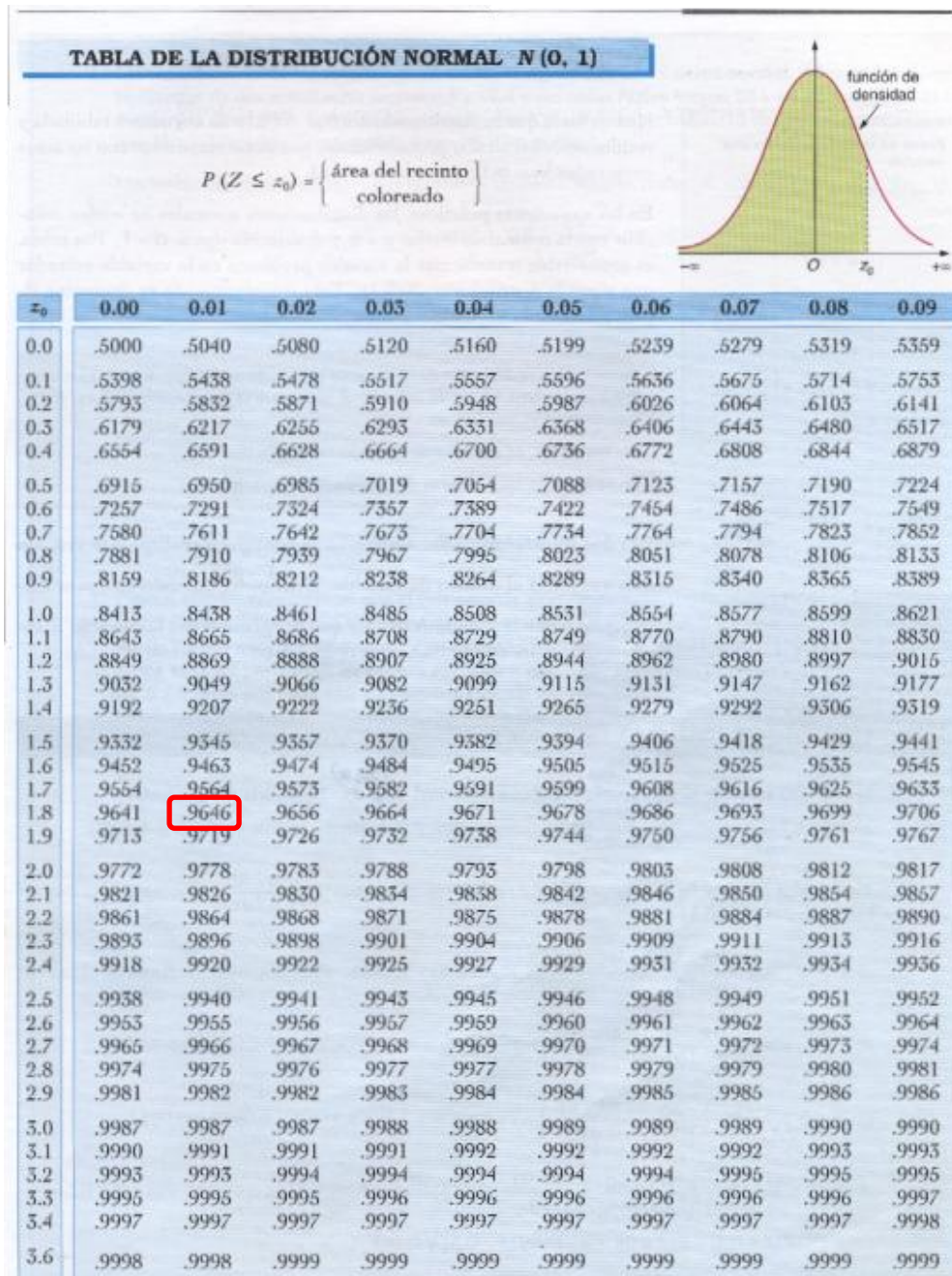
$$Z_c = -1.8121$$

n = 0.9646 Se consulta en figura 12. Distribucion normal de probabilidades.

$1 - 0.0354 = 96.46$ % de Confiabilidad de que el componente durara sin desgaste 1.5 meses.

Todos los períodos de la sistematización del modelo de mantenimiento establecidos son calculados, para garantizar una confiabilidad mayor 95 %.

Figura 12. Distribucion normal de probabilidades.



Todos los periodos de la sistematización del modelo de mantenimiento establecidos son calculados para garantizar una confiabilidad mayor 95%.

A continuación se presenta un análisis estadístico para determinar el período promedio en que se realizaron los cambios de componentes, debido a alguna avería o desgaste presentado en los componentes, los cuales servirán para determinar los tiempos óptimos de sustitución de repuestos en cada una de la maquinaria.

- Análisis para máquina “**Cizalla Shearline**”.

Tabla XVII. **Períodos promedio de fallas de componentes “cizalla Shearline”.**

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)					μ	Mediana	DS	Valor Deseado	Z	DN	Confiabilidad
Ruptura de tornillos del cilindro en la base.	6.14	6.07	6.03	6.14	6.095	6.105	0.054		6	-1.74	0.041	95.94%
Desajuste en encoder de carro de medida en error.	4.15	4.06	4.04	4.11	4.09	4.090	0.05		4	-1.81	0.035	96.50%
Desgaste de cuchillas de corte.	3.16	3.08	3.03	3.13	3.1	3.100	0.057		3	-1.75	0.04	95.99%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVII, se muestra que de acuerdo a los períodos en qué se dieron las fallas en la cizalla Shearline, se puede obtener con base en el análisis estadístico el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual se garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

- Análisis para máquina “**cizalla Opti Speddy Bat**”

Análisis de los períodos promedios de fallas en los componentes en cizalla Opti Speddy Bat.

Tabla XVIII. **Períodos promedio de fallas de componentes**

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)							Valor			
	M	Mediana	DS	Deseado	Z	DN	Confiabilidad				
Falta de lubricante en conjunto de arrastre	6.14	6.07	6.03	6.14	6.095	6.105	0.054	6	-1.74	0.041	95.94%
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre.	2.13	2.07	2.04	2.11	2.088	2.088	0.04	2	-2.17	0.015	98.50%
Desgaste en ruedas de arrastre.	12.05	12.06	12.04	12.12	12.07	12.060	0.036	12	-1.88	0.03	96.98%
Desgaste de anillos de ruedas de inserción de hilo.	12.12	12.1	12.01	12.11	12.09	12.100	0.051	12	-1.68	0.047	95.33%
Desgaste de cuchillas de corte.	1.64	1.54	1.57	1.59	1.585	1.585	0.042	1.5	-2.02	0.022	97.84%

“cizalla Opti Speddy Bat”

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVIII, se muestra que de acuerdo a los períodos en qué se dieron las fallas en la cizalla Opti Speddy Bat, se puede obtener con base a análisis estadístico el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual se garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

- Análisis para máquina “**dobladora Robomaster 45**”.

