



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA
MÁQUINA DE ENSAYOS DE Tensión DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL
DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Ing. Braulio Bladimir Bran Girón

Asesorado por el Mtro. Ing. Rudy René Carías

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA
MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL
DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. BRAULIO BLADIMIR BRAN GIRÓN
ASESORADO POR EL MTRO. ING. RUDY RENÉ CARÍAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA
MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL
DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 20 de agosto de 2021.



Ing. Braulio Bladimir Bran Girón



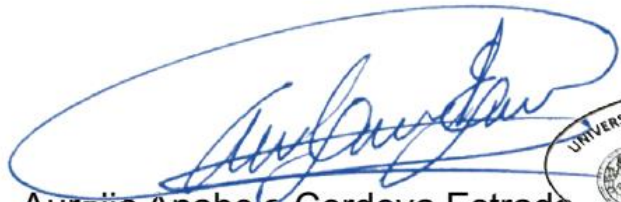
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.469.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, presentado por: **Braulio Bladimir Bran Girón**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, junio de 2022

LNG.EEP.OI.469.2022

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

"PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA"

presentado por **Braulio Bladimir Bran Girón** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala 22 de Marzo 2022

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

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **"PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA"** del estudiante **Ing. Braulio Bladimir Bran Girón** quien se identifica con número de carné **200714655** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

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

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

Atentamente,

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

Guatemala, 29 de octubre 2021

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

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Braulio Bladimir Bran Girón, Carné número 200714655, cuyo título es **"PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA"**, para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

Rudy René Carías
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO No. 11,125

Ing. Rudy René Carías
Mtro. en Ciencias y Tecnología de Materiales
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado la inteligencia para alcanzar una meta más en mi vida.
Mis padres	Francisco Bran y Miriam Girón, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y formación profesional.
Mi esposa	Marcia Martínez, por su apoyo incondicional y enseñarme a lograr todo lo que me proponga.
Mi hijo	Andrés Alejandro, por ser mi fuente de inspiración en mi crecimiento personal y profesional.
Familia y amigos	Por su apoyo y estar conmigo en los momentos más importantes de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la fuente de conocimientos a lo largo de mi vida profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

Ing. Rudy Carías

Por haberme brindado de sus conocimientos, guía e información complementaria para realizar este diseño de investigación.

.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Varilla corrugada de acero.....	1
1.1.1. Proceso de fabricación	2
1.1.1.1. Palanquilla	2
1.1.1.2. Laminación en caliente	3
1.1.1.3. Etiquetado y entrega a bodega.....	5
1.1.2. Control de calidad y normas aplicables al producto.....	6
1.1.2.1. Ensayo de tensión	9
1.2. Gestión	12
1.2.1. Gestión del mantenimiento	13
1.2.1.1. Gestión de equipos.....	14
1.2.1.2. Listado de equipos.....	15
1.2.1.3. Codificación de equipos.....	15
1.2.1.4. Ficha técnica del equipo	16

1.2.2.	Gestión del trabajo	17
1.2.2.1.	Plan de mantenimiento.....	18
1.2.2.2.	Análisis de criticidad	20
1.2.2.3.	Elección del modelo de mantenimiento	21
1.2.2.4.	Análisis de fallas del equipo	22
1.2.3.	Planificación y programación del mantenimiento	24
1.2.3.1.	Planificación basada en fiabilidad (RCM).....	27
1.2.4.	Indicadores.....	28
1.3.	Documentación del mantenimiento	30
1.3.1.	Procedimientos.....	30
1.3.2.	Instructivos operacionales	31
1.3.3.	Registros	31
1.4.	Máquina de ensayos de tensión.....	31
1.4.1.	Principio de funcionamiento	32
1.4.1.1.	Sistema de generación de fuerza.....	33
1.4.1.2.	Sistema de medición de carga aplicada	33
1.4.1.3.	Sistema de cabezales (marco de carga)	33
1.4.2.	Pruebas que se pueden realizar.....	34
1.5.	Ensayos no destructivos	35
1.5.1.	Inspección visual	36
1.5.2.	Líquidos penetrantes	37
1.5.3.	Termografía.....	37
1.5.4.	Ultrasonido	38
1.6.	Análisis de aceite	39
1.6.1.	Técnicas para determinar la degradación y contaminación del aceite	39

2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
2.1.	Antecedentes del laboratorio de control de calidad	41
2.2.	Visita de reconocimiento.....	42
2.3.	Toma de datos y muestras en campo	44
2.4.	Ensayos no destructivos.....	46
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
3.1.	Inspección visual	49
3.2.	Líquidos penetrantes	56
3.3.	Termografía.....	58
3.4.	Ultrasonido	60
3.5.	Análisis de aceite.....	63
4.	PROPUESTA DE PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	67
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	REFERENCIAS	79
	APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Varilla corrugada	1
2.	Palanquilla de acero	3
3.	Inicio del proceso de laminación en caliente	4
4.	Etiqueta del producto	5
5.	Marcaje de varilla corrugada cada 2 pulgadas	11
6.	Varilla corrugada con extensómetro	11
7.	Medición de la elongación	12
8.	Establecimiento de un listado de equipos	15
9.	Estructura de codificación de equipos	16
10.	Pasos para la puesta en marcha de una política de mantenimiento ...	17
11.	Diagrama de flujo para el mantenimiento por tipo de fallo y posibilidad de vigilancia.....	19
12.	Diagrama para el análisis de fallas del equipo	23
13.	Partes de una máquina de ensayos de tensión	32
14.	Sistema de mordazas sujetando una probeta	34
15.	Kit de líquidos penetrantes usados para END	44
16.	Bomba de vacío manual	45
17.	Equipo utilizado para pruebas de termografía	45
18.	Equipo utilizado para pruebas de ultrasonido	46
19.	Desgaste en manguera hidráulica.....	52
20.	Desgaste por escoria en mordaza	55
21.	Desgaste por escoria en alza.....	55
22.	Líquidos penetrantes en cabezal inferior.....	56

23.	Líquidos penetrantes en mordazas.....	57
24.	Esquema de mordazas y evaluación de líquidos penetrantes	57
25.	Medición termográfica a panel eléctrico	58
26.	Imagen digital y termográfica del panel eléctrico	59
27.	Ultrasonido realizado en cilindro hidráulico principal	60
28.	Formas de onda para reductor de motor	62
29.	Formas de onda para motor de tanque hidráulico	62
30.	Toma de muestra de aceite con bomba de vacío manual	63
31.	Identificación de muestras de aceite hidráulico	64

TABLAS

I.	Parámetros generales de la varilla corrugada	7
II.	Parámetros físicos de la varilla corrugada	7
III.	Parámetros mecánicos de la varilla corrugada según Normas ASTM A615 y COGUANOR 36 011.....	8
IV.	Parámetros mecánicos de la varilla corrugada según Normas ASTM A706 y COGUANOR 36 016.....	9
V.	Parámetros de criticidad de equipos.....	21
VI.	Partes de los sistemas que conforman la máquina de ensayos de tensión modelo 200 HVL	42
VII.	Especificaciones técnicas de la máquina de ensayos de tensión modelo 200 HVL	43
VIII.	END aplicados al sistema hidráulico	47
IX.	END aplicados al sistema eléctrico.....	47
X.	END aplicados al sistema mecánico.....	48
XI.	<i>Check list</i> para inspección visual	50
XII.	Resultados de inspección visual.....	51
XIII.	Resultados de inspección al sistema eléctrico.....	53

XIV.	Resultados de inspección al sistema mecánico	54
XV.	Valores de temperatura en puntos de medición	59
XVI.	Resultados de ultrasonido realizado a máquina de ensayos de tensión.....	61
XVII.	Resultados químicos de muestras de aceite hidráulico.....	64
XVIII.	Resultados físicos de muestras de aceite hidráulico	65
XIX.	Tareas del plan de mantenimiento del sistema mecánico	67
XX.	Tareas del plan de mantenimiento del sistema hidráulico.....	68
XXI.	Tareas del plan de mantenimiento del sistema eléctrico.....	70
XXII.	Orden de mantenimiento de máquina de ensayos de tensión	71
XXIII.	Formato de planificación de mantenimiento de máquina de ensayos de tensión.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AC	Corriente alterna
dB μ V	Decibeles microvoltio
HP	<i>Horse power</i> , medida de potencia eléctrica
lbf	Libras fuerza
psi	Libra sobre pulgada cuadrada
μ m	Micrómetro
min	Minutos
abs/cm	Nivel de absorbancia del pico funcional en espectrometría
mgKOH/G	Número de saponificación
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
in	Pulgadas
V	Voltaje

GLOSARIO

Altura de corruga	Es una medición que indica la elevación de las corrugaciones de la varilla corrugada.
Alza	Es una placa de metal que sirve para disminuir el área para el apriete de mordazas.
Ancho de vena	Es una medición realizada en la parte media de la varilla corrugada, se encuentra en toda la sección longitudinal antes de iniciar una corruga.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
Búnker	Es un tipo de combustible derivado del petróleo de características viscosas, de color negro utilizado en calderas y hornos por su alto contenido energético.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Control de calidad	Es el proceso de aseguramiento que un producto o servicio es satisfactorio con los criterios mínimos dictados por una especificación o normativa.
Elongación	Es el alargamiento que sufre una muestra sujeta a un ensayo de tensión de una longitud inicial a una longitud final.

END	Ensayos no destructivos. Son todo tipo de pruebas a las que se somete un material donde no se alteran las propiedades físicas, mecánicas, químicas y dimensionales.
Ensayo de tensión	Es una prueba en donde se comprueban las características mecánicas de un material elástico por medio de una probeta.
Escoria	Es un conjunto de partículas de acero que se desprenden al momento de efectuarse un ensayo de tensión.
Espaciamiento de corruga	Es una medición que muestra la separación entre las corrugas de la varilla corrugada.
Extensómetro	Es un instrumento que permite realizar la medición de la deformación de varilla corrugada que se produce durante el ensayo de tensión.
Indicador	Un indicador es una forma de medición para conocer si una organización o entidad está logrando sus metas.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
Laminación en caliente	Proceso por medio del cual se transforma un lingote de acero reduciendo el espesor del material por medio

de rodillos y transformándolo en un producto final como por ejemplo varilla corrugada o perfiles.

Límite de fluencia	Es el punto en el cual un material pierde su propiedad de regresar a su estado original cuando es sometido a un estiramiento.
Parámetro	Es un valor de referencia para una medición.
Prototipo	Es el primer ejemplar de un objeto que sirve de modelo para su análisis, mejora y una posible fabricación en serie.
Resistencia a la tensión	Es la cantidad de fuerza máxima que puede resistir un material elástico antes de romperse.
SAP	Es un software para la planificación de recursos materiales y humanos de una empresa.
Saponificación	Es un proceso que sirve como parámetro de medición de pureza del aceite.
Siderúrgica	Es una industria dedicada a la transformación del mineral de hierro en diferentes aleaciones como lo es el acero.
Viscosidad	Es una propiedad física característica de un fluido. Indica la resistencia del líquido a su fluidez.

RESUMEN

La máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica ubicada en el departamento de Escuintla es un equipo que se utiliza para medir y verificar los parámetros mecánicos y la calidad del producto terminado (varilla corrugada) como lo indican las normas COGUANOR 36011, 36016 y ASTM A615, A706. Se debe garantizar el funcionamiento del equipo porque la varilla corrugada es un producto que se utiliza para la construcción, y se debe garantizar la vida e integridad de las personas que utilizan las edificaciones al momento de ocurrir un sismo.

Para la propuesta del programa de gestión de mantenimiento fue necesario conocer la condición del equipo a la fecha. Se realizaron END inspección visual, ultrasonido, líquidos penetrantes y análisis de aceite a los sistemas hidráulico, mecánico y eléctrico. Los resultados obtenidos reflejaron desgaste en una manguera hidráulica y desgaste por escoria en las mordazas y alzas que sirven para sujetar las muestras ensayadas. La propuesta permite garantizar el funcionamiento cuando sea requerido y alargar la vida útil del equipo, teniendo registro de su ejecución.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

En el laboratorio de control de calidad de una empresa siderúrgica ubicada en el departamento de Escuintla, han acontecido fallas hidráulicas y eléctricas, así como desgaste en las mordazas (medios de sujeción de muestras) en la máquina de ensayo lo cual ha afectado la validación de características mecánicas del producto terminado y retrasando la liberación e ingreso de resultados en el sistema SAP en los departamentos de calidad, producción y bodega, lo cual sucede desde el 2017.

Las causas principales del problema son la ausencia de programación de mantenimiento preventivo, condiciones de mantenimiento preventivo inadecuadas, desconocimiento de historial de mantenimientos realizados, deficiencia en el procedimiento de mantenimiento a componentes. Los efectos principales que surgen son máquina de ensayos descompuesta, desgaste de piezas, fallas recurrentes y atrasos en realización de ensayos mecánicos.

La importancia para la resolución del problema radica en que es un equipo indispensable para el departamento de control de calidad. Esto debido a que sirve para la verificación del cumplimiento de las características mecánicas del producto terminado (varilla corrugada). La varilla corrugada son productos utilizados en la construcción, por lo que es necesario garantizar su resistencia para salvaguardar la integridad y vida de los usuarios finales.

La pregunta central de investigación es:

¿Cómo se mantiene en condiciones de funcionamiento una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica?

Las preguntas auxiliares de investigación son:

- ¿En qué condición física se encuentra la máquina de ensayos de tensión a la fecha de investigación?
- ¿Cuáles son las condiciones de operación y parámetros de mantenimiento de una máquina de tensión?
- ¿Cómo se ejecuta el mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión?

OBJETIVOS

General

Establecer un programa de gestión de mantenimiento para una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica.

Específicos

- Identificar la condición física en que se encuentra una máquina de ensayos de tensión a la fecha de investigación.
- Determinar las condiciones de operación y parámetros de mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión.
- Establecer las tareas para el mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La investigación que se realizó fue hecha bajo una ruta de investigación mixta, con un alcance descriptivo de tipo no experimental. Se estableció una ruta de investigación mixta debido a que fue necesario recabar información cualitativa de las condiciones de funcionamiento de la máquina de ensayos, observando el estado general de la misma en los componentes mecánico, hidráulico y eléctrico; además de información cuantitativa por medio de ensayos no destructivos de líquidos penetrantes, ultrasonido, termografía y análisis de aceite.

