



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO
TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA
ZOOMLION**

Gilberto Abel Sulecio Castellanos

Asesorado por el Mtro. Ing. Jaime Rodolfo Chocoy Cachín

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO
TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA
ZOOMLION**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GILBERTO ABEL SULECIO CASTELLANOS

ASESORADO POR EL MTRO. ING. JAIME RODOLFO CHOCOY CACHÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

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 Armando 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	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
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:

DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA ZOOMLION

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 7 de agosto de 2021.

Gilberto Abel Sulecio Castellanos



EEPFI-PP-0142-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela De Ingenieria Mecanica
Presente.

Estimado Ing. Morales

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA ZOOMLION**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Normalización del Mantenimiento - Fundamentación de Técnicas de Mantenimiento con Base a Normas Internacionales**, presentado por el estudiante **Gilberto Abel Sulecio Castellanos** carné número **200714341**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

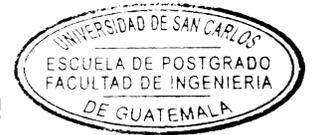
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Jaime Rodolfo Chocoy Cachín
Asesor(a)

Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-0142-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA ZOOMLION**, presentado por el estudiante universitario **Gilberto Abel Sulecio Castellanos**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

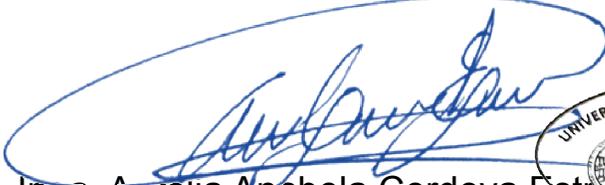
Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.223.2023

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 Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIONES UTILIZANDO TÉCNICAS END BAJO LA NORMA ISO 17359 PARA UNA TORRE GRÚA MARCA ZOOMLION**, presentado por: **Gilberto Abel Sulecio Castellanos**, 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, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios y Virgen María** Por darme la vida, la sabiduría y bendecirme día a día para alcanzar mis sueños y mis metas.
- Mis padres** Gilberto Sulecio y María Luisa Castellanos, por haberme traído al mundo y guiarme a través de sus consejos, eternamente agradecido por su amor, apoyo para hacer realidad este sueño. Los amo.
- Mis hermanas** Sandra, Brenda y Ana Sulecio Castellanos, por su amor, apoyo y compañía durante mi vida. Las amo.
- Mis sobrinos** Andrea, José y Giovanni Carrera, Sofía Velásquez, Adriana e Issa Hernández, por su amor y apoyo, luchan por sus sueños.
- Mi novia** Nixa Trujillo, por todo el apoyo brindado en cada etapa de mi carrera universitaria. Te amo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma el <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos	Por haberme acompañado durante la carrera.
Mi asesor	Mtro. Ing. Jaime Chocoy por su asesoría y apoyo en el desarrollo de este trabajo de graduación.
Mi asesor metodológico	Mtro. Ing. Wellington Vásquez por el compartir su conocimiento y el apoyo incondicional en la maestría.
Mi asesor metodológico	Mtro. Ing. Carlos Alegre por el compartir su conocimiento y el apoyo incondicional en la maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Delimitación y planteamiento del problema.....	7
3.2. Pregunta central de investigación.....	8
3.3. Preguntas orientadoras.....	8
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. OBJETIVOS.....	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos.....	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Torre grúa (Tg).....	15
7.1.1. Definición de torre grúa.....	15

7.2.	Clasificación de torre grúas	16
7.2.1.	Tipo fija o tipo estacionaria	16
7.2.2.	Tipo desplazable en servicio	17
7.2.3.	Tipo desmontable	18
7.2.4.	Tipo auto desplegable	18
7.2.5.	Tipo trepadora	19
7.2.6.	Tipo arriestrada	20
7.2.7.	Tipo de pluma articulada	20
7.2.8.	Tipo de pluma abatible	21
7.3.	Partes de una torre grúa.....	22
7.3.1.	Torre.....	22
7.3.2.	Pluma o flecha.....	23
7.3.3.	Contra-pluma (flecha).....	24
7.3.4.	Porta-flecha	26
7.3.5.	Contra-peso.....	26
7.3.6.	Soporte giratorio o plataforma	27
7.4.	Sistemas mecánicos de una torre grúa.....	28
7.4.1.	Sistema mecánico de elevación	28
7.4.2.	Sistema mecánico de giro	29
7.4.3.	Sistema mecánico carro de traslación	30
7.4.4.	Sistema mecánico de frenado	30
	7.4.4.1. Freno tipo cinta.....	31
	7.4.4.2. Freno tipo mordazas.....	32
	7.4.4.3. Freno tipo disco	32
	7.4.4.4. Freno tipo cónico	33
7.5.	Mantenimiento.....	34
7.6.	El mantenimiento y su evolución	35
7.7.	Tipos de mantenimiento	37
7.7.1.	Clasificación de mantenimiento	38

7.7.2.	Mantenimiento correctivo	40
7.7.3.	Mantenimiento preventivo	41
7.7.4.	Mantenimiento predictivo	42
7.7.5.	Mantenimiento basado en la condición	43
7.7.5.1.	Recolección de datos.....	45
7.7.5.2.	Análisis de datos	46
7.7.5.3.	Toma de decisiones	46
7.7.5.4.	Objetivo del mantenimiento basado en condiciones	47
7.7.5.5.	Técnicas para monitoreo de condiciones	48
7.8.	Normas aplicables	48
7.8.1.	ISO 17359 – monitoreo y diagnóstico de condición de máquinas	49
7.8.2.	ASME B30 – American Society of Mechanical Engineers.....	50
7.9.	Aspectos de seguridad.....	51
7.9.1.	Legislación Nacional, Acuerdo Gubernativo 229- 2014.....	52
7.9.2.	Normas generales.....	56
7.9.3.	Señales de operación para una torre grúa	57
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	61
9.	METODOLOGÍA	65
9.1.	Diseño de investigación	65
9.2.	Tipo de estudio	65
9.3.	Alcance de investigación.....	65
9.4.	Variables e indicadores	66

9.5.	Fases de investigación	67
9.6.	Muestreo	68
9.7.	Resultados esperados	68
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	69
11.	CRONOGRAMA	71
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS	73
	REFERENCIAS.....	75
	APÉNDICES	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	13
2.	Tipo fija o estacionaria	17
3.	Tipo desplazable	17
4.	Tipo desmontable.....	18
5.	Tipo desplegable.....	19
6.	Tipo trepadora.....	19
7.	Tipo arriostrada	20
8.	Tipo de pluma articulada	21
9.	Tipo de pluma abatible	21
10.	Torre	23
11.	Pluma.....	24
12.	Contra pluma	25
13.	Porta flecha	26
14.	Contra peso	27
15.	Soporte giratorio.....	28
16.	Sistema mecánico de elevación	29
17.	Sistema mecánico de giro	29
18.	Sistema mecánico carro de traslación	30
19.	Freno tipo cinta	32
20.	Freno tipo disco.....	33
21.	Freno tipo cónico.....	34
22.	Categorías del mantenimiento.....	39
23.	Curva P - F.....	43

24.	Código de señales entre operador y aparejador (a)	58
25.	Código de señales entre operador y aparejador (b)	59
26.	Código de señales entre operador y aparejador (c)	60

TABLAS

I.	Clasificación de generaciones del mantenimiento	36
II.	Dependencias del estado	53
III.	Variables e indicadores	66
IV.	Cronograma de actividades	71
V.	Presupuesto de la investigación	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°	Grados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit

GLOSARIO

AMFEC	Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad
END	Ensayos No Destructivos
Tg	Torre grúa

RESUMEN

Actualmente en Guatemala, en el sector industrial, comercial o residencial predomina la estrategia del mantenimiento correctivo, existen empresas que se esfuerzan por avanzar y dar el siguiente paso hacia un mantenimiento predictivo o de clase mundial, pero son pocas las que logran este tipo de estrategias de mantenimiento antes mencionadas.

La planificación es una parte muy importante dentro del sistema de gestión del mantenimiento, existen empresas que están empleando estrategias de mantenimiento predictivo o preventivo pero muy pocas empresas tienen la disciplina de cumplir con la planificación establecida y así poner en riesgo los activos de las empresas.

El objetivo de este trabajo de investigación es plantear y desarrollar un modelo de gestión del mantenimiento que se basa en el monitoreo de condiciones de los activos con lineamientos de normas internacionales, las cuales permiten alcanzar el nivel de mantenimiento denominado clase mundial el cual es aplicable a todo tipo de industrias a nivel mundial.

La investigación sigue la línea de la normalización del mantenimiento, ya que utiliza normas ISO para su desarrollo, estas normas son usadas para el diseño del modelo de gestión de mantenimiento y para la comparación de los resultados obtenidos en las variables definidas, para así obtener un sistema de gestión del mantenimiento basado en el monitoreo de las condiciones de los activos aplicando ensayos no destructivos bajo la norma ISO 17359.

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo se define como un emprendimiento en el desarrollo de la gestión de mantenimiento en la industria del montaje y fabricación de estructura de acero de diversos tamaños y formas. En el área de montaje se cuenta con una torre grúa marca Zoomlion, la cual cumple con distintos trabajos dentro de la obra o planta asignada como son; levantamiento de estructura, transporte de material, colocación de formaleta, entre otros más. La torre grúa está conformada por paneles eléctricos, motores eléctricos, cajas reductoras, entre otros, los cuales son indispensables para el funcionamiento de la torre grúa.

En los problemas se detectó la carencia de un plan de mantenimiento apropiado para las tareas correctivas programadas y mantenimiento preventivo para la Torre Grúa marca Zoomlion. Cuando el equipo falla se detecta una o varias anomalías no previstas, no existe un historial de fallas ya que no elaboran órdenes de trabajo de tipo correctivo o preventivo. Tampoco se elaboran cuando el operador de la Torre Grúa Zoomlion reporta alguna falla y mal funcionamiento durante la operación. Debido a lo anterior el problema son las paradas no planificadas, afectando la operación de la Torre Grúa Zoomlion atrasando actividades de suma importancia. En algunas obras o proyectos en la mayoría de veces solo se cuenta con una torre grúa para las distintas actividades asignadas.

Con la implementación del plan de monitoreo se tendrá una mejor perspectiva del control y planificación del mantenimiento obteniendo mejores resultados como beneficio en la parte operativa montaje y en la ejecución del mantenimiento, aumentando la fiabilidad de la torre grúa marca Zoomlion

teniendo una buena capacidad de detección de fallas, anticipándolas o reduciendo las consecuencias de dichas fallas.

En el capítulo I de la investigación se desarrollará el marco teórico, en donde se encuentra la clasificación de los diferentes tipos de torres grúa como la definición de cada una de estas, teniendo en cuenta los sistemas mecánicos que hacen funcionar y operar la torre grúa. Se define los conceptos de mantenimiento, tipos de mantenimiento y su evolución a través del tiempo. Haciendo énfasis en el tipo de mantenimiento basado en condiciones usando la norma ISO 17359 como lineamientos a seguir para la realización de un plan de monitoreo de condiciones, para obtener una mayor disponibilidad y eficiencia de la torre grúa. Teniendo en cuenta los aspectos de seguridad nacionales a cumplir, fomentando la seguridad en el trabajo con el fin de proteger la vida, salud e integridad corporal de los trabajadores.

- En el capítulo II se hará el desarrollo de la investigación.
- En el capítulo III se hará la presentación de los resultados.
- En el capítulo IV se hará la discusión de resultados.