Análisis de los períodos promedios de fallas en los componentes en dobladora Robomaster 45.

Tabla XIX. **Períodos promedio de fallas de componentes**
“dobladora Robomaster 45”

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)							Valor Deseado	Z	DN	Confiabilidad
	M	Mediana	DS								
Falta de lubricante en caja reductora mesa fija	12.12	12.1	12.01	12.11	12.09	12.105	0.051	12	-1.68	0.047	95.33%
Ruptura de cadena de traslación de mesa móvil.	12.05	12.06	12.04	12.12	12.07	12.060	0.036	12	-1.88	0.03	96.98%
Falta de lubricante en caja reductora mesa móvil	12.12	12.1	12.01	12.11	12.09	12.100	0.051	12	-1.68	0.047	95.33%
Desajuste de encoder de movimiento de traslación.	12.13	12.11	12.02	12.09	12.09	12.090	0.048	12	-1.83	0.034	96.62%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIX, se determina que de acuerdo a los períodos en qué se dieron las fallas en la dobladora Robomaster 45, se puede obtener con base a análisis estadístico el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

- Análisis para máquina **“dobladora Robomaster 60”**.

Análisis de los períodos promedios de fallas en los componentes en dobladora Robomaster 60.

Tabla XX. Períodos promedio de fallas de componentes “Dobladora Robomaster 60”

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)					Media na	DS	Valor Desea do	Z	DN	Confiabil idad
					μ						
Falta de lubricante en caja reductora mesa fija	12.13	12.11	12.02	12.09	12.09	12.10 0	0.048	12	-1.83	0.034	96.62%
Ruptura de cadena de traslación de mesa móvil.	6.14	6.12	6.08	6.23	6.143	6.140	0.063	6	-2.25	0.012	98.77%
Falta de lubricante en caja reductora mesa móvil	12.12	12.1	12.01	12.11	12.09	12.10 0	0.051	12	-1.68	0.047	95.33%
Desajuste de encoder de movimiento de traslación.	12.05	12.06	12.04	12.12	12.07	12.06 0	0.036	12	-1.88	0.03	96.98%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XX, se determina que de acuerdo a los períodos en que se dieron las fallas en la dobladora Robomaster 60, se puede obtener con base a análisis estadístico, el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual se garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

- **Análisis para máquina estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS.**

Análisis de los períodos promedios de fallas en los componentes en estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS.

Tabla XXI. Períodos promedio de fallas de componentes estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS.

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)							Valor Deseado			
	M	Mediana	DS	o	Z	DN	Confiabilidad				
Desgaste de ruedas de arrastre	12.13	12.11	12.02	12.09	12.09	12.100	0.048	12	-1.8278	0.034	96.62 %
Desgaste de ruedas de enderezado	12.05	12.06	12.04	12.12	12.07	12.060	0.036	12	-1.8781	0.03	96.98 %
Desgaste de rueda de medida	12.12	12.1	12.01	12.11	12.09	12.100	0.051	12	-1.6778	0.047	95.33 %
Desgaste de contraste	12.12	12.1	12.04	12.12	12.1	12.100	0.038	12	-2.5093	0.006	99.40 %
Desgaste de cuchilla móvil de corte	6.14	6.12	6.08	6.23	6.143	6.140	0.063	6	-2.2461	0.012	98.77 %
Desgaste de cuchilla fija de corte	6.12	6.08	6.14	6.19	6.133	6.133	0.046	6	-2.8971	0.002	99.81 %
Ruptura de perno de plegado	6.14	6.21	6.12	6.08	6.138	6.138	0.054	6	-2.528	0.006	99.43 %
Falta de lubricante en caja reductora de caja reductora	6.08	6.23	6.06	6.14	6.128	6.128	0.076	6	-1.6706	0.047	95.26 %
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre	3.13	3.08	3.02	3.07	3.075	3.075	0.045	3	-1.6632	0.048	95.19 %
Desajuste de tornillos de devanadores.	2.15	2.06	2.04	2.12	2.093	2.093	0.051	2	-1.8054	0.036	96.45 %
Desajuste de sensores de posición.	2.04	2.12	2.08	2.1	2.085	2.085	0.034	2	-2.4885	0.006	99.36 %
Saturación de escoria en brazo de doblado	1.63	1.56	1.62	1.56	1.593	1.593	0.038	1.5	-2.4504	0.007	99.29 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXI, se determina que de acuerdo a los períodos en qué se dieron las fallas en las estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS, se puede obtener con base a análisis estadístico el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual se garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

• Análisis para máquina “**Enderezadora Reta 16**”.

Análisis de los períodos promedios de fallas en los componentes en enderezadora Reta 16.

Según la siguiente fórmula:

$$\text{Período de fallas} = \frac{\text{Cantidad de fallas (12 meses)}}{\text{Período (12 meses)}}$$

Tabla XXII. **Períodos promedio de fallas de componentes “enderezadora Reta 16”**

Descripción	Períodos en que se presentan la falla (meses)							Valor Deseado	Z	DN	Confiabilidad
					μ	Mediana	DS				
Desgaste de ruedas de arrastre	1.63	1.58	1.56	1.56	1.583	1.570	0.033	1.5	-2.4969	0.006	99.37 %
Desgaste de ruedas de enderezado	2.15	2.06	2.04	2.12	2.093	2.093	0.051	2	-1.8054	0.036	96.45 %
Desgaste de rueda de medida	2.04	2.12	2.08	2.1	2.085	2.085	0.034	2	-2.4885	0.006	99.36 %
Desgaste de ruedas de contraste	2.09	2.08	2.12	2.03	2.08	2.080	0.037	2	-2.1381	0.016	98.37 %
Desgaste de cuchilla móvil de corte	1.02	1.08	1.05	1.1	1.063	1.063	0.035	1	-1.7857	0.037	96.29 %
Desgaste de cuchilla fija de corte	1.03	1.07	1.02	1.06	1.045	1.045	0.024	1	-1.8904	0.029	97.06 %
Falta de lubricante en caja reductora de caja reductora	4.15	4.06	4.04	4.11	4.09	4.090	0.05	4	-1.8121	0.035	96.50 %
Ruptura de tornillos de fijación de ruedas de arrastre	1.02	1.08	1.05	1.1	1.063	1.063	0.035	1	-1.7857	0.037	96.29 %
Desajuste de encoder de medida	12.05	12.06	12.04	12.12	12.07	12.060	0.036	12	-1.8781	0.03	96.98 %
Desgaste de horquillas sujetadoras de canal	3.13	3.08	3.02	3.07	3.075	3.075	0.045	3	-1.6632	0.048	95.19 %
Desgaste de guía hilo de entrada	2.09	2.08	2.12	2.03	2.08	2.080	0.037	2	-2.1381	0.016	98.37 %
Desgaste de guía hilo de fijo.	2.15	2.06	2.04	2.12	2.093	2.093	0.051	2	-1.8054	0.036	96.45 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII, se determina que de acuerdo a los períodos en qué se dieron las fallas en enderezadora Reta 16, se puede obtener con base a análisis estadístico el porcentaje de confiabilidad que se obtuvo al sustituir los repuestos en el período óptimo, con el cual se garantiza un porcentaje de confiabilidad superior a 95 %, que las maquinaria funciona sin presentar averías, o sufrir fallas que obliguen a paradas no deseadas.