Se definió un alcance descriptivo con la realización de un programa de gestión para el mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión por medio de diferentes tareas que deben realizarse a los sistemas que la componen para garantizar su disponibilidad por medio del funcionamiento adecuado de cada uno de sus componentes. La investigación es de tipo no experimental ya que se tuvo que revisar las condiciones físicas de los componentes en que se encontraba el equipo a la fecha de investigación por medio de ensayos no destructivos en donde se evidenció desgaste en mordazas, alzas y manguera hidráulica.

La investigación inició con una revisión documental para conocer las especificaciones técnicas del equipo, registros de mantenimientos realizados y cualquier otro documento que sirvió como fuente de información. Se realizó una visita de reconocimiento al laboratorio de control de calidad de una empresa siderúrgica ubicada en Escuintla, donde se obtuvieron las condiciones físicas y condiciones de operación en que se encuentra el equipo. Las condiciones físicas a la fecha de investigación del equipo se pudieron determinar por medio de ensayos no destructivos a los sistemas eléctrico, hidráulico y mecánico.

Se hizo una inspección visual a las mordazas, alzas, cabezales, columnas, cableado eléctrico, panel de control con la finalidad de identificar deformaciones, grietas, fisuras y desgaste que pueda observar a simple vista en estos componentes del sistema hidráulico, mecánico y eléctrico.

Se realizó termografía al sistema eléctrico para identificar puntos de calor, también se realizaron líquidos penetrantes a mordazas y alzas para evidenciar grietas y fisuras. El sistema hidráulico se evaluó por medio de un ultrasonido realizado al cilindro principal y cilindros secundarios y válvulas. También se elaboró un análisis de aceite para identificar la situación del equipo a la fecha de investigación.

Con el análisis de los resultados obtenidos en los END realizados, se evidenció que existe desgaste en mordazas, alzas y manguera hidráulica. Se realizó una propuesta de gestión de un programa de mantenimiento con las tareas a realizar por cada sistema para avalar el buen funcionamiento y disponibilidad del equipo y un registro para evidenciar los mantenimientos realizados.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una innovación porque la máquina de ensayos de tensión cuenta con un programa de mantenimiento que no es conforme a las necesidades actuales de la empresa, debido a que no tiene un registro adecuado del historial de los mantenimientos efectuados, desconociendo la condición en que se encuentra el equipo a la fecha de investigación.

La importancia de esta investigación radica en conocer la condición del equipo a la fecha de investigación, para ello se evaluó los componentes principales del sistema hidráulico, eléctrico y mecánico por medio de ensayos no destructivos de ultrasonido, líquidos penetrantes, inspección visual, termografía y análisis de aceite. Al conocer la condición del equipo, se pudo crear una propuesta de un programa de mantenimiento para una máquina de ensayos mecánicos de tensión la cual es utilizada como medio de verificación de la calidad de la varilla corrugada en una empresa siderúrgica, ya que se debe garantizar la disponibilidad de la máquina de ensayos de tensión cuando sea requerida por el analista de calidad y de esta forma certificar que todas las muestras de varilla corrugada cumplen con los parámetros establecidos en las normas ASTM A615, A706 y COGUANOR 36 011 y 36 016.

En el capítulo I, contiene el marco teórico, el cual brinda información general sobre la varilla corrugada, el proceso de fabricación y proceso de control de calidad: también se muestra el proceso para la realización de pruebas de tensión realizadas al producto. También se abarca información sobre la gestión del mantenimiento, gestión de los equipos y el plan de mantenimiento con los indicadores de gestión que muestran el avance de los resultados propuestos.

En el capítulo II se efectuó la investigación que permitió determinar el diagnóstico situacional actual de la máquina de ensayos de tensión. Se realizó una visita de reconocimiento al laboratorio de control de calidad para conocer los sistemas que componen el equipo, las especificaciones técnicas y toma de datos en campo. Se realizaron END de inspección visual, ultrasonido, líquidos penetrantes, termografía y análisis de aceite con la finalidad de obtener la información de la situación de condiciones de la máquina de ensayos.

En el capítulo III se presentan y discuten los resultados obtenidos. En la inspección visual realizada se observó aceite sobre la superficie del piso, así como desgaste en la cubierta de la manguera que conecta al tanque de la central hidráulica. También se observó desgaste superficial en el cabezal inferior, alzas y mordazas causado por escoria de muestras de varilla corrugada. Las pruebas de líquidos penetrantes evidenciaron la ausencia de grietas y fisuras en cabezal inferior y mordazas. En la prueba de termografía no se detectaron puntos de calor en transformadores, contactores, capacitores y conexiones eléctricas del panel eléctrico. El ultrasonido detectó una falta de lubricación en el reductor de motor. El análisis de aceite no demostró alguna desviación que afecte la lubricación del equipo.

En el capítulo IV se muestra la propuesta de solución, donde se estableció un plan de mantenimiento para la máquina de ensayos de tensión con el fin de mantener el equipo en condiciones de operación. Se establecieron las tareas de mantenimiento que deben efectuarse en la frecuencia indicada, así como un formato para la creación de las órdenes de trabajo y la planificación del mantenimiento para lograr una gestión apropiada del mantenimiento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Varilla corrugada de acero

La varilla corrugada es una barra de acero cilíndrica de diferentes medidas (diámetros) laminada en caliente en diferentes medidas (diámetros) para dar un refuerzo estructural al concreto. La varilla corrugada presenta características mecánicas según el grado de acero con el que son fabricadas. Según la norma ASTM A615 y COGUANOR 36011, la varilla corrugada puede ser grado 40 o grado 60. Acorde a la norma ASTM A706 y COGUANOR 30616, la varilla corrugada puede ser fabricada en grado 60W o grado 80W.

Todas las varillas corrugadas presentan corrugas en toda la superficie longitudinal, las cuales pueden ser corrugas en X, corrugas en /, corrugas en V. La función de las corrugaciones es mejorar la adherencia de la varilla corrugada al concreto.

Figura 1. Varilla corrugada



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Las varillas corrugadas tienen la particularidad de ser dúctiles, permitiendo que puedan ser dobladas fácilmente utilizando medios manuales, como por ejemplo grifas, o medios mecánicos e hidráulicos como lo son máquinas dobladoras.

1.1.1. Proceso de fabricación

Para comprender el proceso de fabricación de la varilla corrugada, se explicará todo el proceso siderúrgico desde la fundición de chatarra para obtener la palanquilla que es la materia prima para utilizada en la fabricación de la varilla corrugada, el proceso de laminación en caliente, el etiquetado y la entrega a bodega como producto terminado.

1.1.1.1. Palanquilla

La materia prima usada en la elaboración de la varilla corrugada son palanquillas de acero. Las palanquillas se obtienen por medio de la fundición de chatarra, la cual se deposita en una cesta y se traslada a un horno eléctrico de fusión en donde se funde utilizando electrodos de grafito hasta alcanzar una temperatura de 1,600 °C. Luego el acero líquido es depositado en una olla que se traslada al horno LF en donde se ajusta la composición química del acero acorde al grado de acero a fabricar.

Finalizado este proceso, el acero se vacía en una máquina de colada continua en donde un distribuidor lo transfiere a unos moldes de cobre de sección cuadrada. A partir de este punto empieza la solidificación de la palanquilla a temperatura ambiente y se corta a una longitud determinada.

A cada lote de chatarra fundida se le denomina colada. Cada colada posee una composición química diferente y a partir de acá se inicia la trazabilidad del producto asignándole un número correlativo.

Figura 2. **Palanquilla de acero**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

1.1.1.2. Laminación en caliente

El proceso de laminación inicia con el calentamiento de la palanquilla dentro de un horno a base de búnker desde la temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura de 1,150 °C. La palanquilla caliente sale del horno a través de unos rodillos transferidores a la primera etapa del conformado, conocida como desbaste en donde inicia la reducción del área de sección transversal de la palanquilla.

En la segunda y tercera etapa del conformado se obtiene el diámetro de la varilla corrugada según sea la medida, luego pasan a una caja acabadora en donde se le da la forma de la corruga y acabado final. Todas las varillas laminadas en las medidas de 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1", 1 1/8", 1 1/4", 1 3/8", llegan a una cama de enfriamiento en donde a temperatura ambiente las varillas pasan de 1,000 °C a 150 °C.

Figura 3. Inicio del proceso de laminación en caliente



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Las varillas son trasladadas al área de corte en donde son cortadas con una cizalla hidráulica a una longitud de 6, 9, 12 y 15 metros. Posteriormente estas varillas son trasladadas al área de empaque en donde se forman fajos de cierta cantidad de varillas según la medida y longitud llamados líos, y luego se hacen fajos más grandes que se conocen como atados que contienen cierta cantidad de líos.

1.1.1.3. Etiquetado y entrega a bodega

Finalizado el proceso de empaque, cada atado es etiquetado con la información del producto: fecha, colada, código de producto, diámetro, longitud, tipo de corruga y grado de acero. Así mismo se coloca la norma de fabricación.

Figura 4. **Etiqueta del producto**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Se realiza la entrega del producto a bodega con una boleta, que contiene todas las coladas y cantidad de unidades correspondientes a un día de producción.

1.1.2. Control de calidad y normas aplicables al producto

La calidad consiste en el cumplimiento de las características inherentes del producto acorde a una especificación propia o establecida por una norma. La calidad busca satisfacer al cliente y aporta a mantener la fidelidad del mismo hacia una marca. La calidad de los productos aporta al éxito de toda organización, ya que garantiza en cierta manera la obtención de ganancias a través de las ventas.

La varilla corrugada es un producto que se usa en la construcción para dar refuerzo al concreto en diferentes obras como viviendas, puentes, edificios y otras edificaciones menores.

Guatemala es un país que está ubicado en una zona sísmica, en donde día a día ocurren eventos sísmicos de diferentes magnitudes, por lo que muchas vidas humanas dependen del cumplimiento de los parámetros de calidad dictados por normas nacionales COGUANOR 36011 y COGUANOR 36016 e internacionales ASTM A615 y ASTM A706 para este producto. El no cumplimiento de estos parámetros puede terminar en fatalidades de miles de personas al ocurrir una catástrofe natural como un terremoto.

El departamento de control de calidad tiene la responsabilidad de verificar el cumplimiento de los parámetros físicos y mecánicos de la varilla corrugada establecidos en las normas internacionales ASTM A615, ASTM A706, así como las normas nacionales COGUANOR 36011 y COGUANOR 36016, estos parámetros son los siguientes.

Tabla I. **Parámetros generales de la varilla corrugada**

Parámetro		Instrumento de medición utilizado para su verificación
Físicos	Espaciamiento de corruga	Vernier
	Altura de corruga	
	Ancho de vena	
	Masa lineal	Balanza y flexómetro
Mecánicos	Límite de fluencia	Máquina de ensayos de Tensión
	Resistencia a la tensión	
	Elongación	Vernier

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El análisis de los parámetros físicos y mecánicos del producto es realizado por cada colada laminada. Si el producto no cumple con los parámetros establecidos, debe ser bloqueado por medio de una boleta y se entrega a bodega para que el producto no pueda ser comercializado a los clientes. Posteriormente se debe extraer una nueva muestra, se realizan los análisis físicos y mecánicos. Si el producto cumple se libera, de lo contrario debe mandarse a la chatarra para ser fundido y convertido en palanquilla.

Los parámetros físicos establecidos en las normas ASTM A615, ASTM A706, COGUANOR 36011 y COGUANOR 36016 son los siguientes.

Tabla II. **Parámetros físicos de la varilla corrugada**

Producto	Masa nominal (kg)	Diámetro (mm)	Requerimiento de corrugaciones		
			Espaciamiento máximo promedio (mm)	Altura mínima promedio (mm)	Ancho máximo de corruga (mm)
8M	0,395	8,0	5,6	0,38	3,1
11M	0,746	11,0	7,7	0,51	4,3
3/8"	0,560	9,5	6,7	0,38	3,6
1/2"	0,994	12,7	8,9	0,51	4,9
5/8"	1.552	15.9	11.1	0.71	6.1

Continuación tabla II.

3/4"	2.235	19.1	13.3	0.97	7.3
7/8"	3.042	22.2	15.5	1.12	8.5
1"	3.973	25.4	17.8	1.27	9.7
1 1/8"	5.060	28.7	20.1	1.42	10.9
1 1/4"	6.404	32.3	22.6	1.63	12.4
1 3/8"	7.907	35.8	25.1	1.80	13.7

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los parámetros mecánicos para el grado 40 y grado 60 establecidos por las normas ASTM A615 y COGUANOR 36011 son los siguientes.

Tabla III. **Parámetros mecánicos de la varilla corrugada según Normas ASTM A615 y COGUANOR 36 011**

Propiedad mecánica	Grado 40	Grado 60
Resistencia a la tensión mínimo (psi)	60,000	90,000
Límite de fluencia mínimo (psi)	40,000	60,000
Límite de fluencia máximo (psi)	58,000	78,000
No. de barra	Elongación (%)	
8M, 11M	11	-
3/8"	11	9
1/2", 5/8", 3/4"	12	9
, 7/8", 1"	12	8
1 1/8, 1 1/4", 1 3/8"	-	7

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los parámetros mecánicos para el grado 60W y 80W establecidos por las normas ASTM A706 y COGUANOR 36016 son los siguientes:

Tabla IV. **Parámetros mecánicos de la varilla corrugada según Normas ASTM A706 y COGUANOR 36 016**

Propiedad mecánica	Grado 60	Grado 80
Resistencia a la tensión mínimo (psi)	80 000	100 000
Límite de fluencia mínimo (psi)	60 000	80 000
Límite de fluencia máximo (psi)	78 000	98 000
No. de barra	Elongación (%)	
8M, 11M	14	12
3/8", 1/2", 5/8", 3/4"	14	12
, 7/8", 1", 1 1/8", 1 1/4", 1 3/8"	12	12

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

1.1.2.1. Ensayo de tensión

Smith y Hashemi (2004), establecen que el ensayo de tensión sirve para comprobar la resistencia de una muestra de acero y sus aleaciones. En la realización de este ensayo, el espécimen de acero es estirado en un corto período de tiempo a una velocidad constante hasta que el mismo se fractura.

Askeland, Fulay y Wrigth (2012), dicen que las propiedades obtenidas por una prueba o ensayo de tensión se aplican al diseño de diferentes componentes debido a que se establece la resistencia del material a una fuerza estática. Cada muestra de material de acero ensayada posee diferentes propiedades mecánicas de límite de fluencia, resistencia a la tensión y elongación debido a las aleaciones con las que han sido fabricadas. Estas propiedades permiten tener un criterio de aceptar o rechazar el material.