2. ANTECEDENTES

El mantenimiento por monitoreo basado por condición consiste en el estudio de analizar la evolución temporal de parámetros de medición establecidos asociándolos a la evolución de fallos. Para poder determinar en qué lapso de tiempo cualquier fallo va a mostrar una relevancia importante y así poder planificar las intervenciones necesarias con el tiempo suficiente evitando que el fallo o fallos nunca tengan consecuencias graves para los equipos. A continuación, se mencionan algunos trabajos de investigación que dan soporte valioso al tema central de investigación propuesto.

Camacho y Orquera (2021), realizaron una investigación acerca de un algoritmo para priorizar la planificación del mantenimiento en alimentadores de distribución de energía eléctrica basado en condiciones de confiabilidad. En la investigación se puede encontrar que la confiabilidad de los componentes en un sistema eléctrico está ligada a la eficiencia, a la evaluación cuantitativa de la confiabilidad la cual es primordial en la planificación y operación de un sistema eléctrico. En la implementación menciona que existen varios estudios que tratan de elegir una estrategia de mantenimiento adecuada para los sistemas eléctricos y como resultado se obtiene una combinación de mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos. El aporte metodológico de la investigación es la aplicación del Mantenimiento Centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) y el Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su criticidad (AMFEC) como métodos estratégicos para las empresas, obteniendo resultados de ahorros en los costos de mantenimiento y disminución de averías justificando la inversión la implantación de esta metodología de mantenimiento.

Morales, Ramírez, García, Cervantes, Bolaños, Guzmán y Rodríguez (2018), en el proceso de implementación del mantenimiento predictivo basado en los ensayos no destructivos y su análisis, mencionan que dichos ensayos son un campo de la Ingeniería cuyo desarrollo va rápidamente en cualquier tipo de industria. Hoy en día las técnicas de digitalización de imágenes, la radiografía, el electromagnetismo o la emisión acústica se han convertido en herramientas que comúnmente son usadas en la industria. Dentro esta implementación se usó el método de análisis el cual es la termografía. Este método permite obtener información térmica de dispositivos sin contacto, el cual emite una radiación infrarroja y la termografía se encarga de convertirlo en un valor de temperatura sea °C o °F. El aporte metodológico de la investigación es el uso de la termografía como un método de análisis que permite evitar riesgos en la producción corrigiendo fallas de una manera rápida teniendo como resultado un plan de mantenimiento predictivo.

Calderón y Scarpati (2018), en el artículo de Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la Industria, hacen referencia a la definición según la Asociación Americana de Ensayos no Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés) “Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales” (Calderón y Scarpati, 2018, p.60). Resaltan que la evolución de los ensayos no destructivos se ha vuelto un pilar fundamental para los procesos, tecnologías de la producción, mantenimiento y diagnóstico teniendo como resultado un aumento en la confiabilidad de los equipos ya que existe un aumento en la capacidad de detección de fallas. El aporte metodológico de la investigación es el uso de los ensayos no destructivos como una herramienta de inspección efectiva y eficiente para el plan de monitoreo de condiciones para la industria.

El monitoreo de condiciones es una de las principales características del mantenimiento predictivo. Martínez (2014), dentro de su investigación menciona la importancia que las técnicas de monitoreo de condiciones de los equipos son utilizadas para detectar desviación de parámetros tempranas evitando fallas o consecuencias graves de estas mismas fallas, identificando cuales son los modos de fallas que pueden ser monitoreados. El resultado del monitoreo de condiciones es de indisponer el menor tiempo posible el equipo para determinar su condición. Teniendo la información disponible y trazable permitiendo construir parámetros de diagnóstico, estableciendo niveles de alarma cuando se presenten condiciones de pre-falla o desviación de una variable de medición. El aporte metodológico de la investigación es la clasificación de equipos que partiendo de sus modos de falla y la probabilidad de falla se implemente un plan exitoso de mantenimiento basado en confiabilidad.

Los lineamientos que brinda la norma ISO 17359 son de forma muy general para poder implementar y desarrollar un plan de mantenimiento de monitoreo de condición y diagnóstico de fallas. Ruiz (2012), menciona que el modelo a seguir para la implementar y estandarizar el mantenimiento basado en condiciones y que forme parte de un proceso dentro de la cadena de valor de una empresa, se debe de basar en la norma ISO 17359. La cual tiene como resultado la elaboración de un procedimiento que se puede utilizar para aplicarlo en un plan de monitoreo de condiciones dentro de cualquier tipo de industria. El aporte metodológico de la investigación es el desarrollo de un plan de monitoreo de condiciones que tenga una base normada sustentable con estructura, orden, ejecución y funcionalidad.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Delimitación y planteamiento del problema

En una planta dedicada al montaje y fabricación de estructura de acero de diversos tamaños y formas no existe un plan de mantenimiento correctivo programado ni un plan de mantenimiento preventivo para la Torre Grúa marca Zoomlion. Cuando el equipo falla se detecta una o varias anomalías no previstas, y no se elaboran órdenes de trabajo de tipo correctivo o preventivo. Tampoco se elaboran cuando el operador de la Torre Grúa Zoomlion reporta alguna falla y mal funcionamiento durante la operación. Debido a lo anterior el problema son las paradas no planificadas, afectando la operación de la Torre Grúa Zoomlion dedicada al levantamiento y colocación de estructuras metálicas atrasando actividades de suma importancia en la planta ubicada en el municipio de Amatlán. Solo se cuenta con una torre grúa para las distintas actividades asignadas en la planta.

El departamento de mantenimiento cuenta con los equipos de termómetro infrarrojo, amperímetro y cámara termográfica que son útiles para poder aplicar las técnicas de mantenimiento por condición o mantenimiento predictivo. Estas herramientas no son usadas para la revisión de algún equipo en cualquier momento. El departamento de mantenimiento no tiene el conocimiento del programa monitoreo basado en condiciones, tampoco conoce los lineamientos que brinda la norma ISO 17359 sobre el diagnóstico de fallas, entonces como resultado al desconocimiento no hay asignaciones de tareas de mantenimiento definidas, seguimiento de estas mismas como análisis de los equipos.

Las principales causas de las paradas no planificadas de Torre Grúa Zoomlion son: las condiciones de trabajo, antigüedad de accesorios, no hay revisiones preoperacionales y no existen órdenes de trabajo de tipo correctivo o preventivo.

Teniendo efectos que perjudican la disponibilidad de la Torre Grúa Zoomlion los cuales son: deterioro de los componentes, accesorios en mal estado, fallas continuas y mantenimientos no programados

3.2. Pregunta central de investigación

- ¿Qué técnicas END se pueden utilizar para un adecuado monitoreo de condiciones de operación de la Torre Grúa Zoomlion utilizada en el municipio de Amatitlán?

3.3. Preguntas orientadoras

- ¿Cuál es la condición de operación de la Torre Grúa Zoomlion a la fecha de investigación?
- ¿Cuáles son las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento?
- ¿Qué estrategia puede diseñarse para mantener las condiciones adecuadas de operación de la Torre Grúa Zoomlion?

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación a la que pertenece el trabajo es normas internacionales de mantenimiento, perteneciente al área administrativa. Entre los aportes esperados de esta investigación se tiene: plan de monitoreo de condiciones para la torre grúa marca Zoomlion. El cual busca una solución a los constantes paros no programados, aplicando rutinas de inspección, rutina de medición y procedimientos de seguridad ocupacional para el personal técnico que realiza el monitoreo de condiciones y para que los equipos a utilizar estén en condiciones adecuadas. Asegurando la disponibilidad de la torre grúa marca Zoomlion reduciendo paros no programados.

Este plan de monitoreo de condiciones se elaborará utilizando técnicas de END bajo la norma ISO 17359, ya que siendo un equipo crítico se busca reducir los paros no programados previniendo fallas o evitando consecuencias graves de estas. Para ello la investigación se basará en estándares normalizados buscando que las reparaciones e intervenciones sean actividades planificadas dentro de un plan de monitoreo de condiciones.

El resultado de la investigación tendrá como beneficiario directo al departamento de montaje de estructura metálica de la empresa donde actualmente se utiliza esta grúa, ya que se reducirán las paradas no programadas, cumpliendo en tiempo las distintas tareas de montaje de estructura programadas.

Actualmente en Guatemala la industria de la construcción está creciendo está creciendo de forma rápida, se ven muchos proyectos en ejecución teniendo

la necesidad del uso de torres grúas en sus distintas marcas como capacidades. Dentro de los beneficiarios de la investigación también podemos encontrar a la industria de construcción para las distintas torres grúas, sean de la misma marca Zoomlion o de otras marcas. Impactando directamente a los costos inesperados, como, por ejemplo: paros de trabajo no programados, compra de repuestos de emergencia, tercerización de servicios técnicos de emergencia, horas extras e incumplimiento de programación.

La seguridad e higiene industrial se debe considerar como una parte importante de cualquier proceso en una empresa, ayudando a brindar, protección, seguridad e importancia a los colaboradores en el desempeño de las distintas actividades. Logrando reducir riesgos de accidentes laborales aportando significativamente a la productividad y competitividad de la empresa, por ello en el desarrollo de esta investigación se tomará en cuenta el acuerdo gubernativo 229-2014 y sus puntos a cumplir.

Con la implementación del plan de monitoreo se tendrá una mejor perspectiva del control y planificación del mantenimiento obteniendo mejores resultados como beneficio en la parte operativa montaje y en la ejecución del mantenimiento, aumentando la fiabilidad de la torre grúa marca Zoomlion teniendo una buena capacidad de detección de fallas, anticipándolas o reduciendo las consecuencias de dichas fallas.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un plan de monitoreo de condiciones con técnicas END bajo la norma ISO 17359 para una Torre Grúa marca Zoomlion ubicada en el municipio de Amatlán.

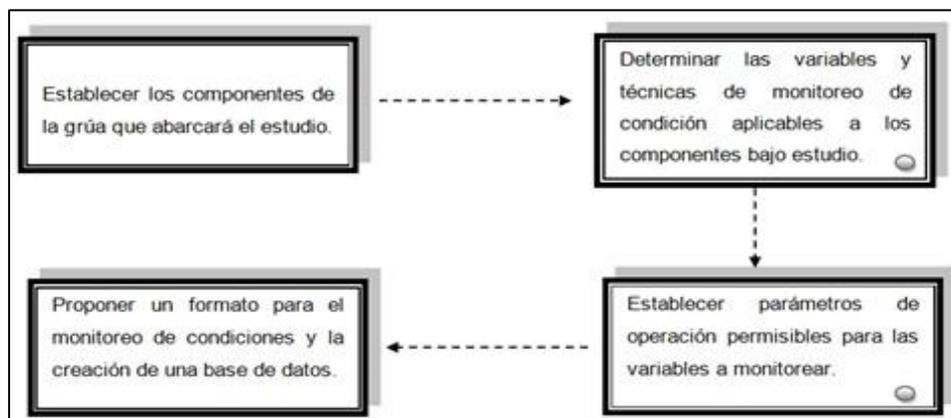
5.2. Específicos

- Determinar las condiciones de operación de la Torre Grúa Zoomlion a la fecha de investigación.
- Establecer las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento de la Torre Grúa marca Zoomlion.
- Determinar la estrategia para mantener la Torre Grúa Zoomlion en condiciones adecuadas de operación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

En la actualidad la industria de la construcción ha evolucionado constantemente y teniendo una demanda alta en los distintos proyectos de construcción. A continuación, se presenta un esquema de solución en el cual se describen las necesidades a cubrir de la investigación.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Con este esquema de solución estableceremos los componentes críticos para la funcionalidad correcta y disponibilidad de la torre grúa, a los cuales se harán mediciones con las técnicas END. Siendo estos equipos motor mecanismo de elevación, motor mecanismo de carro, motores mecanismo de giro, subestación de alimentación y panel de mandos.