2.8. Implementación de indicadores de mantenimiento

A continuación se describe cuales indicadores se implementa y visualizar los resultados obtenidos de la sustitución sistematizada.

- **Indicador Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

El indicador Tiempo medio entre fallas (MTBF) por sus siglas en inglés, es dado por la siguiente fórmula.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo programado} - \text{Tiempo de parada por averías}}{\text{Cantidad de fallas}} \text{ horas/fallos}$$

Fórmula No. 1

Tiempo medio entre fallas (MTBF) para máquina Cizalla Automática Shearline mes de enero del año 2016.

Tiempo programado = 612 horas programadas para producción al mes.

Tiempo de parada por averías = 9.15 horas

Cantidad de fallas = 12 Fallas

$$MTBF = \frac{612 - 9.15}{12} \text{ horas/fallos}$$

$$MTBF = 50.24 \text{ horas/fallos}$$

El indicador **(MTBF)** da conocer que para la máquina cizalla Automática Shearline para el mes de enero del 2016, se presenta una falla a cada 50.24 horas.

- **Indicador Tiempo medio de recuperación de la falla (MTTF)**

El indicador tiempo medio de recuperación de la falla (MTTF) por sus siglas en inglés, es dado por la siguiente fórmula.

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo de parada por averías}}{\text{Cantidad de fallas}} \text{ horas/falla}$$

Fórmula No. 2

Tiempo medio de recuperación de la falla (MTTF) para máquina cizalla Automática Shearline mes de enero del año 2016.

Tiempo de parada por averías = 9.15 horas

Cantidad de fallas = 12 Fallas

$$MTTF = \frac{9.15}{12} \text{ horas/fallos}$$

MTBF = 0.76 horas/fallos

El indicador (MTTF) da conocer que para la máquina cizalla automática Shearline para el mes de enero del 2016 se presento una falla que para la reparación representa 0.76 horas equivalente a 45.75 minutos por cada falla.

- **Indicador Disponibilidad técnica**

El indicador Disponibilidad técnica, es dado por la siguiente fórmula.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTF)} \%$$

Fórmula No. 3

Disponibilidad técnica para máquina cizalla automática Shearline mes de enero del año 2016

MTBF = 54.24 horas/fallas

MTTF = 0.76 horas/fallas

$$Disponibilidad = \frac{54.24}{54.24 + 0.76} \%$$

Disponibilidad = 98.5 %

El indicador Disponibilidad técnica da conocer que para la máquina cizalla automática Shearline para el mes de enero del 2016, ofrece una Disponibilidad técnica de 98.5 %.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1.1. Presentación de sistematización del modelo de mantenimiento

Con base en el análisis de los promedio de fallas en los componentes, registradas en las órdenes de mantenimiento se determina los siguientes períodos de sustitución sistematizada y se adiciona una ruta lubricación recomendada semanalmente por el fabricante de cada máquina.

El modelo de mantenimiento se enfoca en las tareas de sustitución y reacondicionamiento cíclico de componentes, por lo cual se establecen los períodos de sustitución de componentes en cada una de las máquinas.

Tabla XXIII. **Períodos de sustitución sistematizada de componentes en cizalla Shearline**

Descripción	Semanas															
	1	4	6	8	12	16	18	24	25	28	30	32	36	40	42	48
Ruta de lubricación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambiar tornillos del cilindro en la base.			X		X		X	X			X		X		X	X
Cambiar encoder de carro de medida en error.					X			X					X			X
Cambiar cuchillas de corte.						X						X				X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIII, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquina cizalla Shearline, basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de

mantenimiento que automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

Tabla XXIV. Períodos de sustitución sistematizada de componentes en Cizalla Opti Speddy Bat

Descripción	Semanas															
	1	4	6	8	12	16	18	24	25	28	30	32	36	40	42	48
Ruta de lubricación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de lubricante en conjunto de arrastre			X		X		X	X			X		X		X	X
Cambio de tornillos de fijación de ruedas de arrastre.				X		X		X				X		X		X
Cambio en ruedas de arrastre.																X
Cambio de anillos de ruedas de inserción de hilo.																X
Cambio de cuchillas de corte.			X		X		X	X			X		X		X	X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIV, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquina cizalla Opti Speddy Bat, basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de mantenimiento que automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

Tabla XXV. Períodos de sustitución sistematizada de componentes en dobladora Robomaster 45

Descripción	Semanas															
	1	4	6	8	12	16	18	24	25	28	30	32	36	40	42	48
Ruta de lubricación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de lubricante en caja reductora mesa fija			X		X		X	X			X		X		X	X
Cambio de cadena de traslación de mesa móvil.																X
Cambio de lubricante en caja reductora mesa móvil																X
Ajuste de encoder de movimiento de traslación.																X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXV, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquina dobladora Robomaster 45 basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de mantenimiento que automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

Tabla XXVI. Períodos de sustitución sistematizada de componentes en dobladora Robomaster 60

Descripción	Semanas															
	1	4	6	8	12	16	18	24	25	28	30	32	36	40	42	48
Ruta de lubricación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de lubricante en caja reductora mesa fija			X		X		X	X			X		X		X	X
Cambio de cadena de traslación de mesa móvil.								X								X
Cambio de lubricante en caja reductora mesa móvil																X
Ajuste de encoder de movimiento de traslación.																X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVI, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquina dobladora Robomaster 60 basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de mantenimiento que automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

Tabla XXVII. Períodos de sustitución sistematizada de componentes en estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14 y Fórmula 14 UHS

Descripción	Semanas															
	1	4	6	8	12	16	18	24	25	28	30	32	36	40	42	48
Ruta de lubricación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio de ruedas de arrastre																X
Cambio de ruedas de enderezado																X
Cambio de rueda de medida																X
Cambio de contraste																X
Cambio de cuchilla móvil de corte								X								X
Cambio de cuchilla fija de corte								X								X
Cambio de perno de plegado								X								X
Cambio de lubricante en caja reductora de caja reductora								X								X
Cambio de tornillos de fijación de ruedas de arrastre					X			X					X			X
Cambio de tornillos de devanadores.				X		X		X				X		X		X
Ajuste de sensores de posición.				X		X		X				X		X		X
Limpieza de escoria en brazo de doblado		X			X		X	X			X		X		X	X

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVII, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquinas estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14 y Fórmula 14 UHS, basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de mantenimiento que

automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

Tabla XXVIII. Períodos de sustitución sistematizada de componentes en enderezadora, Reta 16