Cuando un material metálico es sometido a una fuerza de tracción este inicia una deformación. Si la fuerza deja de aplicarse, el material metálico tiende a regresar a su posición original (deformación elástica), pero si esta fuerza

continúa hay un punto en el cual el material ya no regresa a su posición original (deformación plástica). A este punto se le conoce como límite de fluencia.

Güemes y Martín (2012), dicen que la resistencia a la tensión es la máxima tensión ingenieril que el material es capaz de soportar durante el ensayo de tracción. Consiste en la fuerza máxima que es capaz de soportar el material hasta su punto de ruptura. La resistencia a la tensión ocurre cuando la máquina de ensayos de tensión ejerce una fuerza máxima sobre la muestra durante cierta cantidad de tiempo hasta que la misma se rompe.

La elongación, cuantifica la deformación plástica del material permanente en la falla, midiendo la distancia entre las marcas calibradas entre el espécimen antes y después de la prueba (Askeland, Fulay, y Wrigth, 2012).

La elongación es el alargamiento que experimenta la muestra ensayada a partir de una longitud inicial teniendo dos puntos de referencia, es una característica de ductilidad del material.

Para realizar el ensayo de tensión para una varilla corrugada, es necesario extraer una muestra de 70 centímetros de longitud y este es realizado a través de una máquina de ensayos mecánicos.

El procedimiento para realizar un ensayo de tensión se define a continuación:

- La muestra deberá colocarse en una base con marcas cada 2 pulgadas de manera longitudinal y rayarse utilizando una sierra.

Figura 5. Marcaje de varilla corrugada cada 2 pulgadas



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

- Colocar el espécimen en la máquina de ensayos y sujetarla utilizando las mordazas.
- Colocar extensómetro sobre la varilla corrugada.

Figura 6. Varilla corrugada con extensómetro



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

- Ingresar parámetros al software de máquina de ensayos e iniciar el ensayo de tensión y retirar el extensómetro cuando sea requerido.
- Después de retirar el extensómetro, esperar la ruptura de la muestra y retirarla de las mordazas.
- Medir la elongación de la varilla corrugada, para ello medir la distancia entre 5 marcas tomando en cuenta que el punto de ruptura esté en el medio e ingresarla al software para su cálculo.

Figura 7. **Medición de la elongación**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

1.2. Gestión

La gestión consiste en un vínculo de diversas actividades que buscan administrar eficientemente los procesos por medio del círculo de Deming y aumentar la productividad de una empresa u organización. Toda empresa cuenta con equipos de trabajo, para ello cada persona desempeña un puesto específico

y aporta al cumplimiento de los objetivos de la organización. Generalmente los propietarios de los procesos son los responsables del manejo efectivo de todas las tareas que se realizan, estableciendo cómo y porqué realizarlas.

1.2.1. Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento busca definir los procedimientos y políticas que estén orientados a la ejecución de los objetivos de la empresa y controlen las tareas inherentes al mantenimiento.

Para poder conservar y/o restituir los equipos de producción a las condiciones que les permitan cumplir las actividades para las que fueron diseñados es necesario gestionar el mantenimiento, según lo define Crespo, Moreu, y Sánchez (2004).

Mora (2009) dice que para poder realizar el mantenimiento es necesario conocer sobre la gestión de los recursos para la realización del servicio el cual debe estar enfocado a los objetivos organizacionales y tener una planeación de las actividades a efectuar. El contar con una correcta gestión de los recursos permitirá realizar los servicios a los equipos planificados de manera eficiente.

Navarro, Pastor y Mugaburu (1997) establecieron que la gestión integral del mantenimiento consiste en actuar en todo lo que sea importante para el desenvolvimiento y crecimiento de la empresa y que están vinculados con el mantenimiento de las instalaciones. Es por ello que la interrelación entre departamentos que hacen funcionar la empresa debe ser en relación a la ejecución de los objetivos estratégicos y aportar al desarrollo de la gestión del departamento de mantenimiento.

Todos los departamentos que integran una organización deben de colaborar entre sí, responsables de sus acciones y ser equipos multidisciplinarios para tomar decisiones buscando el óptimo funcionamiento de la empresa.

IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018), indica que los aportes de la gestión de mantenimiento es reducir costos por fallas que interrumpen la producción, optimización del inventario de repuestos en bodega, seguridad y salud de colaboradores del área de mantenimiento, disminución de costos de mano de obra, energía eléctrica, materia prima, cumplimiento de especificaciones de fabricación del producto y lo más importante, prolongar la vida útil de las maquinarias. Además, establecen que las filosofías de gestión del mantenimiento son adaptadas a cada tipo de empresa existente, algunas de ellas son el mantenimiento preventivo-correctivo, mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento basado en fiabilidad (RCM), mantenimiento como cliente interno de producción, administración del mantenimiento y la gestión integral del mantenimiento.

1.2.1.1. Gestión de equipos

IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018), afirma que para la gestión de equipos es necesario contar con una lista del inventario de herramientas, máquinas, instrumentos, equipos, entre otros; esto con objetivo de conocer información útil de los mismos y la función que realizan en el proceso de producción. La gestión debe abarcar todo el proceso de vida útil del equipo, desde su compra y puesta en funcionamiento hasta que se le da de baja, conociendo todas las actividades de mantenimiento y cambios que ha tenido.

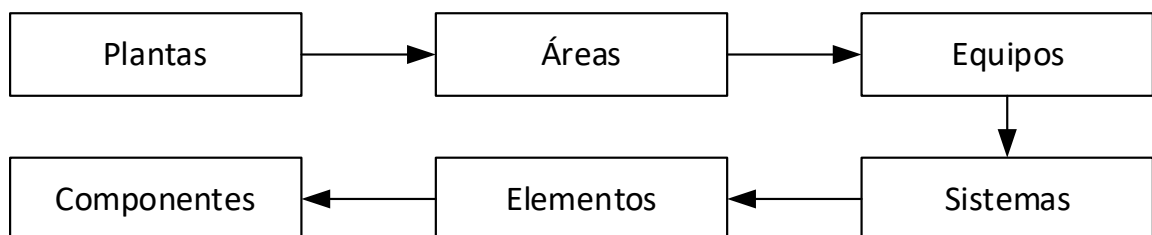
García (2003), establece que todas las empresas modernas buscan formas de administración de los equipos que poseen y se esfuerzan por garantizar la

disponibilidad cuando sea requerida y aumentar la vida útil de los mismos. Cada equipo posee características propias que lo hacen diferente a los demás. La gestión de los mismos se ejecuta por medio de un análisis de equipos.

1.2.1.2. Listado de equipos

El listado de equipos consiste en realizar un inventario de los activos con que cuenta la planta. García (2003), dice que cuando una empresa cuenta con una o varias áreas de producción con equipos similares, cada equipo se puede dividir en sistemas, que a su vez se subdividen en elementos. Los componentes son las partes más pequeñas en que se pueden dividir los elementos. En cada reparación efectuada, generalmente lo que se cambian son los elementos.

Figura 8. **Establecimiento de un listado de equipos**



Fuente: García (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*.

1.2.1.3. Codificación de equipos

González (2009), menciona que la codificación de equipos consiste en realizar una nomenclatura que permita la localización en planta por área y tipo de equipo. También permite realizar consultas con facilidad en planos, documentación, órdenes de trabajo e historial del equipo.

La codificación muestra la información vital de un equipo. Por ejemplo, puede ser acorde a la siguiente estructura:

Figura 9. **Estructura de codificación de equipos**



Fuente: García (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*.

1.2.1.4. Ficha técnica del equipo

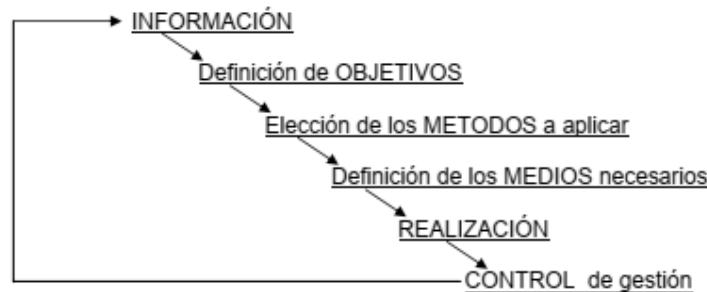
González (2009), indica que la ficha técnica del equipo es un documento con información importante del equipo. Como mínimo esta debe contener:

- Código del equipo, descripción
- Año de compra
- Proveedor e información de contacto
- Información generalizada
- Características importantes
- Valores para referencia
- Fotografía
- Repuestos críticos
- Consumibles
- Historial de mantenimientos realizados

1.2.2. Gestión del trabajo

En cualquier organización la gestión del trabajo es el aspecto más importante dentro de la gestión. Busca administrar adecuadamente los recursos que se tiene (humanos, tiempo, maquinaria, herramienta, entre otros) usando una planificación que se ejecute, verifique y se pueda establecer medios para su control.

Figura 10. **Pasos para la puesta en marcha de una política de mantenimiento**



Fuente: Díaz (2011). *Técnicas de mantenimiento industrial*.

Díaz (2011), establece que el primer paso para la gestión del trabajo consiste en establecer una política de mantenimiento. Esta consiste en definir los objetivos, métodos y recursos para lograrlos.

Al tener establecida toda la información importante de los equipos, se establecen los objetivos para lograr la disponibilidad de los mismos, los cuales pueden variar acorde al tipo de industria. Los objetivos de la política de mantenimiento se definen por la alta dirección en acompañamiento con los

departamentos involucrados como lo pueden ser producción, mantenimiento y calidad.

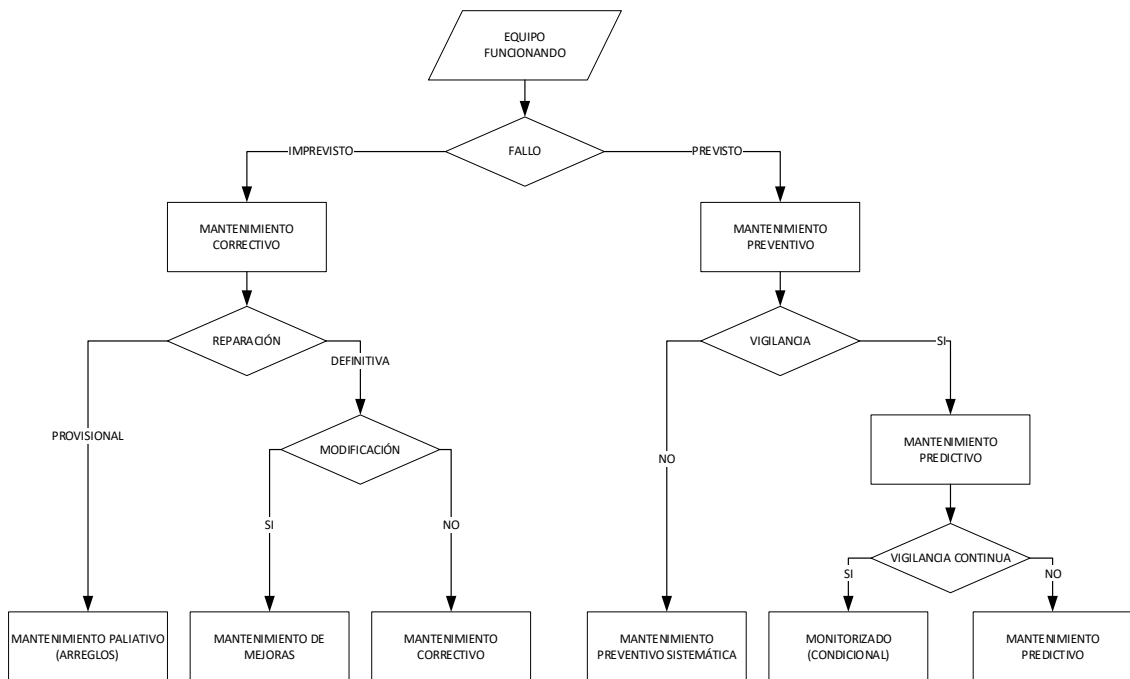
La definición del método de mantenimiento depende de los objetivos establecidos y acorde al método elegido, se realiza la asignación de recursos y se crean los controles para verificar la eficacia del mantenimiento realizado.

1.2.2.1. Plan de mantenimiento

Para lograr que los equipos estén disponibles, se requiere definir las actividades de mantenimiento que deben efectuarse oportunamente. Para ello, se establecen las siguientes etapas:

- Clasificar e identificar los equipos: esta información se define en este documento en el inciso 1.2.1.1. Gestión de equipos.
- Recopilación de información: consiste en disponer de la información principal sobre el equipo. Esto puede ser condiciones de operación, diseño, legislación, recomendación del fabricante, entre otros.
- Elección de una política de mantenimiento: en esta parte se define que tipo de mantenimiento se aplicará a cada equipo. Acorde al tipo de fallo y posibilidad de vigilancia, se aplica el siguiente diagrama de flujo.

Figura 11. Diagrama de flujo para el mantenimiento por tipo de fallo y posibilidad de vigilancia



Fuente: Díaz (2011). *Técnicas de mantenimiento industrial*.

- Programa de mantenimiento preventivo: este programa proporciona las rutinas de inspección al equipo optimizando cada uno de los recursos materiales y de mano de obra.
- Guía de mantenimiento correctivo: consiste en crear procedimientos de reparación acorde a los trabajos más repetitivos.
- Organización del mantenimiento: para completar el mantenimiento, se define el recurso humano a utilizar, recursos administrativos y la planificación y programación de los trabajos.

1.2.2.2. Análisis de criticidad

Dentro de cualquier fábrica industrial, los equipos poseen distinto nivel de jerarquía debido a que unos son robustos en comparación con otros más delicados y susceptibles a fallas. Acorde al costo de cambio, costo de paradas, probabilidad de fallas, se puede evaluar el grado de importancia del equipo, según IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial, (2018).

El análisis de criticidad consiste en establecer criterios de decisión que miden la importancia que tiene un equipo en una planta de producción.

Las fallas afectan a la economía de la empresa por los paros de producción, producto no conforme, accidentes, cambio de repuestos con mayor frecuencia, entre otros. El grado de criticidad establece la jerarquía y prioridad para la entrega de los recursos de mantenimiento. García (2003), establece estos niveles de criticidad:

- Equipos críticos, son los equipos cuyo paro o funcionamiento incorrecto afecta considerablemente a los resultados de la empresa.
- Equipos importantes, son los equipos cuyo paro o funcionamiento incorrecto afecta a la empresa, pero sus consecuencias son limitadas.
- Equipos prescindibles, son todos aquellos que no tienen un efecto en los resultados de la empresa.