Determinando las variables sobre las cuales se harán las mediciones con las técnicas de monitoreo de condición, siendo estas: temperatura, consumo eléctrico, aislamiento, arranque de equipo, entre otros.

Las cuales son aplicables a los componentes bajo estudio para tener como resultado una confiabilidad alta en los distintos equipos evitando fallas inesperadas.

Mediante técnicas END se revisarán el estado superficial de los componentes de la torre grúa. Se realizarán mediciones en un período de tiempo determinado para poder establecer tendencias y parámetros de operación de las variables a monitorear.

Se implementará un formato de monitoreo de condiciones para el departamento de mantenimiento, bajo las directrices de la norma ISO 17359. Con esta norma ISO, se puede garantizar un estándar internacional que da un soporte para poder cubrir las debilidades como necesidades del departamento de mantenimiento de la empresa de montaje de estructura metálica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Torre grúa (Tg)

Montserrat (2017), define a la torre grúa como una maquinaria que en la construcción se utiliza como una herramienta, que su diseño hace que su principal función es elevar cargas y transportarlas en un radio definido de distancia por el largo de la estructura llamada pluma, los que se necesita transportar es colocado en un gancho suspendido en una estructura denominada carro de transporte, que su desplazamiento es a lo largo de toda la pluma.

7.1.1. Definición de torre grúa

Cartes (2004), define a la Tg como una maquinaria de estructura metálica, la cual está compuesta por varios equipos que su principal función es la de subir y bajar cargas suspendidas por medio de una pasteca sostenida por un cable acerado de un largo el cual es determinado por el alto de la Tg, abarcando un radio de varios metros, hacia todas las secciones y cubriendo todas direcciones. Constituida principalmente por una estructura metálica denominada torre, un brazo metálico horizontal giratorio (pluma), conteniendo los distintos motores que sirven para los movimientos como elevación, traslado de la carga suspendida y distribución de la misma.

Las torres grúas por su mismo diseño y necesidad, tienen una capacidad variable de carga, el principio que se basa es en el del equilibrio que se obtiene con la ayuda de los contrapesos, los cuales hacen su función al estar ubicados

un extremo opuesto de la pluma giratoria, teniendo al eje de la torre como parte principal del equilibrio.

La torre grúa está constituida generalmente por secciones metálicas las cuales forman la torre, eje principal, un brazo con estructuras metálicas de forma horizontal, con movimiento giratorio y los componentes electromecánicos como motores de movimiento, elevación de carga, traslado de carga y distribución de carga.

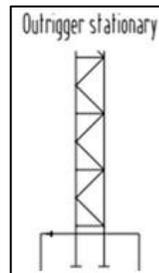
7.2. Clasificación de torre grúas

Las Tg son equipos que pueden realizar labores de elevación, distribución y transporte de carga a través de un gancho suspendido de un cable, las cuales se clasifican según el tipo de montaje, la forma de la pluma y su movilidad.

7.2.1. Tipo fija o tipo estacionaria

El Manual del operador gruista (2011), define este tipo de Tg donde la base no tiene los movimientos de traslación o que teniéndolos no son aprovechables en el desplazamiento, o aquellas en donde la base de la Tg es una fundición de concreto u otro tipo de elemento fijo.

Figura 2. **Tipo fija o estacionaria**

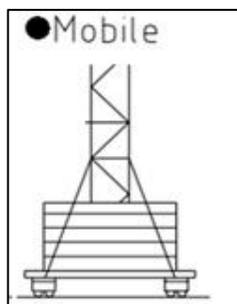


Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.2.2. **Tipo desplazable en servicio**

Moreno (2021), menciona que estas torres grúa son aquellas cuya base tiene sus propios medios de traslado el cual es sobre rieles o algún otro medio y que la máxima altura de montaje permite el no tener la necesidad de un anclaje adicional, ya que presenta estabilidad tanto en horas de trabajo como fuera de servicio para las diferentes actividades programadas que se vayan a ejecutar.

Figura 3. **Tipo desplazable**



Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.2.3. Tipo desmontable

Monserrat (2017), esta torre grúa se caracteriza por su mayor frecuencia en el montaje y desmontaje, porque así fue diseñada, dentro de sus limitaciones de trabajo es en la cantidad de carga soportable respecto a su altura. Su uso no es tan frecuente como las torre grúa que son de base fija, pero aun así son de utilidad en cualquier obra de menor o mayor magnitud.

Figura 4. Tipo desmontable



Fuente: Cortadi (2016). *Grúa torre desmontable con brazo horizontal giratorio*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. Recuperado de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%20).

7.2.4. Tipo auto desplegable

Según Cortadi (2016), esta grúa auto desplegable es constituida por un bloque y no hay necesidad alguna de elementos articulados auxiliares para su montaje, instalación y puesta en operación, donde el elemento inferior está unido a la base principal de la torre grúa mediante un mecanismo giratorio, teniendo los elementos necesarios que permite a la torre grúa que la acción de plegarse y desplegarse sea rápida, todo en solo conjunto, tanto de la grúa torre como la pluma.

Figura 5. **Tipo desplegable**



Fuente: Cortadi (2016). *Grúa torre desmontable con brazo horizontal giratorio*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. Recuperado de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%20).

7.2.5. **Tipo trepadora**

Jiménez (2017), menciona que la diferencia respecto a las otras grúas torres es que estas están fijadas directamente a la estructura del inmueble, por lo normal sobre vigas metálicas apoyadas a su vez en los rigidizantes de la edificación con el fin de incrementar la altura juntamente a la estructura del edificio.

Figura 6. **Tipo trepadora**

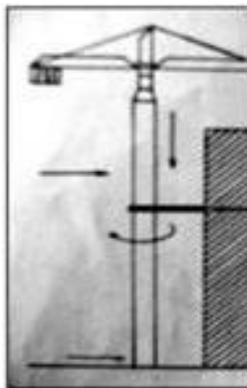


Fuente: Cortadi (2016). *Grúa torre desmontable con brazo horizontal giratorio*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. Recuperado de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7/%20ESTUDIOS%20CON%20ENTIDAD%20).

7.2.6. Tipo arriostrada

Cartes (2004), explica que existen torres grúas cuya altura de instalación sobrepasa la altura de giro de la propia torre grúa, tanto en operación como fuera de operación y también se encuentra expuesta a velocidades excesivas de viento, es necesario arriostrarla, si la torre grúa está próxima a un edificio es indispensable anclarla a este mismo.

Figura 7. Tipo arriostrada



Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.2.7. Tipo de pluma articulada

Cartes (2004), menciona que lo especial de este tipo de torre grúa es que, la geometría de la pluma puede ser variable, ya sea horizontalmente o en los distintos ángulos como obtuso y recto. Por esta característica es que esta torre grúas son recomendadas para su uso en construcciones específicas como, torres para refrigeración y torres para transmisión. Su diseño permite el uso de su máxima altura y disminuir el número de arriostramientos.

Figura 8. **Tipo de pluma articulada**

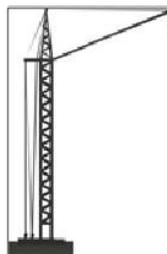


Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.2.8. **Tipo de pluma abatible**

Cartes (2004), menciona que la particularidad del diseño de este tipo de torre grúa es especialmente para utilizarse en lugares estrechos o en sectores donde hay más grúas ya instaladas y se necesita que no haya interferencia entre ellas mismas. Se puede decir que la mayor ventaja es que la pluma tiene movimientos entre ángulos de 70° y 15° facilitando a la torre grúa de librarse de los obstáculos que se puede encontrar en su radio de trabajo.

Figura 9. **Tipo de pluma abatible**



Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.3. Partes de una torre grúa

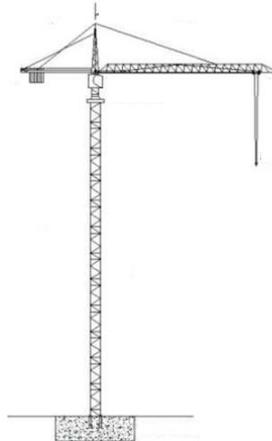
Montserrat (2017), define a la torre grúa como el elemento mecánico compuesto por varias estructuras metálicas con forma de triángulo, formando secciones tras secciones rectangulares cada una acopladas una tras otra mediante pines de seguridad formando la torre según la altura de montaje deseada.

7.3.1. Torre

La torre cuenta con un sistema electromecánico de giro el cual está ubicado en la parte superior de esta misma, juntamente con este sistema encontramos la corona también de giro y justamente en la parte de debajo de la torre se debe de tener una estructura para la colocación de bases muy sólidas, pero si en caso el montaje cuenta con cimentación no será necesario evitar el giro de la estructura. La gran ventaja de que la torre sea montada por módulos metálicos es que le dará la capacidad de tener distinta elevación según sea la necesidad de operación como la necesidad de levantamiento de carga.

La torre en su interior cuenta con una escalerilla, que permite a los gruistas operarios y técnicos de mantenimiento realizar distintas tareas.

Figura 10. **Torre**



Fuente: Jiménez (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torres en obras de construcción*. Consultado el 1 de mayo de 2022. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

7.3.2. Pluma o flecha

Montserrat (2017), define a la pluma como una estructura metálica reticulada con forma triangular, constituida por bloques que facilitan su reemplazamiento si en algún momento se daña cualquier bloque o también poder modificar la longitud o facilitar el transporte sin mayor problema.

El radio de trabajo de la torre grúa lo proporciona el largo de la pluma, la pluma está constituida por carriles guía por donde el carro se desliza con el objetivo principal. El cual es llevar la carga suspendida a través de un gancho tipo pasteca a donde requiera la operación a realizar.

La pluma se encuentra sujeta a la estructura de la torre (independiente de la misma estructura) por medio de tirante metálico de sujeción. La principal función del tirante es el reducir los esfuerzos en la flecha en relación a la punta de la flecha para tener como resultado que los esfuerzos sometidos a flexión se disminuyan.

Este tirante es una parte muy importante de la Tg, ya que están formadas por una estructura triangular metálica muy larga y grande, la cual está en voladizo.

Figura 11. **Pluma**



Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.3.3. Contra-pluma (flecha)

En el Manual del operador gruista (2011), definen a la contra-pluma (flecha) como una estructura reticular metálica opuesta a la pluma. Dependiendo del modelo de la grúa la sección de la contra-pluma suele ser variable. La función que cumple es de aguantar los contrapesos, los cuales mantienen en equilibrio el peso por el largo de la pluma y a su vez las cargas suspendidas en el gancho

cuando entra en operación. Está sujeta a la torre mediante juntas metálicas y tirantes muy parecidos a los que contiene la pluma.

Algunos modelos de torre grúa contienen el mecanismo de elevación en la contra-pluma, estos modelos de torres grúas tienen como ventaja de que el peso del mecanismo de elevación, ayuda al contrapeso con la función de mantener el equilibrio de toda la estructura metálica reticulada de la torre grúa.