Descripción	Semanas														
	1	4	6	8	12	24	25	28	30	32	36	40	42	48	
Ruta de lubricación	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cambiar ruedas de arrastre				X		X	X		X		X		X	X	
Cambiar ruedas de enderezado					X	X				X		X		X	
Cambiar rueda de medida					X	X				X		X		X	
Cambiar rueda de contraste					X	X				X		X		X	
Cambiar cuchilla móvil de corte		X			X	X		X		X	X	X		X	
Desgaste de cuchilla fija de corte		X			X	X		X		X	X	X		X	
Cambiar lubricante en caja reductora de caja reductora										X				X	
Cambiar tornillos de fijación de ruedas de arrastre		X			X	X		X		X	X	X		X	
Cambiar encoder de medida														X	
Cambiar horquillas sujetadoras de canal						X					X			X	
Cambiar guía hilo de entrada					X	X				X		X		X	
Cambiar guía hilo de fijo.					X	X				X		X		X	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVIII, se determina el período óptimo de sustitución de repuestos en la máquinas *enderezadora Reta 16*, basado en el análisis de confiabilidad (tablas XVIII a la tabla XXII) dichos datos son generados, para luego usarlos como información para base de datos de software de mantenimiento que automáticamente genere las actividades periódicas, y que estas mismas generen necesidad de adquisición de ciertos materiales.

3.2. Presentación de los niveles de inventarios de acuerdo a la sistematización del modelo de mantenimiento

A continuación se presentaran los niveles de inventarios que se deben de tener a disposición anualmente por cada una de las máquinas con la finalidad de cumplir con la sistematización de modelo de mantenimiento, clasificado por familias de maquinaria.

Tablas XXIX. Niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en cizalla Opti Speddy Bat y cizalla Sheraline

Familia	Descripción	Cantidad	Cantidad programada de sustitución	Cantidad stock
Arrastre	Ruedas de arrastre	5	1	5
Medida	Rueda de medida	2	1	2
Contraste	Anillo elastico	1	1	1
Cuchillas	rueda libre	1	1	1
	Cuchilla fija	1	8	8
	Cuchilla movl	1	8	8
	Rodillo vertical	1	1	1
Inserción de hilo	Rodillo horizontal	1	1	1
	perfilado	1	1	1
	Rueda de anillos 20 por rueda	60	1	60
	Rodillo motorizado	1	1	1
Almacenamiento	Rueda de traslacion motriz	4	1	4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIX, se determina los repuestos con el que se debe de contar para el grupo de máquinas cizalla Shearline y cizalla Opti Speddy Bat, para cumplir con la sistematización de sustitución de repuestos que garanticen una confiabilidad del 95% que las máquinas no presentaron fallas.

Tablas XXX. Niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en dobladoras Robomaster 45 y Robomaster 60

Familia	Descripción	Cantidad	Cantidad programada de sustitución	Cantidad stock
Inserción de hilo	Pastilla pinza	4	2	8
Doblado	Bulon de doblado	1	2	2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXX, se determina los repuestos con el que se debe de contar para el grupo de máquinas dobladoras Robomaster 45 y Robomaster 60, para cumplir con la sistematización de sustitución de repuestos que garanticen, 95 % de confiabilidad que las máquinas no presentarán fallas.

Tabla XXXI. Niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en Estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS

Familia	Descripción	Cantidad	Cantidad programada de sustitución	Cantidad stock
Arrastre	Rueda de arrastre de=235.50 z=116 m=2 dp=232	4	4	16
Enderezado	Rueda de enderezado de=108 di=72 dp=92 a=60	8	4	32
Interno	Rueda del enderezador partida llana de=111 di=56	4	4	16
	Rueda de medida de=232 di=30	1	4	4
	Anillo en goma di=95.500 de=124 sp=33	1	4	4
	Anillo de presion di=124 de=148 sp=35	1	4	4
Enderezado	Rueda de enderezado combinada de=106 di=72	6	4	24
Externo	Rueda de enderezado partida combinada de=108 di=56	4	4	16
	Rueda anti-twist de=108 di=172	2	4	8
Inserción	Rueda de=158 di=56	1	4	4
de hilo	Rueda separadora de hilos	1	4	4
	Rueda presencia de hilo h=52 de=76 di=45	1	4	4
	Rueda de contraste de=160 di=64 h=64	1	4	4
	Rueda de enderezado dp=90 de=108 h=48	1	4	4
Inserción hilo	Tornillo castigador base	4	8	32
Devanadora	hilo acerado			
Cuchilla	Cuchilla fija	1	8	8
	Cuchilla móvil	1	8	8
Brazo de	Pinza de bulon	1	4	4
doblado	Perno de doblado	1	4	4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXI, se determina los repuestos con el que se debe de contar para el grupo de máquinas Estribadoras Coil 16 3D, Coil 16 UHS, Fórmula 14, Fórmula 14 UHS, para cumplir con la sistematización de sustitución de repuestos que garanticen una confiabilidad del 95 % que las máquinas no presentaron fallas.

Tablas XXXII. Niveles de inventarios para la sistematización del modelo de mantenimiento en enderezadora Reta 16.

Familia	Descripción	Cantidad	Cantidad programada de sustitución	Cantidad stock
Arrastre	Rueda de arrastre de=235.50 z=116 m=2 dp=232	4	8	32
Enderezado	Rueda de enderezado de=108 di=72 dp=92 a=60	8	6	48
Interno	Rueda del enderezador partida llana de=111 di=56	4	6	24
	Rueda de medida de=232 di=30	1	6	6
	Anillo en goma di=95.500 de=124 sp=33	1	6	6
	Anillo de presion di=124 de=148 sp=35	1	6	6
Enderezado	Rueda de enderezado combinada de=106 di=72	8	6	48
Externo	Rueda de enderezado partida combinada de=108 di=56	4	6	24
	Guia hilo fijo	1	6	6
Inserccion de	Rueda contraste guia hilo cable acerado	1	6	6
hilo devanadora	Rueda contraste guia hilo cable acerado	1	6	6
Cuchilla	Cuchilla móvil	1	12	12
Via de rodillos	Cuchilla fija	1	12	12
	Sensor optico via de rodillos	2	1	2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXII, se determina los repuestos con el que se debe de contar para el grupo de máquina enderezadora Reta 16, para cumplir con la sistematización de sustitución de repuestos que garanticen una confiabilidad del 95 % que las máquinas no presentaron fallas.