Tabla V. **Parámetros de criticidad de equipos**

Tipo de equipo	Producción	Calidad	Mantenimiento
A (crítico)	Causa un paro en la producción.	Causa efectos que no se pueden corregir en el producto terminado.	Tiempo y costo de reparación elevado. Consume muchos recursos de mano de obra y materiales
B (importante)	Causa un paro en la producción, pero se puede operar en forma manual con pérdida en el desempeño	Causa efectos que se pueden corregir en el producto terminado por medio de un alto tiempo de reproceso.	Tiempo y costo medio de reparación. Consume bajos recursos de mano de obra y materiales
C (prescindible)	Poca influencia en la producción	No afecta en la calidad del producto terminado.	Costo bajo de reparación No consume recursos de mano de obra y materiales

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Todo equipo crítico e importante debe tener asignadas diferentes tareas para el mantenimiento predictivo, si el equipo se puede excluir de la producción puede aplicarse el mantenimiento correctivo o cambiarse de ser necesario.

1.2.2.3. Elección del modelo de mantenimiento

García (2003), informa que al tener terminada la criticidad del equipo, se puede elegir un modelo de mantenimiento a aplicar a los equipos. Si el equipo es crítico el modelo será alguno de los de mantenimiento programado. Si el equipo es importante, se analizarán las consecuencias de la avería. Si el equipo es prescindible, el modelo a elegir será el modelo correctivo.

- Modelo correctivo: se aplica a los equipos con un bajo nivel de criticidad, se realizan inspecciones visuales, lubricación y reparación de averías.
- Modelo condicional: este modelo se aplica a equipos de poco uso o cuya probabilidad de falla es baja. Incluye una condición del equipo para programar el mantenimiento, además de inspecciones visuales, lubricación y reparación de averías.
- Modelo sistemático: se aplica a equipos de disponibilidad media, que tienen cierta importancia y cuya avería causa algunos problemas. Sus tareas son periódicas sin importar la condición del equipo. Incluye inspecciones visuales, lubricación, mantenimiento preventivo sistemático, mantenimiento condicional y reparación de averías.
- Modelo de alta disponibilidad: se aplica a todo equipo que no pueden sufrir alguna avería ya que son equipos críticos y con una disponibilidad mayor al 90 %. Se utiliza el mantenimiento predictivo para conocer el estado del equipo en funcionamiento. Se sustituyen las piezas con desgaste o probabilidad de fallo. Este mantenimiento incluye inspecciones visuales, lubricación, reparación de averías, mantenimiento condicional, mantenimiento sistemático.

1.2.2.4. Análisis de fallas del equipo

Díaz (2011), establece que un análisis de fallas es una investigación sistemática para evidenciar las causas de las fallas en la maquinaria y elaborar una planificación que permita su eliminación. Para ello se establece una estrategia para corregir cualquier desviación detectada para asegurar la

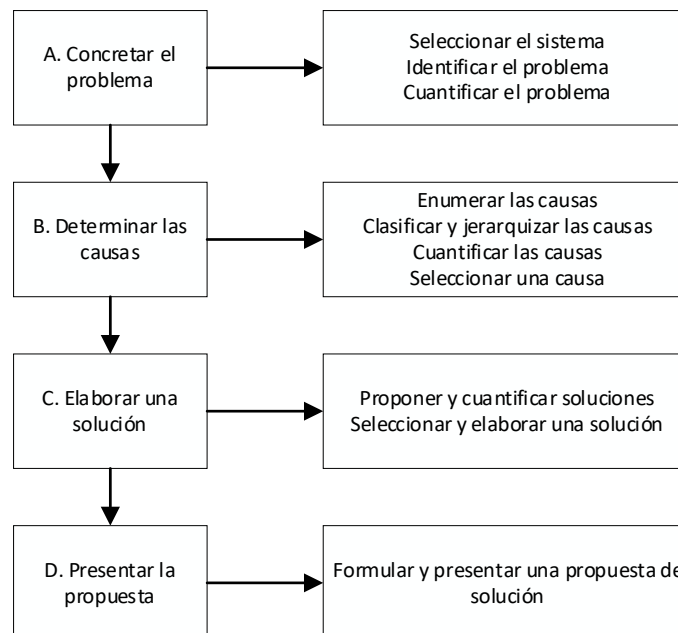
disponibilidad en las máquinas y se logre la mejora continua en el proceso de mantenimiento.

Heizer y Render (2009), indican que todas las fallas en los equipos y los productos tienen efectos en las operaciones, reputación y rentabilidad de las organizaciones. Estos efectos son perjudiciales ya que son monetariamente altos y pueden costar hasta vidas humanas.

García (2003), indica que un fallo funcional es aquel que imposibilita al equipo cumplir su función. También dice que un fallo técnico es aquel que causa un funcionamiento anormal del equipo sin impedir que cumpla su función.

Para analizar las fallas, se debe realizar las siguientes actividades:

Figura 12. **Diagrama para análisis de fallas del equipo**



Fuente: Díaz (2011). *Técnicas de mantenimiento industrial*.

IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018), dicen que mediante el análisis de fallas se encuentran las causas que las provocan para evaluar alternativas de solución para evitar o minimizar que ocurran. Para realizar este análisis es necesario contar con información de las circunstancias de operación indicadas por el fabricante, condiciones ambientales, registros de mantenimientos efectuados, historial de fallas, así como el personal involucrado en la utilización y mantenimiento.

Algunas de las causas de fallas que se pueden presentar son desgaste, fatiga, repuestos defectuosos, mala operación del equipo, reparaciones efectuadas incorrectamente, falta de atención a alarmas, uso de insumos incorrectos, entre otros.

1.2.3. Planificación y programación del mantenimiento

La planificación y programación del mantenimiento es vital, debido a que permite optimizar los recursos con los que se cuentan teniendo que ajustarse a los tiempos programados por la planificación de la producción de una organización.

Díaz (2011), define que la planificación es preparar todos los recursos para ejecutar el trabajo en el tiempo definido. También menciona que la programación consiste en establecer el día y orden de realización de los trabajos según la planificación.

Duffuaa, Raouf, y Campbell (2000), indican que la programación del mantenimiento son los pasos para asignar recursos humanos y materiales para las tareas que se realizan en ciertas ocasiones.

La planificación de los trabajos pretende asignar los recursos de mano de obra y materiales (repuestos, máquinas, herramientas, consumibles, entre otros), siendo una actividad de importancia para la realización del mantenimiento.

Los paros de mantenimiento programados con anticipación deben de tener una planificación para maximizar el aprovechamiento del tiempo en que los equipos se encuentran fuera de uso, esto según IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018).

Estos trabajos pueden ser efectuados por personal propio de la empresa si el trabajo es rutinario o pueden ser subcontratados a un tercero si el trabajo es muy especializado o no rutinario.

Para realizar la programación de los trabajos, es necesario conocer el tiempo que demora realizarlos. Además, permite medir la eficacia del servicio de mantenimiento para la toma de decisiones. Díaz (2011), clasifica los trabajos como:

- Pequeños trabajos no rutinarios, estos tienen una duración menor a 4 horas.
- Trabajos rutinarios, son repetitivos y previsibles, son hechos por un equipo asignado a cada área de trabajo. Se necesitan procedimientos de trabajo y asignación de tiempos.
- Trabajos de mantenimiento diversos, estos son variables, aparecen con cierta repetitividad. Se necesita disponer de tiempos y procedimientos para su ejecución.

- Trabajos de ayuda a producción, consisten en ajustes y cambios a la máquina. Son repetitivos y se debe tener procedimientos.
- Trabajos de mantenimiento extraordinario, se refieren a reparaciones y/o revisiones de grandes proporciones. Se necesita tener procedimientos y tiempos de intervención.

Díaz (2011), indica que la programación de los trabajos depende de las características que tengan los mismos.

- Programación a largo plazo, son reparaciones mayores las cuales deben de cuantificarse, disponer de tiempos de ejecución y presupuestarse.
- Programación a medio plazo, es aquella que se puede hacer de manera semanal o mensual. Esta se puede cuantificar en horas y se preparan los recursos para el aseguramiento de su calidad.
- Programación diaria, en esta programación se desarrollan las actividades urgentes o imprevistas. Además, se les da seguimiento y ejecución a las actividades semanales o mensuales.

González (2009), indica que la programación del mantenimiento consiste en un calendario en donde se encuentran establecidas todas las tareas de mantenimiento que deben tener una ejecución en las máquinas y en los equipos que posee una fábrica industrial. Las tareas son establecidas acorde a la criticidad del equipo, así como el orden de prioridad en su realización.

Una solicitud de trabajo es un documento que tiene la información de la máquina a reparar. Indica el código, fecha en que se solicita, la descripción de la falla que presenta y el nombre del solicitante.

La orden de trabajo es un registro donde se establecen la fecha programada de inicio y fin del trabajo, tareas a ejecutar, recursos a utilizar, descripción del mantenimiento a realizar, entre otra información.

1.2.3.1. Planificación basada en fiabilidad (RCM)

Según Heizer y Render (2009), la confiabilidad es la posibilidad de que las partes de una máquina o equipo funcionen adecuadamente durante una secuencia definida de tiempo bajo ciertas condiciones.

El mantenimiento que se basa en confiabilidad, consiste en una técnica para la adecuada gestión de mantenimiento usada como fundamento en las tareas de mantenimiento así como la frecuencia en que son realizadas para los equipos de una organización, esto acorde a Mora (2005).

Para asegurar la operación de cualquier activo físico se puede utilizar el RCM para determinar las tareas que se deben realizar, acorde a Ortiz, Rodríguez, e Izquierdo (2013)

El RCM, es una metodología de trabajo cuya finalidad es mejorar los resultados. Tiene como fundamento el análisis de fallas de manera rigurosa, analizando la forma en que se producen y su repercusión económica, según IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018). Se presentan los beneficios como la reducción de costos, objetivos alcanzables, disminución de paradas de producción, reducción de averías de impacto, alcanzar niveles

óptimos de calidad, reducción de tiempo de mantenimiento, localización de fallas y sus causas, entre otros.

Las fases para la implementación del mantenimiento basado en fiabilidad son las siguientes:

- Seleccionar el equipo o equipos para implementar el RCM
- Investigar información de los equipos
- Analizar las fallas que han ocurrido y que puedan ocurrir
- Analizar e investigar las fallas
- Elegir una metodología de trabajo
- Elaborar procedimientos de trabajo y tareas a realizar
- Validar los procedimientos planificados
- Comprobar el desempeño del programa
- Optimizar los procedimientos

García (2003), define que el modelo RCM, mejora el entendimiento del trabajo de los equipos ya que estudia las probabilidad de fallo y crea medios para evitarlos, así como los planes para garantizar la marcha de los equipos según los parámetros de operación establecidos.

1.2.4. Indicadores

Todas las empresas utilizan diversos activos para la generación de bienes o servicios, y tiene como requisitos garantizar la mayor disponibilidad al menor costo, acorde a Cárcel (2014).

IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018), afirma que los indicadores de gestión evalúan el nivel de cumplimiento de un proceso. Esto con

la premisa de que todos los procesos medibles se pueden mejorar. Estas mediciones se utilizan para la toma de decisiones acorde a un patrón de referencia. Es necesario conocer qué medir, cómo, cuándo, dónde y qué herramientas utilizar.

García (2003), asegura que, para vigilar la gestión del trabajo, es necesario contar con indicadores para tomar decisiones que afectan el mantenimiento acorde a parámetros que evalúen los cumplimientos que se tienen en el área.

Díaz (2011), establece que el cuadro de mando contiene información de manera ordenada para conocer el estado del servicio de mantenimiento y realizar el análisis crítico y propuestas de mejora. En el cuadro de mando se establecen los indicadores del área.

La frecuencia de cálculo de estos parámetros de desempeño dependerá de cada planta en particular, así como que tanto se quiere medir el proceso. El valor meta del indicador debe ser alcanzable y un reto para quien. Con la ejecución de los indicadores, se puede analizar a futuro la evaluación y saber si el proceso ha mejorado, se mantiene igual o ha empeorado.

Todo indicador de mantenimiento tiene que ser fácil de medir, entender e interpretar, ser representativo acorde a las tareas que se realizan, motivar la competitividad, adaptables a los cambios. Deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y a tiempo, esto acorde a IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial (2018).

El indicador de gestión de tareas está definido por el cociente de dividir la cantidad de tareas ejecutadas entre el total de tareas planificadas.

$$\text{Cumplimiento en ejecución} = \frac{\text{Tareas ejecutadas}}{\text{Tareas planificadas}} \quad (\text{Ec. 1})$$

El indicador de gestión de órdenes de trabajo es la proporción de órdenes de trabajo que se finalizaron en la fecha programada sobre el total de órdenes planificadas. Mide qué tan acertada fue la planificación del mantenimiento.

$$\text{Cumplimiento a planificación} = \frac{\text{No.Ordenes finalizadas}}{\text{No.ordenes planificadas}} \quad (\text{Ec. 2})$$

1.3. Documentación del mantenimiento

La Organización Internacional para la Estandarización (2015) en su norma ISO 9000:2015, indica que cada organización establece los criterios para evidenciar que se planificó, operó y se establecieron controles a los procesos que posee y sirva como evidencia objetiva al momento de cualquier auditoría interna o externa del sistema de gestión.

1.3.1. Procedimientos

La Organización Internacional para la Estandarización (2015) en su norma ISO 9000:2015, define que un procedimiento es una forma desarrollada para llevar a cabo una tarea o proceso. Estos deben ser guías sobre cómo realizar un proceso determinado para cualquier persona que los consulte y necesite ejecutarlo.

García (2003), define que un procedimiento es un documento que tiene como fin asegurar que una tarea se realice siempre de manera estandarizada.

1.3.2. Instructivos operacionales

La Organización Internacional para la Estandarización (2015) en su norma ISO 9000:2015, establece que un instructivo es las instrucciones de cómo ejecutar una tarea determinada. Todo instructivo operacional debe contener las instrucciones de manera detallada para realizar una tarea con el propósito de que no se cometan errores en su realización.