Algunas torres grúas de tipo pluma abatible, poseen una contra-flecha, con mecanismo abatible en ciertos tipos, se suprime la contra-pluma supliéndola con cables atirantados fijos a la estructura base.

Figura 12. **Contra pluma**

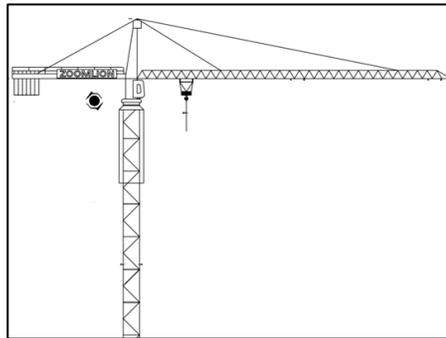


Fuente: [Fotografía de Gilberto Sulecio]. (Guatemala, Guatemala. 2020). Colección particular.
Guatemala.

7.3.4. Porta-flecha

Monserrat (2017), define a la porta-flecha o porta-pluma como una estructura metálica en la cual se anclan los tensores soportando las tensiones fuertes. La estructura también posee barandillas como escaleras para poder tener el acceso a la porta-flecha ya sea por lo gruistas operarios o técnicos de mantenimiento.

Figura 13. Porta flecha



Fuente: Jiménez (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torres en obras de construcción*. Consultado el 1 de mayo de 2022. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

7.3.5. Contra-peso

Cartes (2004), menciona que el contrapeso es una masa fija sobre la estructura de la contrapluma o sobre la plataforma giratoria para proporcionar equilibrio a los distintos movimientos de la carga útil y/o algunas partes de la torre grúa en funcionamiento.

Figura 14. **Contra peso**



Fuente: Montserrat (2017). *Diseño de una grúa torre*. Consultado el 8 de Agosto de 2022.
Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/>.

7.3.6. Soporte giratorio o plataforma

Montserrat (2017), hace ver que la plataforma del soporte giratorio se encuentra en el punto superior de la torre grúa, juntamente se encuentra colocada el mecanismo de la corona de giro y unidos a este soporte giratorio se puede encontrar la flecha y contra-flecha.

Todas estas partes unidas permiten a la grúa realizar giros de operación de 360°, muy específicamente a la flecha y a la contra-flecha. Dependiendo del tipo de modelo de la torre grúa la cabina de operación de control, puede situarse en esta plataforma.

Figura 15. **Soporte giratorio**



Fuente: Montserrat (2017). *Diseño de una grúa torre*. Consultado el 8 de Agosto de 2022.
Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/>.

7.4. Sistemas mecánicos de una torre grúa

A continuación, se describen los sistemas mecánicos de la torre grúa, como lo son el sistema de elevación, giro, traslación y frenado.

7.4.1. Sistema mecánico de elevación

El Manual del operador gruista (2011), menciona que este es generado por el motor reductor de elevación. Su función es enrollar o desenrollar un cable acerado en un rodillo de diámetro considerable para enrollar el largo del cable, paralelamente a este rodillo se encuentra un reductor. El cable acerado esta enhebrado en las poleas guías del gancho, este enhebrado hace posible la elevación o la bajada de la carga en suspensión a maniobrar.

Figura 16. **Sistema mecánico de elevación**

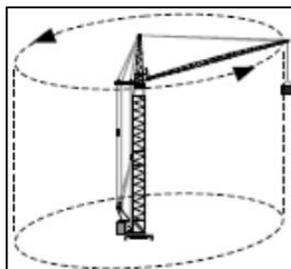


Fuente: Pingon Servicios (2011). *Manual del operador gruista*. Consultado el 5 de junio de 2022. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/320946196/Manual-de-Operador-Gruista-01-Pingon>.

7.4.2. **Sistema mecánico de giro**

Jiménez (2017), lo define como un sistema electromecánico ubicado en la parte más alta de la torre, generalmente por debajo de la cabina del operador, el cual permite electromecánicamente dar giros de 360° a la pluma y la cabina del operador, según sea la necesidad a cubrir.

Figura 17. **Sistema mecánico de giro**



Fuente: Cartes (2004). *Grúas torre*. Consultado el 1 agosto de 2022. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

7.4.3. Sistema mecánico carro de traslación

Es un elemento de la torre grúa, cuyo desplazamiento es por ruedas que se desplazan en todo el largo de la pluma, girando sobre la estructura que forma la pluma. Su accionamiento es a través de la tracción del cable acerado y en algunos modelos el accionamiento lo hace un motor eléctrico.

El Manual del operador gruista (2011), dice que la pasteca de elevación o de colocación de carga va suspendida por medio de este carro de traslación, también contiene a las poleas por dónde pasa el cable acerado de elevación. Para parar los distintos sistemas electromecánicos como lo son el de elevación y traslado de carga, el movimiento de carro, entre otros; es fundamental el emplear el sistema de freno.

Figura 18. Sistema mecánico carro de traslación



Fuente: Pingon Servicios (2011). *Manual del operador gruista*. Consultado el 5 de junio de 2022.
Recuperado de <https://es.scribd.com/document/320946196/Manual-de-Operador-Gruista-01-Pingon>.

7.4.4. Sistema mecánico de frenado

En el caso de la torre grúa el freno se acciona cuando eléctricamente se deja de alimentar el motor, esto es por normas de seguridad, esta acción se hace

por medio un resorte ya que cuando el resorte está bajo tensión el mecanismo de freno lo vence y cuando no existe tensión alguna el resorte empuja al mecanismo de freno liberándolo. Montserrat (2017)

Cartes (2004), menciona que dependiendo de los modelos de torre grúas se pueden encontrar distintos tipos de frenos. Comúnmente la mayoría usa tres tipos de frenos, freno tipo cinta, freno tipo mordazas, freno tipo disco y freno tipo cónico.

A continuación, se describirán los tres tipos de frenos antes mencionados.

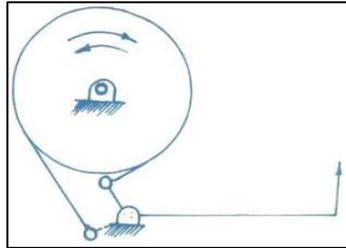
7.4.4.1. Freno tipo cinta

Montserrat (2017) menciona que este modelo de freno se trata de una cinta con diseño adecuado, ya que se coloca en todo el perímetro de la polea cuyo rango de medidas oscila entre 200 mm de diámetro a 750 mm de diámetro formando un ángulo con la superficie de contacto de 250° , el material de este modelo de cinta es de acero y con un espesor aproximado de 5 mm.

Este modelo de freno es accionado por un mecanismo mecánico que por medio de la fricción provocada por la cinta, hace que frene el giro de la polea. En algunos modelos de torres grúas el freno es la misma polea, ya que está juntamente con el tambor. Podemos mencionar otros tipos de modelos de torres grúas que usan un freno tipo mordaza que suele ser alternativo.

En la actualidad este modelo de freno auxiliar se suele encontrar en algunas grúas portac contenedores de tamaño significativo, ya que se pueden encontrar desajustes mecánicos significativos por lo cual es recomendable emplear este modelo de freno.

Figura 19. **Freno tipo cinta**



Fuente: Montserrat (2017). *Diseño de una grúa torre*. Consultado el 8 de Agosto de 2022.
Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/>.

7.4.4.2. Freno tipo mordazas

Montserrat (2017), define a los frenos tipo mordaza como los más comunes y populares, que por medio de la fricción provocada entre las zapatas y la superficie se produce como consecuencia el frenado. Las zapatas son directamente accionadas por medio del efecto de un electroimán, ya sea por una palanca mecánica o por un sistema especializado llamado Eldro.

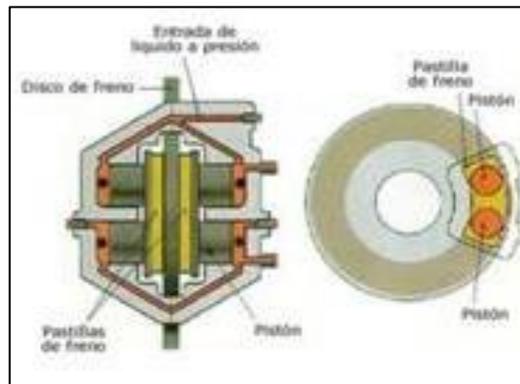
7.4.4.3. Freno tipo disco

Montserrat (2017), menciona que el diseño de los frenos tipo disco parte de un principio de accionamiento hidráulico, constituido por 2 elementos importantes, el disco de acero con unas pinzas compuestas por dos bombas hidráulicas opuestas. Actualmente son muy empleados en algunos modelos de torres grúas.

En la siguiente imagen se demuestra un ejemplo de un freno tipo disco. El principio es el mismo a los de mordazas, conformados por unas zapatas que

están presionadas contra el disco provocando una fuerza de fricción y provocando el frenado del mecanismo.

Figura 20. **Freno tipo disco**



Fuente: Montserrat (2017). *Diseño de una grúa torre*. Consultado el 8 de Agosto de 2022.
Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/>.

7.4.4.4. **Freno tipo cónico**

Montserrat (2017), el diseño del freno tipo cónico se caracteriza por el tipo de rotor que está en el motor, que tiene una forma cónica encajando con el sistema de frenos. Haciendo que este freno actúe de forma directa sobre el rotor, una vez es cortada la tensión inducida magnéticamente, haciendo que el resorte deje de hacer su función de comprimir al freno. Normalmente el freno y el motor son uno solo.

Figura 21. **Freno tipo cónico**



Fuente: Montserrat (2017). *Diseño de una grúa torre*. Consultado el 8 de Agosto de 2022.
Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/>.

7.5. Mantenimiento

Martínez (2007), el mantenimiento industrial, en forma universal, es una sucesión de actividades que va dirigida al sostenimiento de los equipos productivos y no productivos e instalaciones en las mejores condiciones de funcionamiento, durante un tiempo predeterminado y con los menores costos posibles.

El mantenimiento agrega valor para lograr los objetivos de la organización, llenando las expectativas de las partes interesadas, como por ejemplo: los propietarios, los clientes internos o externos, los proveedores, los colaboradores y la sociedad en general donde se ejercen las actividades productivas.

Martínez (2007), dice que el mantenimiento son las ejecuciones de tareas necesarias para mantener controlado el estado de los elementos que existen dentro de una instalación tipo industrial y en situaciones ciertos equipos necesitan ser restaurados a las condiciones iniciales de operación, buscando el fin de la mejora continua, la seguridad ocupacional, eficiencia y calidad.

7.6. El mantenimiento y su evolución

Durante la historia el mantenimiento y la industria, desde sus inicios, siempre han tenido una relación dependiente entre ambos, cabe mencionar que en todas las etapas evolutivas ambos se han transformado. El mantenimiento ha pasado de ser contablemente como un rubro de “gastos o pérdidas”, a un departamento de la empresa muy importante para la cadena de suministro.

Podemos encontrar un sinnúmero de términos o conocerlo de formas diversas, desde definirlo como las actividades que devuelven a un activo a su condición funcional y también encontrar definiciones internacionales normadas como la ISO.

Acevedo (2012), detallar cronológicamente etapa por etapa que a través del tiempo el mantenimiento ha evolucionado, sería una tarea muy laboriosa y de una utilidad no significativa. Una manera más fácil de entender a los cambios en la historia del mantenimiento es de ver la cronología como generaciones,

Profundiza al mantenimiento en el transcurrir del tiempo, los datos que se pueden recabar está dada por fechas definidas o en lapsos de fechas, haciendo notar que la probabilidad de existir un desacuerdo sobre la información, por lo que Acevedo (2012), afirma que, la implementación del PdM en la fabricación de petróleo, se muestra la siguiente taxonomía de las generaciones del mantenimiento a través de una tabla explicativa del mantenimiento y su clasificación.