Tabla XXXIII. Componentes electrónicos estratégicos de las 9 máquinas

Repuestos estratégicos - Electrónicos de la 9 máquinas..		
No. (Correlativo)	Descripción	Cantidad
1	Monitor vga 12.1 v.2 c/tecl 5431240007	1
2	Selector con llave zb4-bg3 5430411103	2
3	Microswitch fr693 1no+1nc 5430510052-0	4
4	Final d/carrera fr996 2nc 5430510096	6
5	Rele rit. Pnoz xv 777601 5437119012	1
6	Tarjeta cpu kaparossa v.4 5431263037	1
7	Estatica nodo canopen v.3.1 salidas	2
8	Sensor aire sde5 d10 cod.527467 festo	1
9	Base potencia lub12 12a 5430112000	1
10	Contacto aux. No+no lua1c20 5430471004	1
11	Interruptor luca1xbl 0.35-1.4a 5430442028	1
12	Sensor d/pro ime12-02bpszcos 5431010048	7
13	Alimentador ps/3ac/2 4dc/20 5436400023	1
14	Sensor m30 pnp szcos 1041014	5
15	Medidor dt50-p1114 1047581 5431020003	5
16	Inverter atv312 2.2kw 5436800058	1
17	Fotocellula as1-ld-sr-010-jv 5437107027	2
18	Ventilador 150x55 mod. 7214 n	4
19	Módulo d/ma bm4434-si1-01500 - 5436610111	1
20	Módulo d/ma bm4433-si1-01500 - 5436610110	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXIII, se determina los repuestos estratégicos electrónicos solicitados para las 9 máquinas, a la que se les aplico el estudio, y sistematización de sustitución de repuestos. Debido a que la falla en equipos eléctricos es impredecible, se adquieren repuestos para la pronta sustitución en caso de presentar alguna falla.

3.3. Presentación de indicadores de mantenimiento

En el área de mantenimiento existen más de 100 indicadores claves de desempeño que se dedican a medir el desarrollo de la gestión de mantenimiento, mediante la investigación es de interés medir la gestión de mantenimiento, a través del tiempo de disponibilidad de los máquinas. Por tal razón, presentan resultados a través del análisis de 3 indicadores descritos previamente. Consecuentemente a la sistematización de sustitución de componentes por máquina, se observa un incremento en el indicador de Disponibilidad técnica, el cual es inversamente proporcional al indicador (MTTF) tiempo medio de recuperación de la falla y que a continuación se describe los indicadores promedio del año 2016 con su respectivo comparativo de los indicadores promedio de enero a septiembre 2017, después de la implementación de la sistematización de sustitución.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se evalúan los datos del historico de fallas de 1 año, con el fin de un diagnóstico inicial, se determinan los tres indicadores principales de la investigación. A continuacion se presenta los datos antes de la implementación de la sistematización de sustitución de repuestos.

Tabla XXXIV. Indicadores (MTBF, MTTF, Disponibilidad técnica) de cada una de las máquinas promedio del año 2016

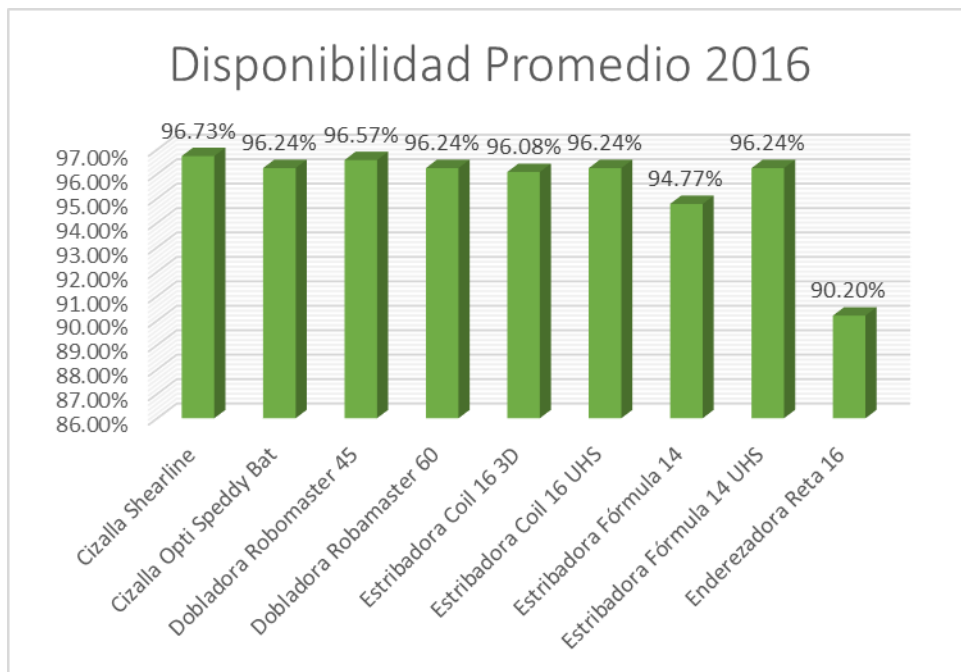
Máquina	Cantidad de fallas	Tiempo perdido	Tiempo programado	Tiempo disponible	MTBF	MTTF	Disponibilidad
Cizalla Shearline	12	20	612	592	49.33	1.67	96.73%
Cizalla Opti Speddy Bat	14	23	612	589	42.07	1.64	96.24%
Dobladora Robomaster 45	16	21	612	591	36.94	1.31	96.57%
Dobladora Robamaster 60	18	23	612	589	32.72	1.28	96.24%
Estribadora Coil 16 3D	12	24	612	588	49	2	96.08%
Estribadora Coil 16 UHS	11	23	612	589	53.55	2.09	96.24%
Estribadora Fórmula 14	27	32	612	580	21.48	1.19	94.77%
Estribadora Fórmula 14 UHS	12	23	612	589	49.08	1.92	96.24%
Enderezadora Reta 16	41	60	612	552	13.46	1.46	90.20%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXIV, se detalla el valor de los indicadores de disponibilidad implementados para cada una de las 9 máquinas, para el año 2016.

Luego se realiza el análisis grafico de la Disponibilidad tecnica de las 9 máquinas en función del tiempo, antes de implementar de la sistematización de repuestos.

Figura 13. Gráfica de la disponibilidad promedio de cada maquinaria de la Planta de Corte y Doble en el año 2016



Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta una tabla comparativa, (Tabla XXXV) con el promedio de enero a septiembre 2017, de indicadores de disponibilidad de las máquinas, después de la implementación de la sistematización de la sustitución de repuestos.