1.3.3. Registros

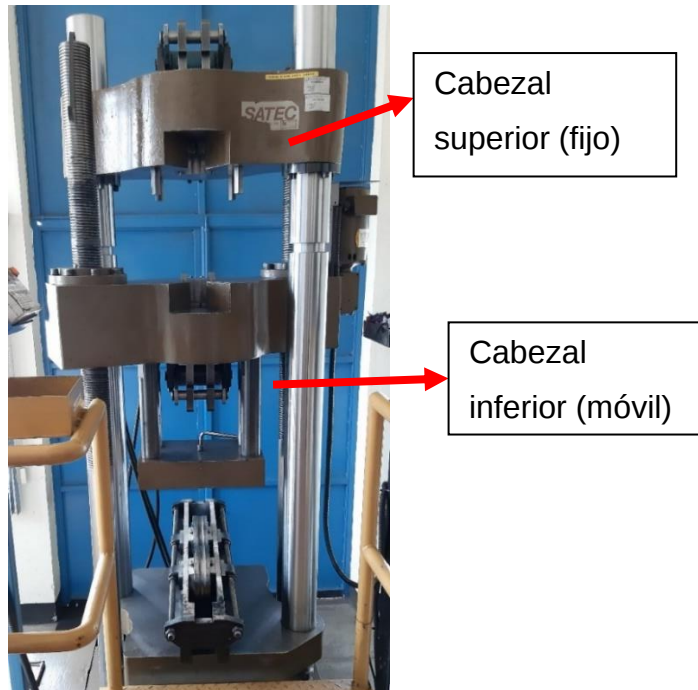
La Organización Internacional para la Estandarización (2015) en su norma ISO 9000:2015, dice que un registro es un documento que proporciona evidencia de las actividades realizadas. Todos los registros deben de ser llenados con letra clara y legible, esto para que puedan ser analizados e interpretados cuando sea requerido.

La importancia de que toda reparación y ajuste realizado a las máquinas y equipos queden anotadas para poder realizar una comparación y estudio detallados para mejora de las funciones y disminuir costos de mantenimiento, esto según Newbrough (1997).

1.4. Máquina de ensayos de tensión

Una máquina de ensayos de tensión permite medir las propiedades mecánicas de una probeta de un material elástico, el cual es sometido a una fuerza constante hasta que se rompe.

Figura 13. Partes de una máquina de ensayos de tensión



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

El equipo cuenta generalmente con un cabezal o travesaño fijo y otro móvil, que al ascender o descender aplica sobre la probeta una carga de tracción o compresión. Además, está dotado de una célula de carga, que mide la fuerza instantánea que actúa sobre la probeta y un extensómetro, un dispositivo de medida que permite conocer el alargamiento o extensión de la probeta en dirección longitudinal (Güemes y Martín, 2012).

1.4.1. Principio de funcionamiento

Carabalí (2010), dice que las máquinas universales de ensayos poseen un sistema que genera la carga aplicada, un sistema de medición de fuerza y un sistema de cabezales (marco de carga).

1.4.1.1. Sistema de generación de fuerza

Carabalí (2010), informa sobre la importancia de este sistema, debido a que la carga que se aplica a la probeta es controlada y constante durante la realización del ensayo para comprobar las propiedades del material. En las máquinas universales hidráulicas, la carga proviene de un cilindro hidráulico que está conectado con la mesa de la máquina y el soporte horizontal móvil. Generalmente, la energía hidráulica permite trabajar con cargas de fuerza muy elevadas, su control se encuentra presente en el sistema de carga, permite que el software o persona que realice el ensayo interactúe con la máquina utilizando de un controlador manipulando la cantidad y velocidad de la carga aplicada. Este controlador permite que se abran o cierren las válvulas de fluido para mover el cilindro hidráulico.

1.4.1.2. Sistema de medición de carga aplicada

Carabalí (2010), dice que este sistema permite controlar y medir la carga aplicada sobre la muestra ensayada. Se utiliza una celda de carga que se encarga de regular el voltaje en función del nivel de carga aplicada para controlar las condiciones del ensayo y obtener sus resultados mecánicos. Además, el indicador de la medida de carga se obtiene usando un software con una interfaz de usuario, este permite conocer la carga que se aplica en la muestra en tiempo real.

1.4.1.3. Sistema de cabezales (marco de carga)

Carabalí (2010), indica que el sistema de cabezales está directamente relacionado al ensayo de tensión, ya que en ellos se coloca la muestra para la aplicación de la carga. Los cabezales son dos soportes horizontales, uno fijo y

otro móvil. El cabezal fijo permanece inmóvil durante la realización del ensayo de tensión. El cabezal móvil se mueve acorde a la deformación que está sufriendo la muestra que es sujeta a ensayo.

Figura 14. **Sistema de mordazas sujetando una probeta**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

La sujeción a los cabezales es por medio de unos dispositivos de agarre llamados mordazas. Su función principal es sujetar la muestra entre los cabezales fijos y móviles. Las mordazas pueden ser planas, para probetas planas y acanaladas que son utilizadas para probetas de forma cilíndrica.

1.4.2. Pruebas que se pueden realizar

En la máquina de ensayos de tensión, pueden realizarse ensayos destructivos. Estos ensayos son todos aquellos en que la probeta del material queda destruida al momento de ejecutar el ensayo y no puede utilizarse nuevamente.

Los ensayos se realizan bajo procedimientos establecidos en la norma ASTM A370. Esta norma establece los métodos de ensayo para productos de acero.

En una máquina de ensayos mecánicos pueden realizarse ensayos estáticos, como lo son el ensayo de tensión, flexión y compresión.

1.5. Ensayos no destructivos

Según Asociación Española de Ensayos No Destructivos (2016), define a los ensayos no destructivos como pruebas realizadas a cualquier objeto sin que sufra algún tipo de alteración con el fin de comprobar si existen o no discontinuidades que afectan la utilidad o servicio del objeto. Se pueden aplicar a cualquier tipo de pieza o componente durante la fabricación, mantenimiento y durante la vida útil del objeto.

Existen ensayos de varios tipos, uno de ellos es el no destructivo cuya característica principal es la integridad del objeto ensayado. Estos no proporcionan un grado de certidumbre en sus resultados en contrario con los destructivos, ya que dependen de la interpretación del inspector (Morcillo, 2011).

Los END permiten asegurar la calidad e integridad del producto, prevenir accidentes, garantizar la satisfacción del cliente, mantener la reputación del fabricante y aumentar la disponibilidad operacional en industrias aeronáuticas, navales, automovilísticas, metalúrgicas, entre otras industrias.

La Asociación Española de Ensayos No Destructivos (2016), establecen que, para la calidad de los productos como aviones, puentes, tuberías, entre otros, es necesario realizar ensayos no destructivos para ensayar la totalidad de

la producción aumentando la confianza del cliente en el producto. Se requiere conocimientos técnicos teóricos y prácticos muy específicos para la realización correcta y aplicación de END.

Los END se pueden clasificar acorde a la capacidad de detección en la pieza, que pueden ser abiertas a la superficie (superficiales), cercanas a la superficie (subsuperficiales) y las discontinuidades que se encuentran en cualquier lugar del volumen de la pieza (volumétricos) (Morcillo, 2011).

1.5.1. Inspección visual

La inspección visual es la técnica más empleada en las industrias. Consiste en examinar diferentes objetos a simple vista o por medio de instrumentos como lupas, espejos, endoscopios.

Se utiliza para la determinación de la condición superficial de un objeto y se requiere tener una gran experiencia en el tema para determinar cualquier tipo de defecto, ya que no es solo mirar, sino se debe observar, analizar y conocer que ver y que se busca. Es necesario contar con una buena iluminación en el área superficial de la pieza a examinar.

La inspección visual es realizada de manera directa utilizando instrumentos ópticos, o de manera indirecta con fotografías o videos. (Morcillo, 2011), dice que la interpretación de la inspección visual no se realiza acorde a los conocimientos del inspector. Las fallas, defectos son como se observa y es suficiente con saber identificarlas.

1.5.2. Líquidos penetrantes

Consiste en un método superficial que se basa en utilizar un líquido entintado que tiene características físico químicas que le permite penetrar en discontinuidades abiertas a la superficie por medio del efecto de capilaridad, de tal manera que al efectuar la limpieza del exceso de líquido aplicado superficialmente queda exclusivamente lo que se introdujo en la discontinuidad y ser revelado con un líquido revelador que indica sobre la superficie del área en donde se encuentran discontinuidades.

Permite la detección de discontinuidades en la superficie de cualquier objeto que no sean porosos. Su aplicación no requiere equipos costosos más que el kit que contiene un limpiador, penetrante y revelador. Los pasos para su aplicación son, limpieza de la pieza, secado de la superficie, aplicación de penetrante, tiempo de penetración, eliminación de exceso de penetrante y aplicación de revelador. Dependiendo del requerimiento de sensibilidad se pueden utilizar penetrantes fluorescentes.

1.5.3. Termografía

La Asociación Española de Ensayos No Destructivos (2016), define a la termografía como una técnica en donde se obtienen imágenes de la distribución calorífica de la superficie del objeto examinado y para realizarla no es necesario tener un contacto físico con el elemento a ensayar. Las distintas temperaturas detectadas se representan por colores acorde el grado de temperatura. Puede ser aplicada en la detección de fuentes de calentamiento en equipos y circuitos eléctricos, fugas de calor en aislamientos, detección de humedad, entre otras aplicaciones.

El equipo principal utilizado es una cámara termográfica que es sensible a la radiación infrarroja. Estos equipos pueden captar el flujo de energía emitido en una superficie, transformándolo en una imagen termográfica.

1.5.4. Ultrasonido

Santos, Cancino, Yenque, Ramírez y Palomino (2005), definen el ultrasonido como una técnica de ensayo no destructivo debido a que para realizarlo no se destruye ni sufre modificación alguna el objeto a examinar.

La Asociación Española de Ensayos No Destructivos (2016), establece que el ensayo de ultrasonido se ejecuta al introducir dentro del material una onda mecánica (elástica) de mayor frecuencia que el sonido y se espera la señal de respuesta tras su paso por la pieza o discontinuidades. La técnica más utilizada es el pulso eco, similar a efectuar un grito frente a una montaña y escuchar el eco de regreso.

Los ultrasonidos se pueden realizar sobre metal, plástico, madera, vidrio, cerámica, pero cada material requiere diferentes frecuencias y posee diferentes niveles de sensibilidad acorde a las características propias del material.

Según Santos *et. al.* (2005), indican que el ultrasonido es una técnica de ensayo no destructivo que tiene varias aplicaciones, permitiendo conocer los interiores de los componentes por medio de la propagación de ondas sonoras y su comportamiento permite determinar discontinuidades en el material inspeccionado. Existen diferentes técnicas de inspección por ultrasonido, cada una de ellas requiere un equipo específico. Algunas de ellas son:

- Técnicas por contacto (resonancia, transmisión, pulso eco)

- Técnicas por inmersión (transmisión, impulso eco)

1.6. Análisis de aceite

El análisis de aceite se considera una técnica de mantenimiento predictivo porque brinda información sobre lo que está ocurriendo en el interior del equipo y detecta oportunamente problemas de desgaste y contaminación del aceite. El análisis de aceite informa sobre la condición en que se hallan los equipos. Es un método confiable para conocer sobre el tiempo de vida del lubricante en la aplicación sobre diseñada (Payri y Desantes, 2005).

El análisis consiste en determinar las propiedades físicas y químicas de un fluido, determinar los contaminantes disueltos y suspendidos. El encontrar contaminantes da pauta a que la máquina no está funcionando adecuadamente y que es susceptible a alguna forma de falla.

Las impurezas contaminantes de los lubricantes pueden ser por fuentes externas, como polvo, agua, combustibles, y fuentes internas como por ejemplo el deterioro de la maquinaria y degradación del lubricante. La contaminación depende de dónde y cómo se utiliza el equipo.

1.6.1. Técnicas para determinar la degradación y contaminación del aceite

La degradación es el proceso en el cual un aceite disminuye las propiedades de lubricar, limpiar, refrigerar, entre otras. El proceso de degradación utiliza la viscosidad como la característica más importante del fluido debido a que determina la capacidad física para mantener la lubricación. La

viscosidad se define como la resistencia de las moléculas de un fluido a deslizarse entre sí (Payri y Desantes, 2005).

- El índice de viscosidad es un parámetro no representativo para diagnóstico ya que disminuye por la degradación de aditivos mejoradores de viscosidad y no se puede detectar en la mayoría de veces debido a contaminantes. Se puede determinar la viscosidad cinemática por distintos viscosímetros.
- El punto de inflamación consiste en el grado de temperatura necesaria para que el aceite desprenda vapores suficientes para inflamarse momentáneamente mientras le es aplicada una llama. Este punto aumenta con el tiempo de utilización, puede brindar información sobre contaminantes por productos volátiles, como por ejemplo combustible.
- La acidez o alcalinidad de un aceite consiste en la cantidad de ácido o álcali que se requiere para neutralizar el contenido de ácido o base de un gramo de muestra. Se puede expresar en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) Este cambio permite evaluar cambios químicos que ha sufrido el aceite por contaminantes y por la degradación del mismo.
- La espectrometría infrarroja es un método de análisis que permite la determinación cuantitativa y cualitativa de cualquier compuesto que se encuentre en una muestra por medio del estudio de longitudes de onda que absorben radiación infrarroja. Proporciona información sobre la presencia de contaminantes en el aceite. Se puede detectar productos con oxidación y nitración, contaminación por agua, contaminación por glicol y combustible.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Los siguientes aspectos son generalidades que sirven como base de determinación del diagnóstico situacional actual en que se encuentra la máquina de ensayos de tensión y así poder crear la propuesta del programa de gestión de mantenimiento para una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica.

2.1. Antecedentes del laboratorio de control de calidad

El laboratorio de control de calidad de la empresa siderúrgica inició operaciones en el año 1996 realizando el chequeo de los parámetros físicos y mecánicos de varilla corrugada desde varilla 3/8" hasta 1 3/8" en longitudes de 6, 9, 12 y 15 metros para garantizar las especificaciones establecidas en las normas ASTM A615, A706, COGUANOR 36 011 y 36 016 debido a que es un material utilizado en la construcción de edificios, viviendas, puentes, entre otros.