Tabla I. Clasificación de generaciones del mantenimiento

Aspectos de mantenimiento	Comportamiento 1era generación (I Guerra Mundial - 1950)	Comportamiento 2da generación (1950 - 1970)	Comportamiento 3era generación (1970 - 2000)	Comportamiento 4ta generación (2000 - presente)
Expectativas del mantenimiento	Repare equipos cuando estén rotos	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad - mayor duración de los Equipos - Bajos costos de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad. - Incremento en la seguridad - Sin daño al ambiente - Mejor calidad de producto - Mayor duración de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad - Incremento en la seguridad - Sin daño al ambiente - Mejor calidad de producto - Mayor duración de los equipos - Mayor Costo – Efectividad - Manejo del Riesgo (legislación, procedimientos, entrenamientos, equipos para minimizar el riesgo, etc)
Visión sobre la falla del equipo	Todos los equipos se desgastan	Todos los equipos cumplen con la "curva de la bañera"	Existen 6 patrones de falla	Fallas desde el punto de vista del error humano, error del sistema, error de diseño y error de selección (Confiabilidad Operacional)
Técnicas de mantenimiento	Todas las habilidades de reparación	<ul style="list-style-type: none"> - mantenimientos mayores planeados y programados - Sistemas de planificación y control de los trabajos (PERT, Gantt, etc.) - Computadores grandes y lentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento predictivo - Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad - Estudio de riesgos - Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) - Pequeños y rápidos computadores - Sistemas expertos - Trabajo en equipo y apoderamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo por condición - Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad - Estudio de riesgos - Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) - Pequeños y rápidos computadores - Trabajo en equipo y apoderamiento - Uso de técnicas especializadas (RCA, RCM, TPM, PMO, Modelamiento de confiabilidad, optimización de repuestos etc.) - ERP – módulos de mantenimiento - "Outsourcing" - Internet

Fuente: Cárcel (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. Consultado el 1 de agosto de 2022. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3926/oms.197>.

En la tabla I, se observa que en la tercera generación del mantenimiento se empezó a aplicar el PdM, dentro de esta misma generación el CBM tuvo un enfoque conciso y fuerte, con la aplicación de las ideas que inicialmente fueron aplicados y desarrollado para la rama aeronáutica, Moubray (1991).

El mantenimiento basado en la condición (CBM) y el monitoreo de condición, empieza a implementarse y desarrollarse con un fuerte empuje a principios de año 2000, a consecuencia del crecimiento exponencial en las ramas de la comunicación y la electrónica. La maquinaria y equipos pasan ser catalogados como activos, que deben tener su cuidado y en un estado óptimo para su uso.

La responsabilidad del activo, que es un tema muy importante, pasa de ser responsabilidad solo de mantenimiento a ser una responsabilidad compartida, buscando la operación confiable haciéndolo de forma limpia, segura y respetando los parámetros que fue diseñada, (Acevedo, 2012).

Las técnicas de CBM empleadas actualmente son diferentes y los cambios de estas técnicas han dependido del constante y rápido avance de la tecnología a través del tiempo, lo anterior se evidencia viendo los cambios de tamaño de los diferentes tipos de dispositivos de monitoreo de condición, como ejemplo, los analizadores de vibraciones, o las cámaras termo gráficas que se pueden encontrar en tamaño de bolsillo y portátiles.

7.7. Tipos de mantenimiento

Según García (2012), uno de los temas más discutidos por años en la rama del mantenimiento, es la clasificación del mantenimiento y hoy en día se puede decir que aún no se ha logrado unir criterios que definan los distintos tipos de mantenimiento.

7.7.1. Clasificación de mantenimiento

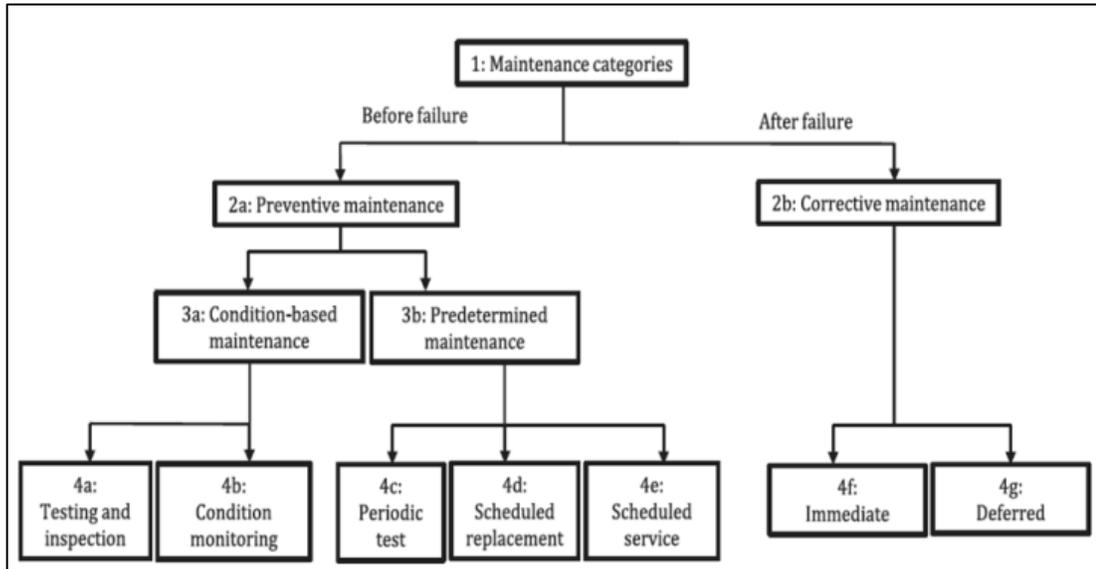
Según García (2012), el conseguir una sola clasificación no ha sido posible, no existe fórmula algebraica alguna que logre aclarar cada una de las etapas y cuáles son, cada una de estas por las que debe de ir pasando hasta llegar a un punto de estandarización maduro, que lo lleve a un nivel considerándolo como un mantenimiento de clase mundial.

Uno de los inconvenientes es que continuamente en el mantenimiento aparecen más subdivisiones según el campo de aplicación, la formulación de la clasificación o el ente que la aplica en cualquier tipo de industria.

Sin dudar y afirmando que los siguientes mantenimientos: el basado en la condición de la maquinaria, equipo o elementos, el predictivo, el centrado en la confiabilidad. Estas son estrategias del mantenimiento que están encima de cualquier otro tipo de clasificación que se pueda encontrar.

La presente investigación no profundizará en el definir al mantenimiento o cual debe de ser la clasificación del mantenimiento más correcta. La finalidad es definir cada una de las tareas a realizar para poder establecer un plan sistemático de mantenimiento predictivo basado en el monitoreo de condiciones. También se incluye la clasificación normada y publicada por la ISO que sintetiza cada una de las diferentes estrategias del mantenimiento.

Figura 22. **Categorías del mantenimiento**



Fuente: ISO 14224 (2016). Categorías del mantenimiento. Consultado el 5 de julio de 2022. Recuperado de <https://es.slideshare.net/Diegocarrera31/norma-iso-142242016-grupo3pptx>.

Tomando en cuenta la jerarquía de internacionalización con la que cuentan actualmente las industrias, exigiendo el normalizar por completo los procesos que contribuyen a la cadena de valor de la industria. La figura 23 nos hace ver que el mantenimiento debe ser administrado con la misma importancia y enfoque, garantizando con procedimientos cíclicos generando resultados equivalentes en todo momento que se efectúa. Si se quiere obtener uniformidad en los procedimientos, la herramienta que se puede usar como guía de estandarización es la norma ISO 2016; aplicado a la estandarización del mantenimiento tipo predictivo, por medio del monitoreo de condiciones.

7.7.2. Mantenimiento correctivo

Se define al mantenimiento correctivo el que corrige fallas a medida se van produciendo, es la primera fase de la gestión del mantenimiento, por lo normal son los colaboradores de producción los que reportan las averías siendo el personal de mantenimiento los encargados de repararlas. Prácticamente “restaurar su estado operacional” según Rodríguez, Miguel y Sánchez en el 2001.

Rodríguez (2003), cuando el personal de mantenimiento interviene en una falla de emergencia, provocadas por fallas no apreciables y que no son detectables en las rutinas preventivas de inspección, o en otras ocasiones por errores o negligencias operacionales quienes utilizan los equipos o maquinaria. Estos fallos no programados no se pueden evitar. Incluso aplicando el mantenimiento preventivo, muy difícilmente se podrán planificar estas averías.

Si en el proceso de mantenimiento tiene como un estándar el aplicar el mantenimiento correctivo como técnica de trabajo, según Cárcel (2014), se tendría el máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos y de planificarse esta técnica de mantenimiento de forma adecuada, llegaría a ser un buen plan estratégico de mantenimiento a aplicar.

Las actividades a realizar dentro del mantenimiento correctivo según Rodríguez (2003), tienen la intención de reparar el equipo o elemento, derivado de una falla perdiendo la funcionalidad de las distintas actividades que se necesitan.

Knezevic (1996), menciona que una actividad típica del área de mantenimiento correctivo consta de los siguientes pasos:

- Detección de la falla
- Localización de la falla
- Desmontaje
- Recuperación o sustitución
- Montaje
- Pruebas
- Verificación

7.7.3. Mantenimiento preventivo

Grijalva (2004), define al mantenimiento preventivo como las inspecciones planificadas, exploraciones periódicas y controles a la maquinaria o equipos.

Esta serie de tareas podrían ser programadas o repetitivas (horas, diaria, mensual, semestral, anual, kilómetros, entre otros.).

Lo anterior escrito coincide con lo que menciona Villa (2011), el mantenimiento preventivo: “se establece un intervalo periódico de tiempo para realizar tareas preventivas sin importar el estado de degradación de los componentes, esto con el fin de evitar fallos no programados” (p. 31).

Una de las características del mantenimiento preventivo es el poder ser programado. “Es el mantenimiento determinado por las siguientes características: inspección, conservación, sustitución, mantenimiento correctivo, periodicidad” (Pesantez, 2007, p. 20). También cuenta con desventajas como las siguientes, el incremento de costo por mantenimiento, cambio de repuestos innecesarios, reducción de vida útil de repuestos.

7.7.4. Mantenimiento predictivo

Garrido (2003), dice que una estructura clásica del mantenimiento industrial generalmente contiene el de tipo correctivo, el de tipo preventivo y el de tipo predictivo como pilares principales de la estructura. A partir de estos tres tipos de mantenimiento y según la necesidad se han realizado subdivisiones por cada uno de los mantenimientos hasta llegar a profundizar según los requerimientos de cada tipo de aplicación.

ISO (2009), el mantenimiento predictivo es una serie de acciones que se toman y técnicas que se aplican para el estudio de parámetros centrándose en el modo de fallos potenciales del estado operativo de los equipos,

De acuerdo con la norma, la principal característica del mantenimiento predictivo es mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, reduciendo los costos por mantenimiento derivado a las constantes fallas.

La norma ISO 2041 especifica cuál debe de ser el alcance del mantenimiento predictivo, definiendo el alcance como el de reparar equipos detectando fallas aplicando alguna técnica predictiva.