Tabla XXXV. Indicadores (MTBF, MTTF, Disponibilidad técnica) de

Máquina	Cantidad de fallas	Tiempo perdido	Tiempo programado	Tiempo disponible	MTBF	MTTF	Disponibilidad
Cizalla Shearline	9	12	612	600	66.67	1.33	98.04%
Cizalla Opti Speddy Bat	12	13	612	599	49.92	1.08	97.88%
Dobladora Robomaster 45	7	9	612	603	86.14	1.29	98.53%
Dobladora Robamaster 60	12	14	612	598	49.83	1.17	97.71%
Estribadora Coil 16 3D	12	13	612	599	49.92	1.08	97.88%
Estribadora Coil 16 UHS	19	16	612	596	31.37	0.84	97.39%
Estribadora Fórmula 14	12	17	612	595	49.58	1.42	97.22%
Estribadora Fórmula 14 UHS	12	12	612	600	50	1	98.04%
Enderezadora Reta 16	41	39	612	573	13.98	0.95	93.63%

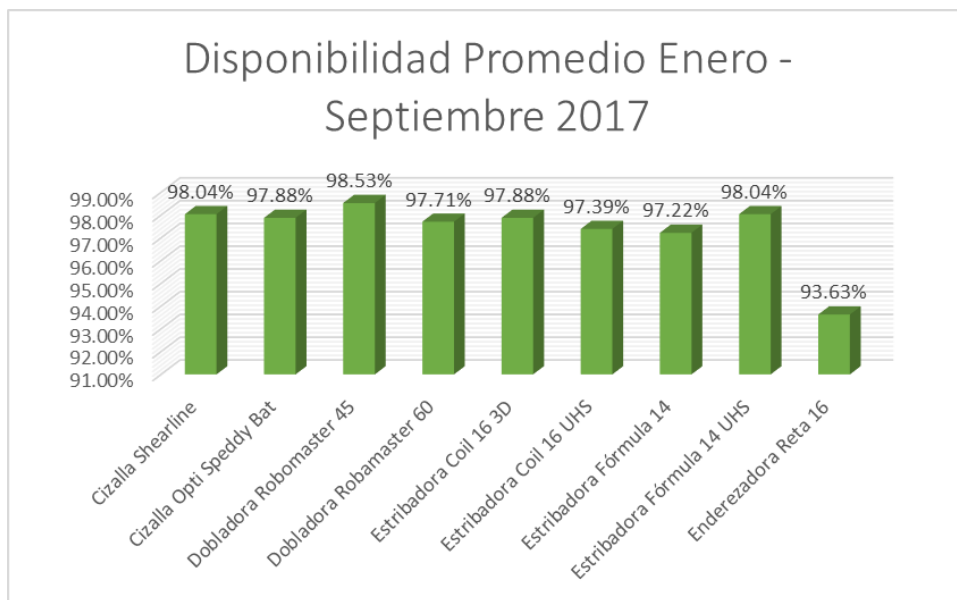
cada una de las máquinas promedio de enero a septiembre 2017

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXV, se muestra el valor de los indicadores de disponibilidad implementados para cada una de las 9 máquinas. Para el período de enero a septiembre 2017.

Luego se realiza el análisis gráfico de la Disponibilidad técnica de las 9 máquinas en función del tiempo, antes de implementar de la sistematización de repuestos.

Figura 14. Gráfica de la disponibilidad promedio de la maquinaria de la Planta de Corte y Doble de período de enero a septiembre 2017



Fuente: elaboracion propia.

Se concluye por medio de los resultados obtenidos con la sistematización de sustituciones de componentes, se incrementó la disponibilidad técnica en cada una de las máquinas, debido a que programan las paradas para la sustitución de repuestos y evitar que los componentes lleguen al final de su vida útil, o dejen de operar correctamente, debido a daños, desgastes o desajustes.

A continuación se observa los incrementos obtenidos en el indicador de Disponibilidad técnica en cada una de las máquinas.

Tabla XXXVI. Comparativa entre la Disponibilidad promedio para la máquinas en el año 2016 y Disponibilidad promedio para las máquinas de enero a septiembre 2017

Máquina	Disponibilidad Promedio por máquina 2016	Disponibilidad Promedio por máquina enero – septiembre 2017	Diferencia de Disponibilidad promedio
Cizalla Shearline	96.73 %	98.04 %	1.31 %
Cizalla Opti Speddy Bat	96.24 %	97.88 %	1.64 %
Dobladora Robomaster 45	96.57 %	98.53 %	1.96 %
Dobladora Robamaster 60	96.24 %	97.71 %	1.47 %
Estribadora Coil 16 3D	96.08 %	97.88 %	1.80 %
Estribadora Coil 16 UHS	96.24 %	97.39 %	1.15 %
Estribadora Fórmula 14	94.77 %	97.22 %	2.45 %
Estribadora Fórmula 14 UHS	96.24 %	98.04 %	1.80 %
Enderezadora Reta 16	90.20 %	93.63 %	3.43 %

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXVI, permite concluir, por medio de los resultados obtenidos, la sustitución sistematizada implementada, incrementó un promedio de 1.89 % de disponibilidad en la maquinaria, lo cual representará tiempo útil para producir.

Por medio de la investigación, se demuestra la posibilidad de que la sistematización de mantenimiento puede ser aplicado a otro equipos auxiliares, tales como compresores, puentes grúas, aires acondicionados de equipos.

Otros de los resultados obtenidos de la investigación son los siguientes:

- Ahorro anual de 6% del valor de los repuestos adquiridos.
Gracias a ofertas recibidas por adquirir lotes grandes de repuestos por parte del proveedor.
- Aumento de producción de 2.44% anual.

- La disponibilidad técnica presenta un incremento un promedio de 1.89% en la maquinaria.
- 416 avisos generados automáticamente.
- Reducción de 46 paros no programado por fallas potenciales.

CONCLUSIONES

1. El modelo de mantenimiento con base en la herramienta (MCC) mantenimiento centrado en la confiabilidad, se establece con base en el análisis estadístico, donde se debe conocer la distribución normal, se estableció una confiabilidad del 95 % de que los componentes duren antes del período establecido de sustitución.

La calidad de los productos terminados es definida por el indicador interno de la planta de Corte y Doble llamado, PNC, (producto no conforme) el cual antes de la investigación año 2016, 3.45% promedio mensual, después de la investigación, año 2017 (enero – septiembre) 0.52%. Lo cual la investigación garantiza la calidad operativa de la maquinaria, que en función del tiempo se disminuye el indicador de PNC (Producto no conforme).

2. Se implementa tres indicadores en función del tiempo de disponibilidad de la maquinaria.
- MTBF – Tiempo medio entre fallas.
El cual antes de la investigación el promedio fue: 38.62 hrs y después de la sistematización del mantenimiento se concluye en 49.71 hrs, el cual debe ser entre mayor mejor.

- MTTF – Tiempo medio para la reparación.
El cual antes de la investigación el promedio fue: 1.61 hrs y después de la sistematización del mantenimiento se concluye en 1.12 hrs, el cual debe de ser entre menor mejor.
- Disponibilidad - antes de la investigación el promedio fue: 95.48 % y después de la sistematización del mantenimiento se concluye en 97.37 %, a mayor mejor.

Se concluye que el indicador de disponibilidad, se incrementa un promedio de 1.89 % en cada máquina.