El personal que conforma el laboratorio de control de calidad se distribuye en 5 analistas de calidad, 1 ingeniero de proceso y 1 jefe de control de calidad. La escolaridad de los analistas de calidad es de nivel diversificado. Los puestos del ingeniero de proceso y jefatura de control de calidad tienen una escolaridad nivel universitario. Los equipos de medición que se utilizan son 1 vernier digital de 6 pulgadas, 1 vernier digital de 12 pulgadas, 1 cinta métrica de 5 metros, una balanza digital de 16,000 gramos y una máquina de ensayos de tensión. Estos equipos son calibrados anualmente para asegurar la confianza y validez de los resultados que se obtienen por cada muestra analizada.

El acceso al laboratorio de control de calidad se encuentra restringido al personal de calidad. Otras personas ajenas al mismo pueden ingresar bajo autorización de jefatura de control de calidad.

2.2. Visita de reconocimiento

Se realizó una visita de reconocimiento al laboratorio de control de calidad para verificar las condiciones de operación y condiciones físicas en que se encuentra la máquina de ensayos de tensión.

La máquina de ensayos de tensión de este estudio es de marca Instron modelo 200 HVL del año 1 996 la cual se encuentra anclada sobre pernos de soporte. Se compone de un sistema eléctrico, hidráulico y mecánico. Las partes principales de estos sistemas se definen en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla VI. **Partes de los sistemas que conforman la máquina de ensayos de tensión modelo 200 HVL**

Sistema hidráulico	Sistema eléctrico	Sistema mecánico externo
Bomba	Cableado	Cabezal inferior
Válvulas	Conectores	Cabezal superior
Mangueras	Controlador	Columnas roscadas
Tanque hidráulico	Celdas de carga	Columnas lisas
Cilindro principal y pistón	Motor eléctrico	Mordazas
Cilindros secundarios	Mandos de control	Mesa de trabajo
Empaques		Alzas

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Las especificaciones técnicas de la misma son las siguientes:

Tabla VII. **Especificaciones técnicas de la máquina de ensayos de tensión modelo 200 HVL**

Marca	Instron
Modelo	200 HVL
Capacidad máxima	200,000 lbf
Velocidad máxima	
de ensayo	6 in/min
de ajuste	15 in/min
Dimensiones Estándar	
Abertura de tensión	0 - 27 in
Abertura de compresión	1 - 28 in
Espacio entre columnas	22 in
Grosor de cabezales	19.7 cm
Diámetro de columnas	
Roscadas	5 in
Lisas	3.5 in
Mesa de trabajo	22 x 24 in
Pesos y medidas	
Peso neto	6,000 lb
Altura máxima	2.292 m
Espacio en piso requerido	28 x 47 in
Instalación eléctrica	
Voltaje	220 V AC, 60 Hz
Corriente	15 A
Motores eléctricos	1.5 HP
Capacidad nominal de bomba hidráulica	3.9 GPM
Tamaño de espécimen (muestra) máximo soportado	
Plano	1.75 x 3.25 in
Redondo	3.25 in
Software	Blue Hill Universal

Fuente: Instron (1996). *USER GUIDE*.

2.3. Toma de datos y muestras en campo

Como medios de obtención de información del estado de la máquina de ensayos de tensión a la fecha de investigación, se realizaron ensayos no destructivos de inspección visual, análisis de aceite, líquidos penetrantes, termografía y ultrasonido en los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos.

La inspección visual y prueba de líquidos penetrantes fueron realizadas por el investigador. Para los ensayos de líquidos penetrantes, se utilizó un líquido limpiador, penetrante y revelador de la marca CANTESCO.

Figura 15. Kit de líquidos penetrantes usados para END



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

El análisis de aceite fue realizado por el laboratorio del proveedor de aceite hidráulico. Las muestras de aceite fueron tomadas utilizando una bomba de vacío manual y depositadas en un recipiente especial.

Figura 16. **Bomba de vacío manual**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

La termografía fue efectuada por colaboradores de mantenimiento de la empresa metalúrgica que se encuentra en proceso de estudios para certificación. Para las pruebas de termografía, se utilizó una cámara fotográfica marca Fluke modelo Ti480 PRO. Es importante introducir la mano en la cinta de seguridad del instrumento para prevenir algún daño en el equipo y evitar la caída al suelo.

Figura 17. **Equipo utilizado para pruebas de termografía**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

El ultrasonido fue efectuado por personal de mantenimiento de la empresa metalúrgica que se encuentra en proceso de certificación. Para esta prueba fue necesario utilizar un instrumento marca SDT modelo 340. Es importante introducir la mano en la cinta de seguridad del instrumento para prevenir algún daño en el equipo y evitar la caída al suelo.

Figura 18. **Equipo utilizado para pruebas de ultrasonido**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.4. Ensayos no destructivos

Para determinar la condición del equipo, fue necesario evaluar el sistema hidráulico de la máquina de ensayos de tensión con los siguientes END de la tabla VIII, buscando fugas de aceite hidráulico, mangueras dañadas, daños en cilindros, entre otros.

Tabla VIII. **END aplicados al sistema hidráulico**

Sistema hidráulico	END aplicado
Motor tanque hidráulico	Ultrasonido
Mangueras	Inspección visual
Tanque hidráulico	Inspección visual
Cilindro principal y pistón	Ultrasonido
Cilindros secundarios	Ultrasonido
Empaques	Ultrasonido
Aceite hidráulico	Análisis de aceite

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Así mismo, fue necesario evaluar el sistema eléctrico de la máquina de ensayos de tensión por medio de pruebas no destructivas de inspección visual y termografía. Se buscaron cables dañados y puntos de calor que pudieran interferir con un funcionamiento adecuado del equipo.

Tabla IX. **END aplicados al sistema eléctrico**

Sistema eléctrico	END aplicado
Cableado	Inspección visual
Panel eléctrico	Termografía
Controlador	Inspección visual
Celdas de carga	Inspección visual
Motor eléctrico	Termografía
Mandos de control	Inspección visual

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los componentes del sistema mecánico del equipo de ensayos de tensión fueron evaluados por medio de pruebas no destructivas de inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido como se aprecia en la tabla X. Se buscaron grietas, fisuras causadas por escoria y por las altas cargas que se ejerce sobre las muestras ensayadas.

Tabla X. **END aplicados al sistema mecánico**

Sistema mecánico	END aplicado
Cabezal inferior	Inspección visual/Líquidos penetrantes
Cabezal superior	Inspección visual
Columnas roscadas	Inspección visual
Columnas lisas	Inspección visual
Mordazas	Inspección visual/Líquidos penetrantes
Alzas	Inspección visual
Mesa de trabajo	Inspección visual
Reductor de motor	Ultrasonido

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al finalizar el proceso de extracción de información para el diagnóstico situacional actual en que se halla la máquina de ensayos de tensión, se presentan los resultados por medio de ensayos no destructivos. Esta información es importante para la generación de la propuesta del programa de gestión de mantenimiento que sirva para mantener el equipo disponible cuando se necesite y el funcionamiento sea adecuado al usuario y se garanticen los resultados de los ensayos mecánicos de la varilla corrugada.

3.1. Inspección visual

Durante la visita, se efectuó una inspección visual a los sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos de la máquina de ensayos de tensión. Esta revisión fue hecha usando un *checklist* que sirvió como guía para la auditar superficialmente de cada componente del equipo de ensayos de tensión.

La inspección realizada a cada sistema del equipo fue acorde a criterio y conocimientos propios del investigador. Al encontrar alguna desviación o anomalía en cualquier parte del equipo, se tomó una fotografía como evidencia de la misma. Esta imagen sirvió para mostrar de manera visual la condición del equipo a la fecha de investigación.

Tabla XI. **Check list para inspección visual**

CHECK LIST DE INSPECCIÓN VISUAL A SISTEMAS DE MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN			
Realizado por:		Fecha:	
		Hora:	
Componente		SI	NO Observaciones
Sistema hidráulico	Tanque hidráulico		
	¿Nivel de aceite adecuado?		
	¿Existen fugas?		
	¿Existen golpes en la superficie?		
	Mangueras hidráulicas		
	¿Existen fugas?		
	¿Existen puntos de roce con algún objeto?		
	¿Presentan desgaste / fugas en roscas de conexión y/o acoples?		
	¿Hay desgaste en la cubierta de las mangueras?		
Sistema eléctrico	Cableado eléctrico		
	¿Existen puntos de roce con algún objeto?		
	¿Hay desgaste en la cubierta del cable?		
	¿Existen cables eléctricos con empalmes?		
	¿Se encuentra identificado el cableado?		
	¿Los conectores eléctricos se encuentran en buen estado?		
	Panel de control/sensores/controlador		
	¿La celda de carga funciona correctamente?		
	¿El panel de control funciona correctamente?		
	¿El botón de paro de emergencia funciona correctamente?		
	¿Se encuentran apretados los tornillos de los conectores en el controlador?		
¿El controlador está libre de humedad, filtraciones de agua?			
	¿El panel eléctrico se encuentra libre de humedad, filtraciones de agua?		

Continuación tabla XI.

Sistema mecánico	Cabezales
	¿El cabezal inferior presenta golpes, desgaste, grietas/fisuras visibles?
	¿El cabezal superior presenta golpes, desgaste, grietas/fisuras visibles?
	Columnas
	¿Las columnas roscadas presentan golpes, desgaste, grietas o fisuras visibles?
	¿Las columnas lisas presentan golpes, desgaste, grietas o fisuras visibles?
	Mordazas/Alzas
	¿Las mordazas presentan desgaste, grietas, fisuras visibles?
	¿Las mordazas presentan deformación?
	¿Las alzas presentan desgaste, grietas, fisuras visibles?
	¿Las alzas presentan deformación?
	¿La mesa de trabajo presenta golpes, desgaste, grietas o fisuras?

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para la inspección visual del sistema hidráulico, se revisaron el nivel de aceite, la existencia de fugas en tanque y mangueras, puntos de roce, desgaste en mangueras y otros aspectos que se describen en la siguiente tabla.

Tabla XII. **Resultados de inspección al sistema hidráulico**

	Componente	SI	NO	Observaciones
Sistema hidráulico	Tanque hidráulico			
	¿Nivel de aceite adecuado?	x		
	¿Existen fugas?	x		Se observó aceite en el piso.
	¿Existen golpes en la superficie?		x	
	Mangueras hidráulicas			
	¿Existen fugas?		x	
	¿Existen puntos de roce con algún objeto?		x	

Continuación tabla XII.

¿Presentan desgaste / fugas en roscas de conexión y/o acoples?	x	
¿Hay desgaste en la cubierta de las mangueras?	x	Se observó desgaste de manguera en central hidráulica

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la inspección realizada, se determinó que existe un desgaste en la cubierta de la manguera hidráulica que conecta al tanque. Se pueden producir derrames y contaminación al ambiente si se origina una fuga de aceite, esto representa un riesgo crítico para el funcionamiento del equipo. Esta manguera debe sustituirse.

Figura 19. **Desgaste en manguera hidráulica**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

La revisión al sistema eléctrico consistió en inspeccionar el cableado, panel eléctrico y panel de control. Se revisó la existencia de puntos de roce que puedan afectar los cables eléctricos. También se verificó el funcionamiento de sensores, botones de funcionamiento, entre otros, lo cual indica que se encuentran conectados adecuadamente. Se inspeccionó las condiciones ambientales del equipo, que estuvieran libres de humedad y filtraciones de agua. Acorde a la inspección realizada al sistema eléctrico, no se pudo evidenciar algún tipo de anomalía en los componentes eléctricos del equipo que pueda afectar el funcionamiento correcto y pueda causar algún problema en la operación.

Tabla XIII. **Resultados de inspección al sistema eléctrico**

Componente		SI	NO	Observaciones
Sistema eléctrico	Cableado eléctrico			
	¿Existen puntos de roce con algún objeto?		x	
	¿Hay desgaste en la cubierta del cable?		x	
	¿Existen cables eléctricos con empalmes?		x	
	¿Se encuentra identificado el cableado?	x		
	¿Los conectores eléctricos se encuentran en buen estado?	x		
	Panel de control/sensores/controlador			
	¿La celda de carga funciona correctamente?	x		
	¿El panel de control funciona correctamente?	x		
	¿El botón de paro de emergencia funciona correctamente?	x		
	¿Se encuentran apretados los tornillos de los conectores en el controlador?	x		
	¿El controlador está libre de humedad, filtraciones de agua?	x		
	¿El panel eléctrico se encuentra libre de humedad, filtraciones de agua?	x		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La evaluación de inspección visual al sistema mecánico fue realizada a los cabezales, columnas, mordazas y alzas. Durante la inspección se pudo observar

desviaciones en el cabezal inferior y superior, mordazas y alzas por desgaste causados por la escoria que dejan las muestras de varilla corrugada. No se evidenciaron fisuras o grietas en la superficie de estas piezas.

Tabla XIV. **Resultados de inspección al sistema mecánico**

	Componente		SI	NO	Observaciones
Sistema mecánico	Cabezales				
	¿El cabezal inferior presenta golpes, desgaste, grietas/fisuras visibles?		x		Se observó desgaste causado por escoria de muestras de varilla corrugada. Es un desgaste superficial que no afecta el funcionamiento del equipo. Se realizará END de líquidos penetrantes.
	¿El cabezal superior presenta golpes, desgaste, grietas/fisuras visibles?			x	
	Columnas				
	¿Las columnas roscadas presentan golpes, desgaste, grietas o fisuras visibles?			x	
	¿Las columnas lisas presentan golpes, desgaste, grietas o fisuras visibles?			x	
	Mordazas/Alzas				
	¿Las mordazas presentan desgaste, grietas, fisuras visibles?		x		Se observó desgaste causado por sujeción de muestras de varilla corrugada. Algunos dientes se encuentran quebrados. Se realizará END de líquidos penetrantes.
	¿Las mordazas presentan deformación?			x	
	¿Las alzas presentan desgaste, grietas, fisuras visibles?		x		Se observó desgaste causado por sujeción de muestras de varilla corrugada. Algunos dientes se encuentran quebrados. Se realizará END de líquidos penetrantes.
	¿Las alzas presentan deformación?		x		
	¿La mesa de trabajo presenta golpes, desgaste, grietas o fisuras?		x		Se observó desgaste causado por escoria de muestras de varilla corrugada. Es un desgaste superficial que no afecta el funcionamiento del equipo. Se realizará END de líquidos penetrantes.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La escoria que se genera al efectuar los ensayos mecánicos de tensión fueron los causantes del desgaste que presentan las mordazas de apriete de las muestras.

Figura 20. **Desgaste por escoria en mordaza**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Así mismo, las alzas también presentan desgaste causado por la escoria de las muestras ensayadas.