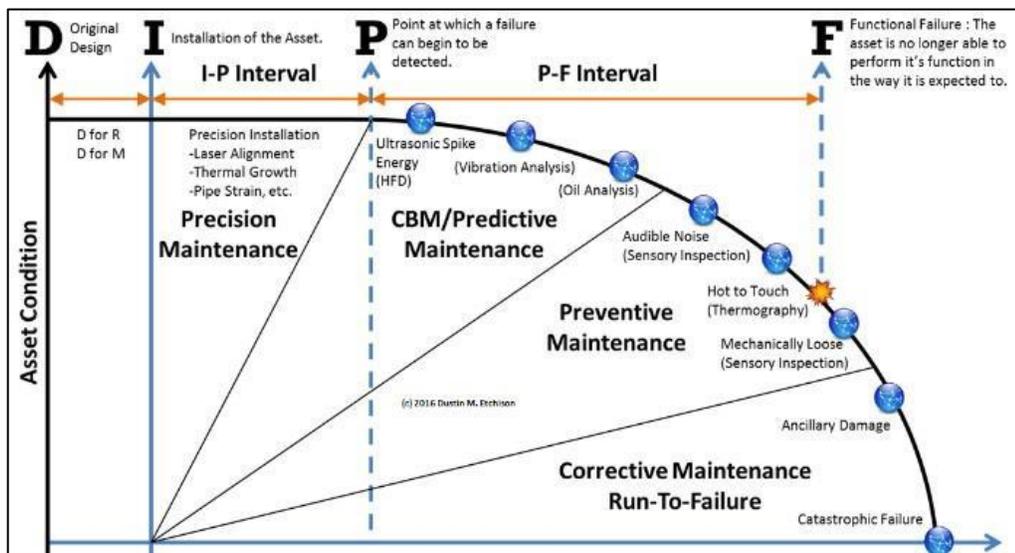
Es importante citar que un gran porcentaje de maquinaria, equipos y elementos no fallan ni dejan de trabajar repentinamente. Estos empiezan a presentar fallas intermitentes en lapsos no establecido, pueden ser semanas o meses, mostrando señales de falla. Es notable y fácil de comprender que la estrategia que proporciona un mayor lapso de tiempo para la planificación de intervenciones por parte de mantenimiento y es por esto que se considera este tipo de mantenimiento que se basa en la condición, como el principio número uno del mantenimiento programado.

7.7.5. Mantenimiento basado en la condición

Según la Norma ISO (2016), la técnica del mantenimiento preventivo tiene dos subdivisiones: el mantenimiento basado en la condición y el mantenimiento programado. Esta investigación se centrará en la primera técnica mencionada, siendo más específicos en el monitoreo de condiciones.

La figura 23 muestra el predominio del monitoreo de condiciones

Figura 23. Curva P - F



Fuente: Asset Condition. *Curva P-F*. Consultado el 1 de octubre 2021. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/when-renewable-energy-ipps-decide-set-up-ownom-teams-v-s-ramesh-rao>.

La definición según Prajapati, Bechtel, y Ganesan (2012), "De hecho, el concepto de mantenimiento basado en condición, CBM, fue introducido a principios de 1940, por la compañía Rio Grande Railway Company e inicialmente

fue llamado mantenimiento predictivo” (p.120). Para entenderlo mejor y tener un concepto, es indispensable estudiar cómo lo han definido otros autores.

Bengtsson (2004), define a la estrategia del PdM como una técnica de mantenimiento apoyado en el rendimiento, monitoreo en las desviaciones en los parámetros establecidos.

La técnica del PdM es una estrategia en donde el realizar una intervención, es el resultado de la inspección del estado de condición operativo de una maquinaria, equipo y componentes, Kothamasu, Huang, y William (2006).

Shin y Jun (2015), tomando referencia a los modelos británicos, este tipo de mantenimiento, lo precisan como la estrategia de mantenimiento que actúa a una avería significativa de una máquina encontrada por medio de planes de monitoreo de condiciones,

Una definición sólida la brinda Butcher (2000), como una serie de acciones en conjunto del departamento de mantenimiento, basadas en evaluaciones, revisiones realizadas en tiempo real a través de la condición del equipo, la información de las evaluaciones es obtenida mediante el uso de instrumentos para el monitoreo de condiciones. Estos instrumentos pueden ser permanentes o de uso portátil y su principal función es el monitorear equipos principales y críticos.

Shin y Jun (2015), en el transcurso de la investigación, las definiciones para el mantenimiento basado en la condición de la norma internacional ISO 2041:2009, son aplicables para formarnos un concepto bastante certero de esta técnica de mantenimiento,

Para Shin y Jun (2015), este tipo de mantenimiento es una estrategia que lleva a cabo acciones de protección que se antepone a una falla. Este monitoreo incluye la evaluación el estado de un equipo, prediciendo los peligros de las fallas en tiempo actual, fundamentándose en la toma de datos de las variables medidas.

7.7.5.1. Recolección de datos.

Recolección de los datos históricos principales teniendo el fin de conocer saber la situación del plan.

Se dividen en 2 subdivisiones:

- Acerca de las fallas: comprende el historial de la maquinaria, equipos y elementos del sistema, lo acontecido con respecto a las fallas, inspecciones y los motivos que las causaron. Incluye el historial de lo realizado por el departamento tales como reparos, restauración, mantenimientos, modificación.
- Información de monitoreo: parámetros vinculados con la naturaleza operativa de los equipos. Dentro de estos parámetros se hace mención de unos ejemplos, análisis de aceites, termografía, ultrasonido, analizar las vibraciones.

7.7.5.2. Análisis de datos

El desarrollo de los datos se emplea para el uso, explicación y el analizar de forma correcta los datos alcanzados.

- En primer orden se realiza una depuración de datos.
- En segundo orden se analiza la información. Se puede hacer uso de una variedad de técnicas para el análisis y explicación de los datos como lo son la tabla de datos, gráficos estadísticos, parámetros y otros.

7.7.5.3. Toma de decisiones

Es aconsejable el fijar políticas de mantenimiento que tengan como fin el alcanzar objetivos o cumplimiento de KPI'S. Como fundamento para la toma de decisiones en la administración del mantenimiento, el cual está en función del monitoreo de la condición hay dos técnicas, que a continuación se describen:

- **Diagnosis:** diagnóstico de las averías se centraliza en la ubicación e identifica cuando suceden dichas averías. El encontrar las fallas es una tarea que da la alerta cuando se presenta algo que no va bien en el equipo que está siendo controlado. apartar las averías simplifica a localizar el elemento que se encuentra averiado y al encontrar la falla, se ubica el origen de la avería al ser encontrado.
- **Prognosis:** intenta pronosticar el avance de las fallas. El pronóstico de las averías es una labor que determina si la avería es próxima y cuantifica el tiempo en que quizá el componente falle.

Ruiz (2012), indica que, en la medida que el mantenimiento basado en condición del activo, se abra paso y sea exitoso, se abrirán puertas a la verdadera Gestión de Activos en la compañía, garantizando un manejo completo de la organización, la operación y los activos (p. 30).

Según sea la clase o necesidad del proceso, éste debe de programarse de forma constante y que cada medida de inspección no se interrumpa.

7.7.5.4. Objetivo del mantenimiento basado en condiciones

El mantenimiento basado en condición debe efectuarse con una excelente administración de mantenimiento que se deba llevar un registro medible y cuantificable, cumpliendo los siguientes objetivos, según Ruiz (2012).

- Proyectar el tiempo en que el equipo pueda trabajar, sin presentar una falla.
- Monitoreo de las máquinas, registro y reporte cuando existan fallas y su nivel de gravedad.
- Detallar y analizar cada fallo y sus componentes en el equipo.
- Resguardar las máquinas, previniendo las fallas que puedan ocasionar estancamiento de procesos. Los equipos se pueden detener con anticipación, especialmente aquellos que tienen altos niveles de ejecución y gran margen de complicidad.

7.7.5.5. Técnicas para monitoreo de condiciones

El programa de mantenimiento basado en condición se apoya en diferentes técnicas, según Martínez (2014):

Antes de que un equipo falle se pueden identificar síntomas de deterioro, sobre todo, aquellos que están relacionados con la edad de operación. En este instante las técnicas de monitoreo a condición se utilizan para detectar alertas tempranas con el fin de evitar las fallas o evitar las consecuencias de éstas (p. 34).

Las técnicas para el mantenimiento basado condiciones que pueden ser aplicadas son:

- Análisis de vibraciones
- Termografía IR
- Análisis de aceite
- Técnicas END (ultrasonido, líquidos penetrantes, ultrasonido.)
- Rutas VOSO
- Pruebas eléctricas

7.8. Normas aplicables

Actualmente en el sector industrial requiere una mayor atención en sistemas y procesos de calidad, especialmente en procesos de producción que obtengan altos niveles de calidad en productos y/o servicios. Basados en el ciclo PHVA, se logra, entre otros resultados, un mejor orden y alineación a metodologías de trabajo que busca siempre una mejora continua con buenos resultados, servicios y/o productos, además del reconocimiento de los clientes.

Un plan de mantenimiento bajo el ciclo PHVA lleva implícitos procesos de mejora continua y la aplicación de normas para cada uno de ellos. Las normas establecen criterios importantes en dichos procesos, los cuales deben ser documentados por los diferentes comités técnicos e implementados de forma voluntaria.

Hoy en día la normalización o estandarización para los diferentes sectores son realizadas por equipos multidisciplinarios y aprobadas por diferentes organismos o instituciones internacionales.

Algunas instituciones que tienen esta facultad son:

- ISO – International Organization for Standardization
- ASME – American Society of Mechanical Engineers
- ANSI - American National Standards Institute
- NORSOK STANDARD
- SAE – Society of Automotive Engineers
- CEN – Centro Europeo de Normalización

7.8.1. ISO 17359 – monitoreo y diagnóstico de condición de máquinas

Según la ISO 17359:2003 la define como la serie de actividades que están enfocadas en identificar y evitar los modos de fallas desde la causa raíz. Esta norma fue elaborada por el subcomité de ISO/TC 108/SC 5 de vibración mecánica e impacto. Norma que sugiere diferentes pautas, parámetros y técnicas que son aplicables a todo tipo de maquinaria para su respectivo monitoreo y diagnóstico de condición de máquinas.

Para la aplicación de esta norma se requiere la utilización de la técnica VOSO (ver, oír, sentir y oler), la cual utiliza las habilidades del personal técnico asignado y no incurre en costos adicionales. Implementado de forma diaria, se puede monitorear y diagnosticar de forma preventiva y oportuna condiciones anormales de los equipos.

Adicionalmente con el uso de dispositivos tecnológicos se puede desarrollar acciones de monitoreo de “variables físicas que son indicadores de la condición del activo” (Altman, 2005, p. 2). Algunas de estas variables son: ruidos, consumo de corriente, temperatura, vibraciones, ruidos, entre otros. Así también, los propios equipos proporcionan datos específicos, para ello es muy importante que el personal técnico a cargo esté capacitado y calificado para la correcta gestión de mantenimiento, por ejemplo: ultrasonidos, lubricantes, análisis de vibraciones, ensayos no destructivos (END), entre otros que le permitan registrar, interpretar y aplicar correctamente el mantenimiento predictivo, como una nueva forma de administración para el logro de resultados.