3. Se realiza la sistematización del modelo de mantenimiento enfocado en sustitución sistematizada, en períodos semanales, mensuales, trimestrales, semestrales, y anuales, lo que permite que el 80 % de las actividades sean planificadas y dejando un 20 % de las actividades emergentes. Obteniendo 416 avisos de mantenimiento de manera automática.
4. Se definió el consumo anual del 100 % de los componentes por máquina que permitirán realizar pedidos en conjunto de todos los componentes, garantizando que se disponga el 100 % de los niveles adecuados de repuestos, logrando un ahorro de 6 % de los repuestos adquiridos.

RECOMENDACIONES

1. Seguir tomando datos de los períodos de cambio para determinar el uso óptimo de los componentes, una confiabilidad mayor a 95 % de que los componentes duren el período establecido.
2. Adquirir herramientas y capacitación para mejorar las destrezas del personal de mantenimiento y disminuir el Indicador MTTF, el cual es inversamente proporcional a la disponibilidad, lo representa incremento en la Disponibilidad técnica.
3. Realizar una compra por todos los componentes utilizados anualmente para que el costo de adquisición de repuestos se disminuyan y garantice el inventario para la sustitución de repuestos.
4. Definir el consumo anual de componentes para los equipos auxiliares, compresores y grúas puente, garantizando realizar sustituciones sistematizadas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. Amendola, L, (2004). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento.*
2. Azoy, A, (2014). Método para el cálculo de indicadores de mantenimiento. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 4 (4), pp. 45
3. Cárcel, F, (2016). La incidencia del factor humano en el mantenimiento. Valencia.
4. Cuartas, L, (2008); ¿Qué es el mantenimiento?
5. Díaz, Cazañas (2015) Procedimiento para la planeación integrada producción-mantenimiento a nivel táctico.
6. Espinoza, F, Acires & Salinas, G (2012) Un procedimiento para evaluar el riesgo de la innovación en la gestión del mantenimiento industrial.
7. Fernández, M & Shkiliova, L (2012), Validación de un método para el cálculo de indicadores de Mantenimiento.
8. Gamarra, F, (2009) Mejora del sistema de mantenimiento de la maquinaria en una empresa constructora. Perú.
9. García, C, (2015), Modelo de gestión de mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el departamento de alta tensión de STC metro de la ciudad de México. México.

10. García, J, (2007) Modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las vibro compactadoras de ánodos verdes. Universidad Simón Bolívar.
11. García, S, (2016) Fórmulas de cálculo de indicadores de disponibilidad. Mantenimiento 3.0. Consultado el 08 de agosto de 2017, <http://www.reporteroindustrial.com.co/blogs/Formulas-de-calculo-de-indicadores-de-disponibilidad+115450>
12. Hung, A, Diciembre (2008) Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado.
13. Instituto Revotec de Ingeniería en Mantenimiento (2013), Plan de mantenimiento basado en rcm. Consultado, 18 de septiembre de 2017 desde <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>
14. Mantenimiento Mundial, (2011). Indicadores de clase mundial. Consultado el 08 de agosto de 2017, de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/calculos/clase-mundial>.
15. Meza, Ortiz & Pinzón (2006), la confiabilidad, la disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicadas al Mantenimiento "Scientia et Technica Año XII". Colombia.

16. Moubray, J, (2005), Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Segunda edición. Industrial Press Inc.
17. Muñoz, B (2007), Mantenimiento Industrial. Madrid.
18. Pérez, Moubray (2003) Mantenimiento centrado en la confiabilidad
Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Soporte & Cía Ltda.
19. Proveda, J, y Martínez E, (2011) Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento. Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL).
20. Salih, Duffuaa, Raouf, A & Dixon, J (2000), Sistemas de mantenimiento, Planeación y Control.
21. Sarango, V & Torres, J (2010). Planificación y Programación del mantenimiento en la fábrica de embutidos “La Italiana”. Cuenca. Tesis.
22. Sexto, L, (2010). La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad. México.

APÉNDICES

Adjunto un programa de lubricación para las máquinas estudiadas mediante el desarrollo de la investigación, el cual incluye los puntos de lubricación, el lubricante a aplicar, la cantidad y el período de aplicación.

Tabla XXXVII. **Programa de lubricación para la maquinaria**

Máquina	Puntos de Lubricación	Lubricante	Cantidad	Período
Robomaster 60	Caja reductora de motor de doblado de banco fijo.	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Robomaster 60	Caja reductora de motor de doblado de banco móvil.	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Robomaster 60	Caja reductora de Motor de camino de rodillos alimentador	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Robomaster 60	Lubricación de la cremallera	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Robomaster 60	Cadenas	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Robomaster 60	Movimiento Rotativo de Bulón de doblado	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Robomaster 60	Movimiento de Plato fijo	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Fórmula 14	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre Superior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Fórmula 14	Caja reductora de conjunto de Corte y Movil	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Fórmula 14	Caja reductora de conjunto de Doblado (Bulon de plegado)	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Fórmula 14	Guías de conjunto de ruedas de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Guías de conjunto de ruedas de enderezado Horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Balancin de conjunto de enderezado Vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Balancin de conjunto de enderezado Horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Brazo de doblado	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Guías de conjunto de ruedas de arrastre superior	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Guías de conjunto de enhebrado de alambión	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Biela de Corte Movil	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Fórmula 14	Rotulas de Cilindros (frenos de devanadora 1)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs

Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 1	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 2	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre superior 1	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre superior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de conjunto de corte y móvil	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de movimiento rotativo de bulon	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de movimiento axial de bulón	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de movimiento rotativo de bulon 3D	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Caja reductora de movimiento axial de bulon 3D	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil evo 16 3d	Guias de conjunto de ruedas de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Guias de conjunto de ruedas de enderezado horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Balancin de conjunto de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Balancin de conjunto de enderezado horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Brazo de doblado	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Guias de conjunto de ruedas de arrastre superior	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Guias de conjunto de enhebrado de alambón	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Biela de corte movil	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 1)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 2)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 3)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 4)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil evo 16 3d	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 5)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 1	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 2	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de	ACEITE	1/2 Galon	2500 hrs

	arrastre superior 1	OMALA 150		
Coil uhs 16	Caja reductora de Conjunto de ruedas de arrastre superior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de corte y móvil	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de conjunto de doblado (Bulon de plegado)	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Caja reductora de movimiento axial de bulón	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Coil uhs 16	Guías de conjunto de ruedas de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Guías de conjunto de ruedas de enderezado Horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Balancin de conjunto de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Balancin de conjunto de enderezado horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Brazo de doblado	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Guías de conjunto de ruedas de arrastre superior	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Guías de conjunto de enhebrado de alambrón	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Biela de corte movil	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 1)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 2)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 3)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 4)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Coil uhs 16	Rotulas de cilindros (frenos de devanadora 5)	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 1	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior 2	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre inferior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre superior 1	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre superior	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Caja reductora de conjunto de corte y móvil	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Guías de conjunto de ruedas de enderezado vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Guías de conjunto de ruedas de enderezado horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Balancin de conjunto de enderezado Vertical	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs

Reta 16	Balancin de conjunto de enderezado horizontal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Guias de conjunto de ruedas de arrastre superior	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Biela de corte movil	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Cremallera de devanadoras	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Banco alimentador de cadenas	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Chumaceras de la pinza fijadora	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Guias de conjunto de enhebrado de alambón	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Reta 16	Motor de camino de rodillos de evacuacion de producto terminado.	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Volteador de producto terminado.	TELLUS TD 46	1/2 Galon	2500 hrs
Reta 16	Pinzas de fijación	TELLUS TD 46	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de camino de rodillos de evacuacion 1	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de camino de rodillos de evacuacion 2	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de camino de rodillos de evacuacion 3	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de camino de rodillos de evacuacion 4	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de corte	ACEITE OMALA 150	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de conjunto de ruedas de arrastre	ACEITE OMALA 150	6 Galones	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Caja reductora de motor de camino de rodillos de evacuacion de producto terminado.	ACEITE OMALA 220	1/2 Galon	2500 hrs
Opti Speddy Bat	Biela de corte movil	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Opti Speddy Bat	Guias de conjunto de ruedas de arrastre	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Opti Speddy Bat	Ruedas de movimiento lineal	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs
Opti Speddy Bat	Rotulas de cilindros nuematicos	GADUSS S2	20 gramos	100 hrs

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXVII, contiene la ruta de lubricación de cada una de las máquinas estudiadas, debido a que de acuerdo a la sistematización de sustitución de repuestos, se debe de realizar la ruta de lubricación con una

frecuencia de 1 semana, es por eso que se adjuntan los puntos de lubricación, el tipo de lubricante y la cantidad a aplicar en un período de tiempo.

ANEXOS

A continuación se presenta la matriz de coherencia utilizado mediante la investigación.

Tabla XXXVIII. **Matriz de coherencia**

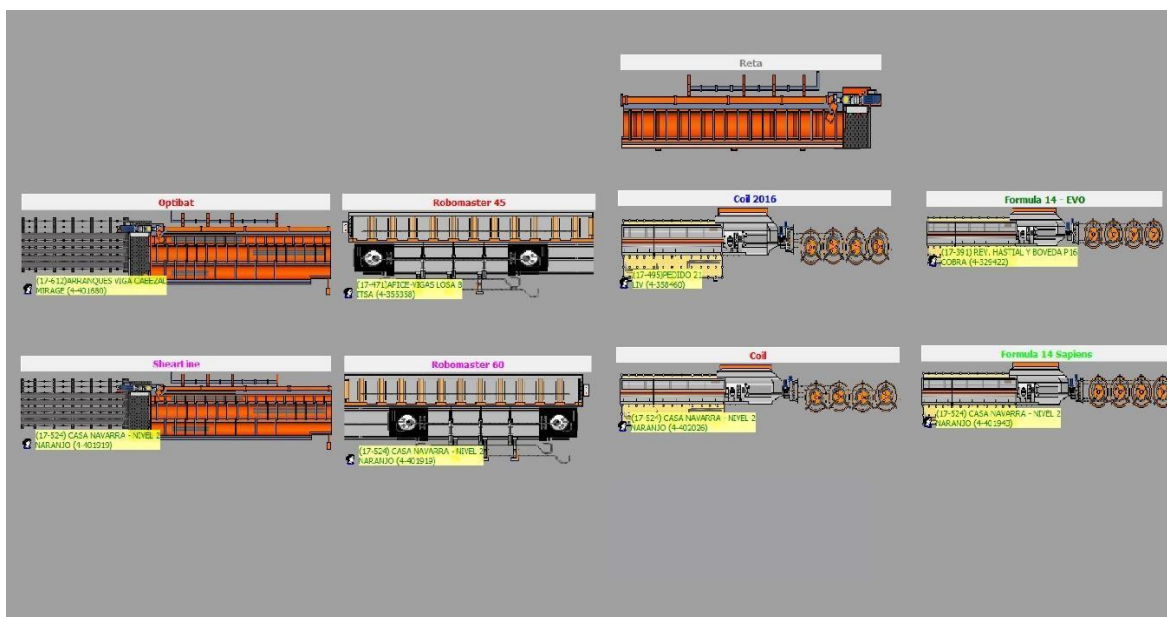
Preguntas Orientadoras	Objetivo	Conclusión	Recomendaciones
¿Cómo se alcanzará mantener los adecuados niveles de inventarios de repuestos?	Definir el consumo anual de componentes por cada máquina y mantener en stock, de acuerdo a la sistematización del modelo de mantenimiento.	Se definió el consumo anual de componentes por máquina que permitirán realizar pedidos en conjunto de todos los componentes, garantizando que se disponga de los niveles adecuados de repuestos. Se realiza la sistematización del modelo de mantenimiento	Realizar una compra por todos los componentes utilizados anualmente para que costo de transporte y logística se disminuyan y garantice el stock para la sustitución de repuestos.
¿Qué tipo de modelo de mantenimiento permitirá garantizar confiabilidad que lo equipos mantengan su capacidad productiva?	Realizar una sistematización del modelo de mantenimiento enfocado a sustitución cíclica.	enfocado en sustitución cíclica, que permite definir los períodos adecuados de sustitución de los componentes, definidos por semanas de trabajo.	Incluir más componentes y accesorios a la sistematización de modelo de mantenimiento enfocados en la sustitución y al reacondicionamiento o cíclico.

¿En función de que se debe de medir el desempeño de las máquinas?	Implementar indicadores claves del desempeño en función de medir el tiempo de disponibilidad de las máquinas.	Se implementa tres indicadores en función del tiempo de disponibilidad de la maquinaria, los cuales son los siguientes: MTBF MTTF Disponibilidad Donde se observa que el indicador de Disponibilidad se incrementa un promedio de 1.89% en cada máquina. El modelo de mantenimiento con base a herramienta (MCC)	Adquirir herramientas y capacitación para mejorar las destrezas del personal de mantenimiento y disminuir el Indicador MTTF, el cual es inversamente proporcional a la Disponibilidad, lo que incrementará la Disponibilidad.
¿Qué modelo de mantenimiento va a propiciar que la maquinaria conserve su calidad operativa?	Diseñar un modelo de mantenimiento con base a la herramienta (MCC) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad que garantice la calidad operativa de los maquinaria.	Se establece un mantenimiento centrado en la confiabilidad se estableció con base al análisis estadístico, donde se debe conocer la distribución normal, se estableció una confiabilidad del 95% de que los componentes duren antes del período establecido de sustitución	Seguir tomando datos de los períodos de cambio para determinar el uso óptimo de los componentes, y tener una confiabilidad mayor a 95% de que los componentes proporcionen una fiabilidad de que durara el período establecido.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXVIII, se describe la matriz de coherencia, la cual contiene las preguntas orientadoras, objetivos, conclusión y recomendación y la relación que tiene cada uno entre sí.

Figura 15. Layout de la maquinaria que se describieron en la investigación.



Fuente: elaboración propia.