Figura 21. **Desgaste por escoria en alza**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

3.2. Líquidos penetrantes

La evaluación por líquidos penetrantes fue realizada a los componentes mecánicos de mordazas y cabezal inferior. Se realizó únicamente al cabezal inferior debido a que se quiso demostrar que por su espesor este no presentaba grietas y fisuras.

Figura 22. Líquidos penetrantes en cabezal inferior



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Como se informa en la figura 22, no existen grietas y fisuras en el cabezal inferior de la máquina de ensayos de tensión.

También la prueba de líquidos penetrantes se realizó a las mordazas debido a que son las partes que realizan el apriete a las muestras de varilla corrugada y son las más propensas a sufrir desgaste y algún tipo de fisura o grieta por las altas cargas que soportan.

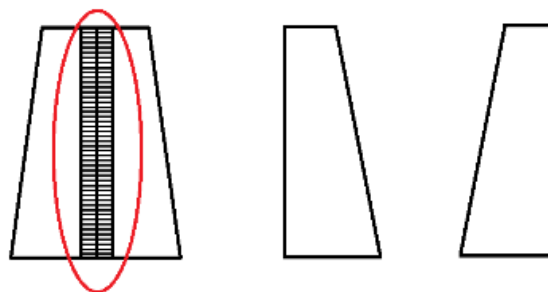
Figura 23. **Líquidos penetrantes en mordazas**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Según la figura 23, se evidenció que no existen grietas y fisuras en las mordazas. El área a evaluar fue los dientes de agarre de la muestra acorde a la figura 24.

Figura 24. **Esquema de mordazas y evaluación de líquidos penetrantes**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

3.3. Termografía

Se realizó una prueba de termografía al panel eléctrico con la finalidad de detectar anomalías en los contactores, transformadores, placas electrónicas, conexiones y otros componentes eléctricos de la máquina de ensayos de tensión.

Para esta medición se utilizó un valor de emisividad de 0.95 y las lecturas se realizaron a una distancia de 2 metros.

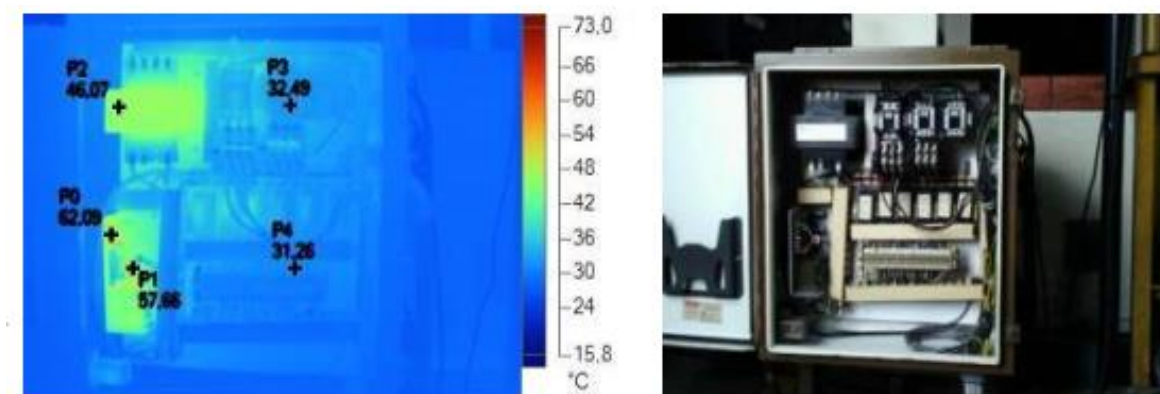
Figura 25. **Medición termográfica a panel eléctrico**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

La medición de temperatura fue realizará a 5 puntos, los cuales son transformadores, contactores, capacitores y conexiones eléctricas, acorde al análisis de imagen térmica, no se identificó ni detecto puntos de calor cuya temperatura indique un funcionamiento anormal del equipo.

Figura 26. **Imagen digital y termográfica del panel eléctrico**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Los valores de temperatura identificados en los puntos enumerados anteriormente se describen en la siguiente tabla:

Tabla XV. **Valores de temperatura en puntos de medición**

Marcador	Max. °C
P0 – Capacitores	62.09
P1 – Transformador	57.66
P2 – Transformador	46.07
P3 – Contactores	32.49
P4 – Puntos de conexión	31.26

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Acorde al análisis de los puntos de temperatura medidos, no se identificó ni detectó puntos de calor cuya temperatura indique un funcionamiento anormal del equipo.

3.4. Ultrasonido

Se realizó una prueba de ultrasonido para medir la cantidad de fricción, impactos y turbulencia que están vinculados a los elementos mecánicos e hidráulicos del equipo que generan diferentes frecuencias ultrasónicas que se detectaron por medio de un colector de datos. Las mediciones se realizaron en 2 puntos de cada componente. Estos puntos son los puntos de entrada y salida de aceite hidráulico, el objetivo de efectuarlas de esta manera fue detectar desviaciones en la frecuencia de sonido de cada componente, los valores medidos deben ser similares.

Figura 27. **Ultrasonido realizado en cilindro hidráulico principal**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Debido a que no hubo valores anormales en las mediciones ultrasónicas, no se generaron acciones para la corrección de las mismas. La unidad de medida de los valores obtenidos es decibeles microvoltio ($\text{dB}\mu\text{V}$), los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Resultados de ultrasonido realizado a máquina de ensayos de tensión**

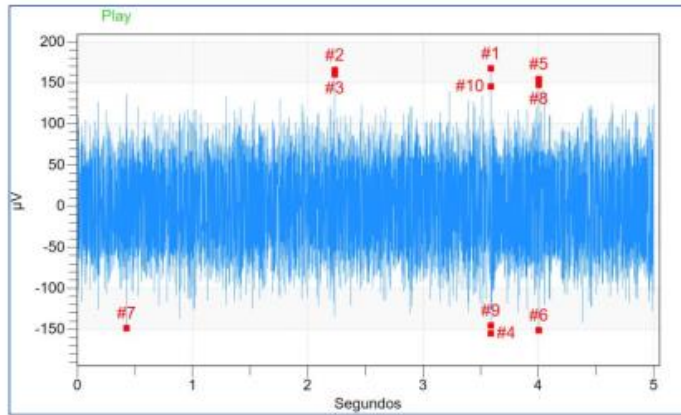
Componente	dBμV Punto 1	dBμV Punto 2	Resultado
Cilindro principal	12,50	12,60	OK
Cilindro secundario: mordaza superior	-6,00	-6,28	OK
Cilindro secundario: mordaza inferior	-6,41	-6,13	OK
Reductor de motor	30,68	26,21	OK
Motor tanque hidráulico	35,61	34,73	OK

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para el cilindro principal y cilindros secundarios no se detectaron fugas de presión. Para el reductor de motor se detectó una pequeña desviación en los dB μ V, esto indica falta de lubricación. Para los rodamientos y tornillo sin fin no se detectaron anomalías. Los rodamientos del motor del tanque hidráulico se encuentran en condiciones adecuadas para su funcionamiento. Las formas de onda permiten observar que no existen patrones anormales en el funcionamiento de los motores eléctricos. Esto se observa en las figuras 28 y 29.

Según la gráfica de la figura 29, no se observan anomalías en el motor del tanque hidráulico. Esto es porque no se observan valores pico que sean significativos a algún fallo.

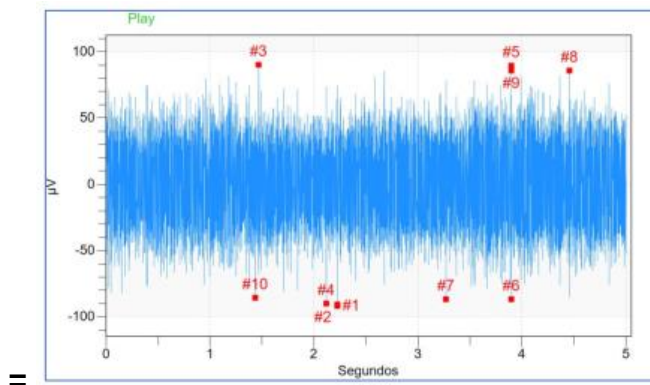
Figura 28. **Formas de onda para reductor de motor**



Fuente: elaboración propia, empleando SAP Crystal Reports.

Según la gráfica de la figura 29, no se observan anomalías en el reductor del motor. Esto es debido a que no se observan valores pico que sean significativos a algún fallo.

Figura 29. **Formas de onda para motor de tanque hidráulico**



Fuente: elaboración propia, empleando SAP Crystal Reports.

3.5. Análisis de aceite

Se realizó un análisis de aceite para determinar la situación en que se halla el sistema hidráulico de la máquina de ensayos de tensión. Para ello fue necesario la extracción de 1 muestra de aceite hidráulico de viscosidad ISO 46 utilizando una bomba de vacío manual. Para ello se introdujo una manguera nueva en el tanque hidráulico hasta la mitad del mismo y se conectó a la bomba de vacío manual. Mientras se encontraba en circulación el aceite se procedió a succionar el aceite hidráulico con la bomba de vacío hasta que se llenó el recipiente.

Figura 30. **Toma de muestra de aceite con bomba de vacío manual**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Finalizada la toma de muestra, se procedió a identificar cada recipiente con la información que necesita el proveedor, garantizar la trazabilidad y fueron enviadas a un laboratorio para su análisis.

Figura 31. **Identificación de muestras de aceite hidráulico**



Fuente: [Fotografía de Braulio Bran]. (Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Los resultados obtenidos del análisis de aceite se detallan en la tabla XVII. Estos resultados incluyen análisis químicos y físicos para la muestra extraída del tanque hidráulico.

Tabla XVII. **Resultados químicos de muestras de aceite hidráulico**

Metales de desgaste (ppm)									
Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Cobre	Plomo	Estaño	Cadmio	Plata	Vanadio
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Metales contaminantes (ppm)									
Sílice			Sodio				Potasio		
3			0				0		
Fuente de varios metales (ppm)									
Titanio		Molibdeno	Antimonio	Manganeso		Litio		Boro	
0		0	0	0		0		0	
Metales Aditivos (ppm)									
Magnesio		Calcio		Bario		Fósforo		Zinc	
2		43		0		315		387	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los resultados físicos de la muestra obtenidos se detallan en la tabla XVII.

Tabla XVIII. **Resultados físicos de muestras de aceite hidráulico**

Propiedades del líquido								
Viscosidad 40°C (cSt)	Viscosidad 100°C (cSt)	Número de ácido (mg KOH/g)	No. Básico D4739 (mg KOH/g)	Oxidación (abs/cm)	Nitración (abs/0, 1 mm)			
43,4		0,76						
Conteo de partículas (partículas/mL)								
Método de prueba	>4µm	>6µm	>10µm	>14µm	>21µm	>38µm	>70µm	>100µm
ISO 11500	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Acorde a los resultados obtenidos, no se observa algún resultado fuera de los parámetros normales, no se observan metales de desgaste y contaminantes que comprometan el funcionamiento del equipo, el conteo de partículas se encuentra en un nivel menor. A la fecha de investigación, la máquina de ensayos de tensión no requiere algún tipo de intervención de mantenimiento de forma urgente para la corrección de alguna desviación.

4. PROPUESTA DE PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La gestión del plan de mantenimiento del equipo para la máquina de ensayos de tensión tiene como finalidad mantener el equipo en condiciones de operación. Esto implica reducir las fallas por cada sistema y lograr que el equipo trabaje adecuadamente para garantizar la calidad del producto. Esta propuesta fue realizada conforme los resultados obtenidos en la evaluación de la condición del equipo a la fecha de investigación del equipo por medio de ensayos no destructivos.

Las actividades administradas adecuadamente por medio la distribución de las mismas por cada componente del equipo, así como la frecuencia en que se deben realizar lograran mejorar la productividad del personal que ejecuta el mantenimiento.

Las siguientes tablas establecen las tareas a realizar para la ejecución del mantenimiento de los sistemas mecánico, hidráulico y eléctrico.

Tabla XIX. **Tareas del plan de mantenimiento del sistema mecánico**

Sistema	Frecuencia	Componente	Tarea	Descripción	Responsable
Mecánico	Diaria	Máquina de ensayos	Limpieza general	Utilizar aspiradora, escoba, aceite WD40 y wipe. Realizar limpieza de cabezal fijo y móvil, columnas lisas y roscadas. Notificar a jefatura de calidad si se observa algún daño.	Analista de calidad

Continuación tabla XIX.

	Alzas	Limpieza y lubricación	Realizar la limpieza utilizando wipe y aceite WD40 para remover grasa. Lubricar utilizando grasa grafitada. Notificar a jefatura de calidad si se observa algún daño.	
	Mordazas			
	Mordazas y alzas	Inspección visual	Verificar que no existan grietas, fisuras u otro defecto que se pueda apreciar visualmente.	
	Reductor de motor	Ultrasonido	Verificar que formas de ondas sonoras no tengan valores pico que indiquen fallas. Lubricar el reductor de ser necesario.	Técnico en END

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para ejecutar las tareas de mantenimiento del sistema mecánico, es importante tomar en cuenta utilizar el equipo adecuado de protección personal, realizar las tareas si se está capacitado y autorizado, verificar que el equipo se encuentre apagado y que no existan energías residuales que puedan ocasionar un accidente al colaborador.

Tabla XX. **Tareas del plan de mantenimiento del sistema hidráulico**

Sistema	Frecuencia	Componente	Tarea	Descripción	Responsable
Hidráulico	Mensual	Tornillos de columnas lisas	Apriete de tornillería	Realizar apriete de tornillería de cabezales con columnas lisas utilizando llave Allen No. 12	Técnico mecánico
		Mangueras, manómetro, filtros	Limpieza externa	Realizar limpieza externa utilizando wipe y escoba.	

Continuación tabla XX.