7.8.2. ASME B30 – American Society of Mechanical Engineers

ASME es una entidad internacional que ha producido alrededor de 600 códigos y normas especializada en el sector industrial, especialmente calderas, máquinas herramientas, elevadores, tuberías de presión, herramientas manuales, grúas, elementos de sujeción, equipos de bioprocesos, así como la verificación y validación del modelado y la simulación computacional.

ASME B30 proporciona directrices, procedimientos y prácticas recomendadas para el diseño, el funcionamiento, el mantenimiento y la prueba de equipos y sistemas. En Guatemala no existe alguna institución que regule estos equipos o la operación de los mismos, por tal motivo se aplica ASME B30,

Normas de Seguridad para cable-rieles, grúas, derricks, elevadores, ganchos, gatos y eslingas.

Son importantes las Normas y la Certificación ASME porque ayudan a mejorar los estándares de seguridad del personal (integridad) y físicas del equipo. Es importante su aplicación, más no obligatorio. Los equipos deben de contar con estándares garantizados por sus proveedores, brindar los lineamientos a los fabricantes, empresarios, usuarios y demás involucrados de forma directa o indirecta en la implementación.

Para la seguridad en la ejecución del mantenimiento del monitoreo de condiciones, por parte de los técnicos especialista, y dentro de la operación rutinaria del operador gruista, dentro de ASME B30 se pueden encontrar las siguientes normas aplicables:

- Grúas torre para construcción ASME B30.3
- Grúas móviles y sobre rieles ASME B30.5
- Eslingas ASME B30.9
- Ganchos ASME B30.10

7.9. Aspectos de seguridad

Las condiciones de seguridad en la operación de una torre grúa depende del estado de la instalación y mantenimiento como el buen manejo de las mismas, responsabilizando a los técnicos, operarios, es por ello que es muy importante cumplir con algunas normas de seguridad relacionadas directamente con los sistemas automatizados de seguridad que contiene la torre grúa, aplicando el buen mantenimiento en cada uno de sus elementos, en las condiciones de operativas en el sitio de trabajo y con las personas involucradas.

Generalmente los accidentes son producidos por acciones inoportunas, imprudentes o la falta de conocimiento de las personas que participan en su montaje, mantenimiento o en la operación. Es fundamental tener un procedimiento de inspecciones rutinarias y un plan de mantenimiento preventivo, por si se produce cualquier accidente, afectando considerablemente la disponibilidad de las torres grúas en las obras donde se utilizan.

Es aconsejable que las inspecciones rutinarias se ejecuten periódicamente por personal autorizado, sea el operador gruista o un supervisor, antes de comenzar las actividades de trabajo programadas. Las inspecciones deben ser en forma exhaustiva, con el objetivo de encontrar fallas en los equipos más visibles.

7.9.1. Legislación Nacional, Acuerdo Gubernativo 229-2014

Actualmente en la legislación guatemalteca establece normas generales para Grúas en el Acuerdo Gubernativo 229-2014 dentro del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional con el fin que los patronos (sector privado y público) aseguren las condiciones laborales de los colaboradores para que ejecuten sus labores y protejan su integridad en cualquier sector (comercial, industrial, agrícola, entre otros.)

Se obliga a los patronos a aplicar las medidas SSO en todas las áreas, equipos, personal, maquinaria, instalaciones, operaciones, procesos, mantenimiento, capacitación, uniformes, implementación de certificaciones internacionales, entre otros. Indican las obligaciones por parte de los colaboradores y para ambos (patronos y colaboradores) también establece prohibiciones y sanciones (Título I: Capítulos II, III y IV).

Las instituciones que legalmente velan por el control y vigilancia de su cumplimiento son: Ministerio de Trabajo y Previsión Social –MINTRAB- y el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social –IGSS, a través de sus diferentes dependencias asignadas para tal efecto.

Tabla II. Dependencias del estado

Abreviaturas	Definiciones
CONASSO	Consejo Nacional de Salud, Higiene y Seguridad Ocupacional
SSO	Salud y Seguridad Ocupacional
MINTRAB	Ministerio de Trabajo y Previsión Social
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social
MINSALUD	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Lugar de trabajo	Áreas, centros, locales, edificios, instalaciones edificadas o no, donde las personas permanecen o deben acceder para realizar su trabajo
Patrono	Toda persona individual o jurídica que utiliza los servicios de uno o más trabajadores
Trabajador	Toda persona individual que presta a un patrono sus servicios materiales, intelectuales o de ambos géneros
Monitor de Salud y Seguridad Ocupacional	Persona encargada de la gestión de prevención de riesgos laborales en los lugares de trabajo
VIH/SIDA	Virus de la Inmunodeficiencia Humana / Síndrome de la Inmunodeficiencia Adquirida
Actividades de alta peligrosidad	Aquellos actos con el potencial de generar un daño severo o permanente en término de lesión o enfermedad, o en una combinación de estas al trabajador

Fuente: Acuerdo Gubernativo 229-2014. *Legislación Nacional*.

En este acuerdo establecen las condiciones mínimas de SSO que deben aplicarse en los diferentes ambientes de trabajo, tales como: Edificios, pasillos, locales, iluminación, techos, paredes, puertas, entradas, salidas, escaleras fijas, escaleras de mano, emergencia y de servicio, barandillas, mobiliarios, equipos, maquinaria, almacenamientos, andamios, cableados, entre otros.

Dentro Acuerdo Gubernativo 229-2014, en el Título VIII, Capítulo I, Trabajo de construcción y similares. Plan de seguridad e higiene en el Artículo 417 relata consideraciones en cuanto a aparatos de elevación. En el Artículo 418 prohíbe la circulación de personas bajo cargas que estén suspendidas o estén siendo transportadas. Posteriormente están los Artículos 419 y 420 indica la obligación que el operador esté capacitado y que para la manipulación de la misma se debe de contar con información de la maquinaria en idioma español.

Del Artículo 434 al 439 brinda especificaciones sobre la inspección y mantenimiento de máquinas. Para ello el operador y/o la persona encargada debe realizar periódicamente las inspecciones y servicios pertinentes contando con la protección, herramientas y repuestos necesarios. Asegurar el paro del funcionamiento mientras no esté en óptimas condiciones y también exige que todo personal que maniobre (operador) tenga los implementos necesarios de protección para ejecutar sus labores.

Dentro del Título VIII, Capítulo III, Elevación y transporte construcción de los aparatos y mecanismos, el Artículo 472 requiere que todo lo relacionado a las estructuras, elementos, accesorios de los aparatos para izar, deben estar bien armados, con buenos materiales, sólidos y resistentes sobre una base firme. La responsabilidad recae sobre el instalador por su montaje y el fabricante la idoneidad de su construcción. Los Artículos 473 y 474 indican que las cargas máximas deben ser acorde a las especificaciones indicadas en cada aparato e indicadas en forma legible. Únicamente se tendrá una sobre carga cuando sean pruebas de resistencia, pero para realizarlas deben acondicionar y tener las máximas garantías de seguridad.

En esta sección también hace referencia sobre la Manipulación de las cargas (Artículo del 475 al 485) inician brindando las instrucciones previas para

izar, alturas de ajuste, la preferencia de la alineación vertical, las prohibiciones, las consideraciones de cargas peligrosas, no dejar cargas suspendidas, el manejo sin carga y sus consideraciones para que el gancho esté a una altura que no represente peligro para el personal. La importancia de un buen ajuste y apilamiento de la carga, la necesidad de requerir uno o varios señaladores como apoyo al operador gruista cuando su visibilidad sea complicada.

La Revisión y Mantenimiento se describe en los Artículos 486 al 488. Indica que las revisiones deben hacerse de forma diaria y trimestralmente, llevando una bitácora de mantenimiento y cuando son maquinarias nuevas, previamente deben ser revisadas y probadas antes de uso regular. También especifica sobre los frenos, descrito en los Artículos 489 y 490, para la maquinaria especializada en izaje y levantamiento de carga es fundamental contar con un sistema de freno en óptimo estado y acorde a los pesos que se suspenderán no sobrepasando su límite de carga. Como medida de seguridad el freno debe de contener sensores limitadores que al detectar un sobre límite de velocidad o carga se desactive el izaje como medida de seguridad para el operador y el equipo.

Artículos del 492 al 496. Grúas – Normas Generales. En esta sección establecen la cantidad de elementos con los cuales se deben constituir y montar acorde a la carga. Considerar factores de presión de viento, anclajes, macizos de hormigón o tirantes metálicos, cuando la maquinaria es montada en el exterior. Las grúas deben tener topes de seguridad. Consideraciones para la construcción de las cabinas en la cual predomine la visibilidad y ventilación del maquinista.

También cabe mencionar los Artículos 501 al 504 que hacen referencia a cables, cuerdas, poleas y ganchos. Para los cables, reglamenta 6 elementos mínimos requeridos para que se cumpla con la seguridad. Sobre las cuerdas para

suspender la carga, se establece un coeficiente de seguridad de 10, evitar su utilización en superficies ásperas, rugosas o con filo a manera que puedan causar daño a no ser que estén debidamente protegidas. Su almacenamiento debe ser en un lugar seguro, sin nudos, ni ambientes húmedos. Con las poleas indican que la guía de las poleas debe adecuarse a las dimensiones de las cuerdas para su deslizamiento. Finaliza con el Artículo 504 haciendo mención que los ganchos que se utilicen sean de acero o hierro forjado, deben contar con dispositivos de seguridad para evitar que la carga se salga y por seguridad que sean éstas sean redondeadas.

7.9.2. Normas generales

- Carga de maniobra, es necesario e imprescindible saber de forma exacta la cantidad, peso y el tamaño de material a izar.
- Si se carece del detalle del peso y cantidad de material, se deberá hacer las conversiones necesarias para tener registro y el dato más exacto.
- Capacitar al personal (supervisores, señalero y gruista) sobre las reglas elementales de las técnicas de suspensión seguras para que puedan ejecutar las maniobras de cargas suspendidas de forma segura y sin riesgos.
- Es importante saber con exactitud la capacidad de levante del equipo mecánico que realizará la maniobra.
- Para el uso del equipo mecánico de elevación, se debe saber, verificar y adecuar la velocidad del equipo acorde a la maniobra requerida.
- También es importante conocer las técnicas de levante de cargas, la capacidad y fragilidad acorde a la naturaleza de la o de las bridas utilizadas.
- El material a elevarse debe analizarse si conlleva un riesgo intrínseco, así como su nivel de fragilidad.

- El operador de la grúa, al empezar la maniobra de elevación de la carga, debe cerciorarse de lo siguiente:
 - Carga estable y equilibrada, sobre un espacio firme, nivelado, previamente despejado y libre de personas. No solamente por el riesgo que representa de imprevistos, sino también por los golpes dinámicos u efectos de péndulo inesperados por cambios o giros improvisados.
 - Si el grado de fijación no es adecuado se corre el riesgo de un probable deslizamiento de la carga.
 - El ángulo máximo de seguridad que se forma entre uniones ubicadas cuando el gancho está suspendido.

7.9.3. Señales de operación para una torre grúa

Es importante utilizar las señales de operación cuando el área donde trabajará el operador excede fuera de su campo de visión o la visibilidad esté compleja por factores externos. Este apoyo debe de estar a cargo de un agente de movilidad (señalero, aparejador o *rigger*) debidamente identificado y sobre todo saber las maniobras de estibado¹³, capacidad de la grúa torre, normas de seguridad, código de señales, interpretar las condiciones climáticas acorde a maquinaria y material de carga, entre otros.