	Columnas roscadas	Limpieza y lubricación	Realizar limpieza utilizando wipe. Lubricar usando grasa grafitada evitando aplicar en exceso.	
	Válvula solenoide	Revisión	Realizar revisión del funcionamiento de válvula solenoide. Al apagar la bomba hidráulica la mesa de trabajo debe bajar automáticamente.	
	Mangueras y acoples	Comprobar estado físico y apriete de conexiones	Realizar inspección visual. De ser necesario apretar conexiones y sustituir mangueras dañadas.	
Mensual		Revisar nivel de aceite	Verificar el nivel de aceite. De ser necesario agregar aceite ISO 46 para ajustar nivel.	
Anual	Aceite hidráulico	Análisis de aceite / Cambio de aceite	Extraer muestra de aceite y enviar a laboratorio externo para su análisis. Si el mismo está contaminado, realizar cambio de aceite hidráulico ISO 46.	
Anual	Filtro de aceite	Cambio de filtro	Realizar cambio de aceite al momento de realizar cambio de aceite.	
Anual	Celda de carga	Calibración	Realizar calibración de celda de carga.	Empresa de calibración

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para realizar el mantenimiento al sistema hidráulico, tomar en cuenta utilizar el equipo adecuado de protección personal según la tarea a realizar, depositar el aceite hidráulico usado en un recipiente para evitar daños al medio ambiente, apagar el equipo, verificar que no existan energías residuales, realizar las tareas únicamente si se tienen controlados los riesgos.

Tabla XXI. **Tareas del plan de mantenimiento del sistema eléctrico**

Sistema	Frecuencia	Componente	Tarea	Descripción	Responsable
Eléctrico	Mensual	Cableado	Comprobar estado físico y apriete de conexiones eléctricas	Realizar inspección visual. De ser necesario apretar conexiones. De ser necesario sustituir cables y conexiones dañadas.	Técnico eléctrico
	Anual	Motores eléctricos	Revisión de rodamientos	Realizar EN de ultrasonido para inspeccionar rodamientos. Lubricar de ser necesario.	
	Mensual	Válvulas y conexiones eléctricas	Revisión de conexiones eléctricas y válvulas		
	Mensual	Sensores	Revisión de sensores de carrera	Realizar prueba del funcionamiento de sensores de límite de carrera	
	Mensual	Conexiones al controlador	Revisar conexiones al controlador	Realizar inspección de conexiones	
	Mensual	Extensómetro	Revisión	Revisar terminales y conexiones eléctricas del extensómetro	
		Panel eléctrico	Limpieza general	Limpieza con aire comprimido y limpia contacto de tarjetas electrónicas del panel eléctrico.	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para ejecutar las tareas al sistema eléctrico, desconectar el panel de energía eléctrica del equipo, eliminar cualquier energía residual, realizar las tareas únicamente por personal capacitado y autorizado, así como utilizar el equipo adecuado de protección personal para minimizar la posibilidad de un accidente.

Al realizar los mantenimientos al equipo, debe de disponerse una orden de mantenimiento, en ella estará detallado las tareas de mantenimiento a ejecutar por cada sistema y componente, las personas que serán responsables de su ejecución, los materiales e insumos a utilizar, el tiempo que se dispone para la tarea. Este formato se describe en la tabla XXII. Esta orden de trabajo sirve como registro del mantenimiento realizado al equipo, así como de las tareas realizadas.

Tabla XXII. **Orden de mantenimiento de máquina de ensayos de tensión**

ORDEN DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINA DE ENSAYOS DE Tensión					
No. de Orden:		Fecha inicio:			
Solicitado por:		Fecha finalización:			
Tipo de mantenimiento	Predictivo				
	Correctivo no programado				
	Preventivo				
Mantenimiento al sistema	Hidráulico				
	Mecánico				
	Eléctrico				
Tareas a realizar					
No.	Tareas	Tiempo planificado (hrs)	Hora inicio	Hora fin	Tiempo ejecución real (hrs)
1					
2					
3					
4					
5					

Continuación tabla XXII.

Repuestos, materiales e insumos a utilizar		
No.	Descripción	Cantidad
1		
2		
3		
4		
5		
Responsable de ejecución de las actividades:		Firma de recepción y verificación del equipo:

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para gestionar el trabajo que conlleva realizar las tareas de mantenimiento, se estableció una planificación para el mantenimiento del equipo. En esta se programan las tareas a realizar para cada componente del equipo, se establecen las fechas, el horario en que está disponible el equipo, encargado y duración de ejecución de las tareas, entre otros aspectos importantes.

Así mismo permite evaluar el cumplimiento de las órdenes de trabajo por medio de un indicador. El formato de la planificación de mantenimiento se encuentra en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Formato de planificación de mantenimiento de máquina de ensayos de tensión**

PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN										
No.	No. Orden de Trabajo	Fecha	Actividad	Día	Horario disponible para la intervención	Sistema (Hidráulico, mecánico o eléctrico)	Nombre del colaborador	Turno Aplica APR o PT	Duración programada de la actividad (horas)	Tipo de mantenimiento (Preventivo, predictivo, correctivo no programado)
										% cumplimiento de las actividades
										Reprogramación de actividades
										Duración real de la actividad (horas)
1										

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. Se evidenció desgaste físico en las mordazas y alzas, así como falta de lubricación en rodamiento de reductor de motor. Este desgaste y falta de lubricación es causado por partículas metálicas que son desprendidas por las muestras ensayadas. Así mismo también se encontró una manguera hidráulica con desgaste debido al tiempo de uso y calor a la que está sometida.
2. Para mantener el equipo en condiciones de operación, se debe de engrasar y limpiar diariamente las mordazas y alzas con la finalidad de disminuir el desgaste entre piezas causados por partículas de metal, también se debe verificar diariamente cualquier tipo de objeto punzocortante en los alrededores del equipo que pueda dañar las mangueras hidráulicas.
3. Para el establecimiento de las tareas para el mantenimiento, fue necesario establecer los sistemas principales que componen el equipo. Estos sistemas son mecánicos, eléctricos e hidráulicos. Por cada sistema fue necesario dividirlo en componentes principales para poder asignar tareas que son ejecutadas por el analista de calidad, técnicos mecánicos y técnicos eléctricos para garantizar el funcionamiento del equipo. Estas tareas son limpieza, lubricación, apriete de tornillería, inspección visual, calibración, entre otras según sea el componente acorde a programa de mantenimiento.

4. Se desarrolló un programa de gestión de mantenimiento para una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica. El programa abarcó los sistemas mecánico, eléctrico e hidráulico y cada uno de sus dispositivos. Se estableció un registro para los mantenimientos realizados al equipo, el cual contiene información del colaborador o colaboradores que ejecutaron el mantenimiento, repuestos e insumos utilizados y las fechas en que se realizaron para ser un fundamento en la futura toma de decisiones.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una lubricación con grasa grafitada en mordazas y alzas, debido a que se disminuye el desgaste causado por partículas metálicas. La frecuencia de lubricación puede disminuir si se diseña un tipo de aspiradora que succione las partículas de metal mientras se ejecuta el ensayo de tensión.
2. Realizar un END con la periodicidad indicada en el programa de mantenimiento para evaluar la situación condicional en que se encuentran los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos. Se puede efectuar de manera tercerizada o con personal propio de la empresa. Es necesario verificar la condición de las mangueras hidráulicas para ver que no tengan algún tipo de desgaste que pueda ocasionar daños al medio ambiente.
3. Ejecutar las actividades de mantenimiento con colaboradores que posean competencias técnicas en mecánica, electrónica, electricidad e hidráulica. También se debe contar con las herramientas y equipo adecuados para el mantenimiento. Es necesario cumplir con todas las normativas de seguridad industrial, pensar y actuar adecuadamente para evitar accidentes.
4. Dar cumplimiento al programa de gestión de mantenimiento para la máquina de ensayos de tensión, mediante la asignación de todos los recursos de materiales, mano de obra, repuestos, insumos y tiempo por parte de la empresa siderúrgica. Se debe realizar una programación de mantenimiento acorde al programa de producción para trabajar cuando no

exista producción. Es necesario archivar de manera física o electrónica toda la información concerniente a los mantenimientos realizados.

REFERENCIAS

1. Agredo, M., Quintanilla, J. y Florez, J. (junio, 2015). Diseño y pruebas de un sistema de monitoreo y supervisión para una máquina universal de ensayos. *Prospect*, 13(2), 25-37.
2. Agudelo, S., Chica, E., Obando, F., Sierra, N., Velasquez, N. y Enriquez, W. (enero, 2013). Ingeniería y Competitividad. *Ingeniería*, 15,183-193.
3. Askeland, D., Fulay, P. y Wrigth, W. (2012). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México: Cengage Learning.
4. Asociación Española de Ensayos No Destructivos. (2016). *Introducción a los END*. España: Autor.
5. Carabalí, C. (2010). *Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos de una máquina universal de ensayos del laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV) de la Facultad de Ingeniería Mecánica* (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
6. Cárcel, F. (2014). *Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento*. España: OmniaScience.

7. Castillo, W. P. (2019). *Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica*. Alicante, España: 3 Ciencias.
8. Crespo, A., Moreu, P. y Sánchez, A. (2004). *Ingeniería de mantenimiento. Técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos*. España: AENOR.
9. Díaz, J. (2011). *Técnicas de mantenimiento industrial*. España: Calpe Institute of Technology.
10. Duffuaa, S., Raouf, A. y Campbell, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento planeación y control*. México: Limusa, S.A.
11. Durango, D., Herrera, E. y Otero, N. (diciembre, 2015). Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales. *Ingeniería e Innovación*, 3(2),16-27.
12. García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España: Díaz de Santos.
13. González, F. (2009). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. España: FC Editorial.
14. Güemes, A., y Martín, N. (2012). *Ciencia de materiales para ingenieros*. España: Pearson Educación.
15. Heizer, J., y Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación.

16. Instron (1996). *User Guide*. España: Autor.
17. IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial. (2018). *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Barcelona, España: Autor.
18. Martínez, J. (2017). *Prototipo de una máquina de ensayo en compresión para el estudio mecánico de probetas por medio de interferometría holográfica digital* (Tesis de maestría). Centro de Investigaciones en Óptica, México.
19. Mora, A. (2005). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*. Colombia: AMG.
20. Mora, L. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
21. Morcillo, G. D. (2011). *Inspección visual*. Madrid, España: FC Editorial.
22. Navarro, L., Pastor, A. y Mugaburu, J. (1997). *Gestión integral del mantenimiento*. España: Marcombo.
23. Newbrough, E. (1997). *Administración de mantenimiento industrial*. México: Editorial Diana.
24. Organización Internacional para la Estandarización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad*. Suiza: Autor.

25. Ortiz, A., Rodríguez, C., e Izquierdo, H. (marzo, 2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86-104.
26. Payri, F. y Desantes, J. (2005). *Diagnóstico de motores Diesel mediante el análisis de aceite usado*. España: Reverte, S.A.
27. Santos, E., Cancino, N., Yenque, J., Ramírez, D. y Palomino, M. (abril, 2005). El ultrasonido y su aplicación. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 1(1), 25-28.
28. Smith, W. y Hashemi, J. (2004). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México: Mc Graw Hill.
29. Torres, J. y Redondo, J. (junio, 2009). Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos. *Ciencia e Ingeniería*, 30(2), 171-179.
30. Villarroel, J. (2015). *Diseño e implementación de un sistema automático de ensayos de tensión para la máquina universal Tinius Olsen de la empresa Cedral, S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10065/T-ESPEL-EMI-0285.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia

PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DE TENSIÓN DE UNA EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA		
Objetivo general	Conclusión	Recomendación
Establecer un programa de gestión de mantenimiento para una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica.	Se desarrolló un programa de gestión de mantenimiento para una máquina de ensayos de tensión de una empresa siderúrgica. El programa abarcó los sistemas mecánico, eléctrico e hidráulico y cada uno de sus componentes. Se estableció un registro para los mantenimientos realizados al equipo, el cual contiene información de la persona o personas que ejecutaron el mantenimiento, repuestos e insumos utilizados y las fechas en que se realizaron para ser un fundamento en la futura toma de decisiones.	Para dar cumplimiento al programa de gestión de mantenimiento para la máquina de ensayos de tensión, es necesario que la empresa siderúrgica brinde todos los recursos necesarios de materiales, repuestos, insumos, tiempo y mano de obra. Se debe realizar una programación de mantenimiento acorde al programa de producción para trabajar cuando no exista producción. Es necesario archivar de manera física o electrónica toda la información concerniente a los mantenimientos realizados.

Continuación apéndice 1.

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
1 Identificar la condición física en que se encuentra una máquina de ensayos de tensión a la fecha de investigación.	Se evidenció desgaste físico en las mordazas y alzas, así como falta de lubricación en rodamiento de reductor de motor. Este desgaste y falta de lubricación es causado por partículas metálicas que son desprendidas por las muestras ensayadas. Así mismo también se encontró una manguera hidráulica con desgaste debido al tiempo de uso y calor a la que está sometida.	Es necesario realizar una lubricación con grasa grafitada en mordazas y alzas, debido a que se disminuye el desgaste causado por partículas metálicas. La frecuencia de lubricación puede disminuir si se diseña un tipo de aspiradora que succione las partículas de metal mientras se ejecuta el ensayo de tensión.
2 Determinar las condiciones de operación y parámetros de mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión.	Para mantener el equipo en condiciones de operación, se debe de engrasar diariamente las mordazas y alzas con la finalidad de disminuir el desgaste entre piezas causados por partículas de metal, también se debe verificar diariamente cualquier tipo de objeto punzocortante en los alrededores del equipo que pueda dañar las mangueras hidráulicas.	Realizar un END con la periodicidad indicada en el programa de mantenimiento para evaluar las condiciones en que se encuentran los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos. Se puede efectuar de manera tercerizada o con personal propio de la empresa. Es necesario verificar la condición de las mangueras hidráulicas para ver que no tengan algún tipo de desgaste que pueda ocasionar daños al medio ambiente.

Continuación apéndice 1.

Objetivo específico	Conclusión	Recomendación
3	Establecer las tareas para el mantenimiento de una máquina de ensayos de tensión.	Para el establecimiento de las tareas para el mantenimiento, fue necesario establecer los sistemas principales que componen el equipo. Estos sistemas son mecánico, eléctrico e hidráulico. Por cada sistema fue necesario dividirlo en componentes principales para poder asignar tareas que son ejecutadas por el analista de calidad, técnicos mecánicos y técnicos eléctricos para garantizar el funcionamiento del equipo. Estas tareas son limpieza, lubricación, apriete de tornillería, inspección visual, calibración, entre otras según sea el componente acorde a programa de mantenimiento. Para ejecutar las tareas de mantenimiento se debe contar con personal con las competencias técnicas en mecánica, electrónica, electricidad e hidráulica. También se debe contar con las herramientas y equipo adecuados para el mantenimiento. Es necesario cumplir con todas las normativas de seguridad industrial, pensar y actuar adecuadamente para evitar accidentes.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.