El aparejador debe ser un especialista, sirve de apoyo y sobre todo guía al operador ya sea por medio de señales, por radio o móvil. Es importante la buena comunicación visual y verbal entre ambos, así como el conocimiento en común de las normas y consideraciones específicas para brindarle la asesoría correcta, por ejemplo: cálculos de izaje, maniobras, puntos ciegos, descripción

de espacios y personal que están dentro del área de intervención. Con el objetivo de realizar las maniobras con éxito, de forma segura y eficiente sin riesgos.

A continuación, se describen algunas señales que el aparejador utiliza con el operador:

Figura 24. **Código de señales entre operador y aparejador (a)**



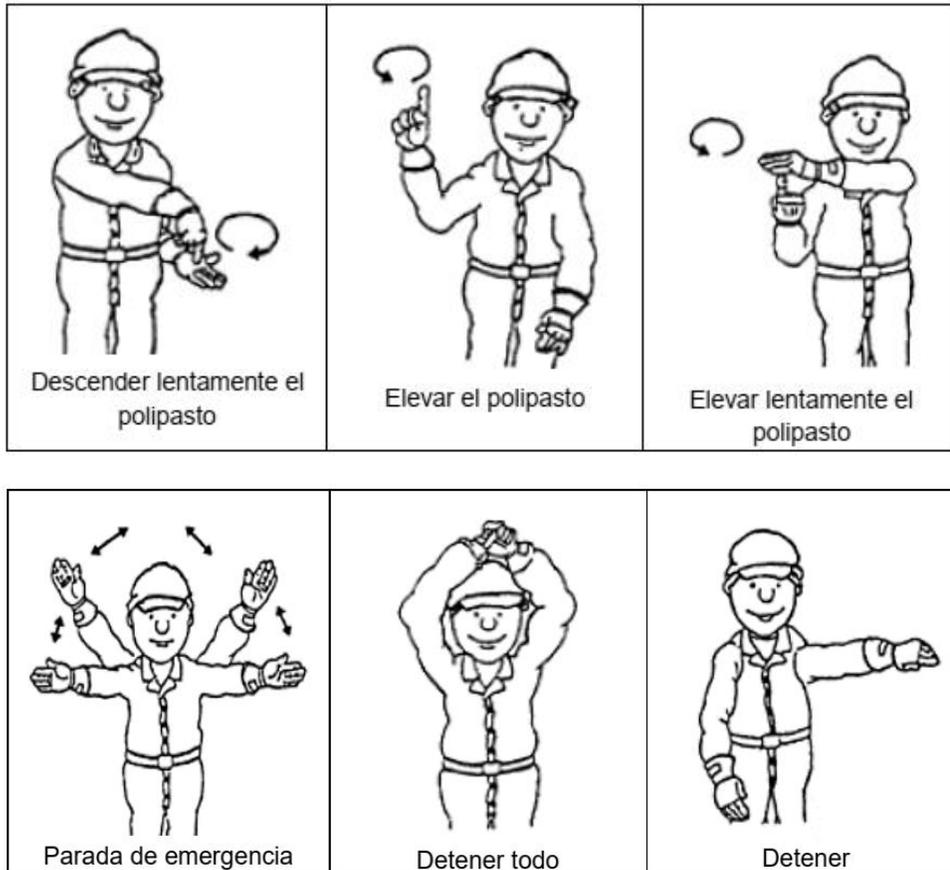
Fuente: Jiménez (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torres en obras de construcción*. Consultado el 1 de mayo de 2022. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Figura 25. Código de señales entre operador y aparejador (b)

 <p>Bajar la pluma</p>	 <p>Bajar la pluma lentamente</p>	 <p>Levantarse el brazo y bajar la carga</p>
 <p>Bajar el brazo y elevar la carga</p>	 <p>Extender la pluma</p>	 <p>Retraer la pluma</p>
 <p>Usar el polipastos principal</p>	 <p>Usar el polipastos auxiliar</p>	 <p>Descender el polipastos</p>

Fuente: Jiménez (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torres en obras de construcción*. Consultado el 1 de mayo de 2022. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Figura 26. **Código de señales entre operador y aparejador (c)**



Fuente: Jiménez (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torres en obras de construcción*. Consultado el 1 de mayo de 2022. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Torre Grúa

1.1.1. Definición de torre grúa

1.2. Clasificación de torre grúas

1.2.1. Tipo fija o tipo estacionaria

1.2.2. Tipo desplazable en servicio

1.2.3. Tipo desmontable

1.2.4. Tipo auto desplegable

1.2.5. Tipo trepadora

1.2.6. Tipo arriestrada

1.2.7. Tipo de pluma articulada

1.2.8. Tipo de pluma abatible

1.3. Partes de una torre grúa

1.3.1. Torre

1.3.2. Pluma o flecha

- 1.3.3. Contra-pluma (flecha)
- 1.3.4. Porta-flecha
- 1.3.5. Contra-peso
- 1.3.6. Soporte giratorio a plataforma
- 1.4. Sistemas mecánicos de una torre grúa
 - 1.4.1. Sistema mecánico de elevación
 - 1.4.2. Sistema mecánico de giro
 - 1.4.3. Sistema mecánico carro de traslación
 - 1.4.4. Sistema mecánico de frenado
 - 1.4.4.1. Freno tipo cinta
 - 1.4.4.2. Freno tipo mordazas
 - 1.4.4.3. Freno tipo disco
 - 1.4.4.4. Freno tipo cónico
- 1.5. Mantenimiento
- 1.6. El mantenimiento y su evolución
- 1.7. Tipos de mantenimiento
 - 1.7.1. Clasificación de mantenimiento
 - 1.7.2. Mantenimiento correctivo
 - 1.7.3. Mantenimiento preventivo
 - 1.7.4. Mantenimiento predictivo
 - 1.7.5. Mantenimiento basado en la condición
 - 1.7.5.1. Recolección de datos.
 - 1.7.5.2. Análisis de datos.
 - 1.7.5.3. Toma de decisiones
 - 1.7.5.4. Objetivo del mantenimiento basado en condiciones
 - 1.7.5.5. Técnicas para monitoreo de condiciones
- 1.8. Normas aplicables

- 1.8.1. ISO 17359 – monitoreo y diagnóstico de Condición de máquinas
 - 1.8.2. ASME B30 – American Society of Mechanical Engineers
- 1.9. Aspectos de seguridad
 - 1.9.1. Legislación Nacional, Acuerdo Gubernativo 229-2014
 - 1.9.2. Normas generales
 - 1.9.3. Señales de operación para una torre grúa
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de investigación

El estudio a realizar es de tipo no experimental ya que las variables no serán manipuladas para obtener la información necesaria. En la torre grúa marca Zoomlion se analizarán las variables: temperatura, voltaje, amperaje y análisis de ruidos.

9.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio a realizar es cuantitativo ya que en la investigación se recopilarán datos para poder realizar un análisis, anotándolos en registros para ciertas variables obteniendo una tendencia de parámetros usando la técnica de ensayos no destructivos.

9.3. Alcance de investigación

El alcance de investigación a realizar es descriptivo ya que la toma de datos se tomará en campo en los diferentes equipos que componen la torre grúa marca Zoomlion.

El objetivo del alcance de la investigación es proponer un plan de monitoreo de condiciones utilizando técnicas END para tener una buena capacidad de detección de fallas, anticipándolas o reduciendo las consecuencias de dichas fallas.

9.4. Variables e indicadores

Las variables y los indicadores de estudio se muestran en la tabla siguiente:

Tabla III. **Variables e indicadores**

Variables	Indicadores	Tipo
Consumo eléctrico	Motor mecanismo de elevación	Cuantitativo
Temperatura		Cuantitativo
Aislamiento		Cuantitativo
Arranque de equipo		Cuantitativo
Consumo eléctrico	Motor mecanismo de carro	Cuantitativo
Temperatura		Cuantitativo
Aislamiento		Cuantitativo
Arranque de equipo		Cuantitativo
Consumo eléctrico	Motores mecanismo de giro	Cuantitativo
Temperatura		Cuantitativo
Aislamiento		Cuantitativo
Arranque de equipo		Cuantitativo
Consumo eléctrico	Subestación de alimentación	Cuantitativo
Temperatura		Cuantitativo
Conexiones		Cuantitativo
Estado de relevadores		Cuantitativo
Temperatura	Panel de mandos	Cuantitativo
Estado físico		Cuantitativo
Tiempo de disponibilidad		Cuantitativo

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

9.5. Fases de investigación

- Fase 1. Revisión documental

Previo a realizar la investigación, se realizará una investigación documental sobre los conceptos, teorías e investigaciones que se han realizado previamente y se relacionan con la investigación propuesta. En ella se ampliará el concepto del mantenimiento basado en el monitoreo de condiciones, la metodología que utiliza este mantenimiento es la aplicación de ensayos no destructivos a los equipos que conforman la torre grúa marca Zoomlion.

- Fase 2. Recopilación de información

En esta fase se realizará una visita a campo para obtener la información base necesaria para elaborar la investigación. Con base a la información obtenida, se generarán las tendencias que diagnostiquen la situación a la fecha de investigación, conociendo si los parámetros de trabajo son los adecuados para el correcto funcionamiento de la torre grúa marca Zoomlion. La recopilación de información se realizará mediante las tablas indicadas en el apéndice.

- Fase 3. Trabajo de gabinete

Tras la toma de mediciones de operación de los componentes de la grúa torre marca Zoomlion. Con el análisis de las variables mediante un diagrama causa y efecto se hará un plan de monitoreo de condiciones.

- Fase 4. Presentación y discusión de resultados

Establecer las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento, mediante rutinas de inspección de los equipos y así obtener la información necesaria para el monitoreo de la condición de los equipos de la torre grúa Zoomlion.

9.6. Muestreo

No se realizará muestreo ya que se utilizara la totalidad de población de torre grúa en una planta dedicada a la fabricación y montaje de estructura de acero ubicada en Amatlán.

9.7. Resultados esperados

Los resultados esperados después de la investigación son: un plan de monitoreo de condiciones, guías de rutinas de inspección para los equipos y guías de medición para personal técnico de mantenimiento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Dentro de las técnicas del análisis de la información, se recopilará la información de los reportes del departamento de montaje para realizar un análisis de los kilos montados del activo bajo estudio. Se tabulará la información de las variables a medir a través de las técnicas de mantenimiento predictivo. Posterior se podrá analizar y crear una proyección de las variables de control. Esto será de gran utilidad al investigador para revisar las características y las tendencias de las variables en el pasado y así poder definir su proyección en el futuro.

Se identificarán las unidades de texto u observación, tales como procedimientos empíricos, criterios, ideas, requisitos de seguridad ocupacional, programas de operación, normas nacionales como internacionales y su aplicación para la codificación y clasificación que ayudarán a la elaboración de tablas como medio de ayuda para definir variables de criticidad en cada uno de los equipos según frecuencias de fallo. Las tablas de análisis de frecuencia a realizar serán comparadas con modelos teóricos y normativas para su respectiva validación y así poder usarlas en la propuesta en el plan de monitoreo de condiciones de la torre grúa Zoomlion.

A través de graficas se relacionarán las diversas variables medidas para obtener una idea global de los resultados, disponiendo de la información presentada que será de mucha ayuda para el investigador y el dueño del proceso de montaje ya que de esta forma se podrán analizar la relación de todas las variables, por ejemplo: disponibilidad de equipo, desgaste de componentes, el cual permitirá de forma oportuna el cambio de los equipos bajo análisis de tal forma que se obtenga el mayor rendimiento del activo.

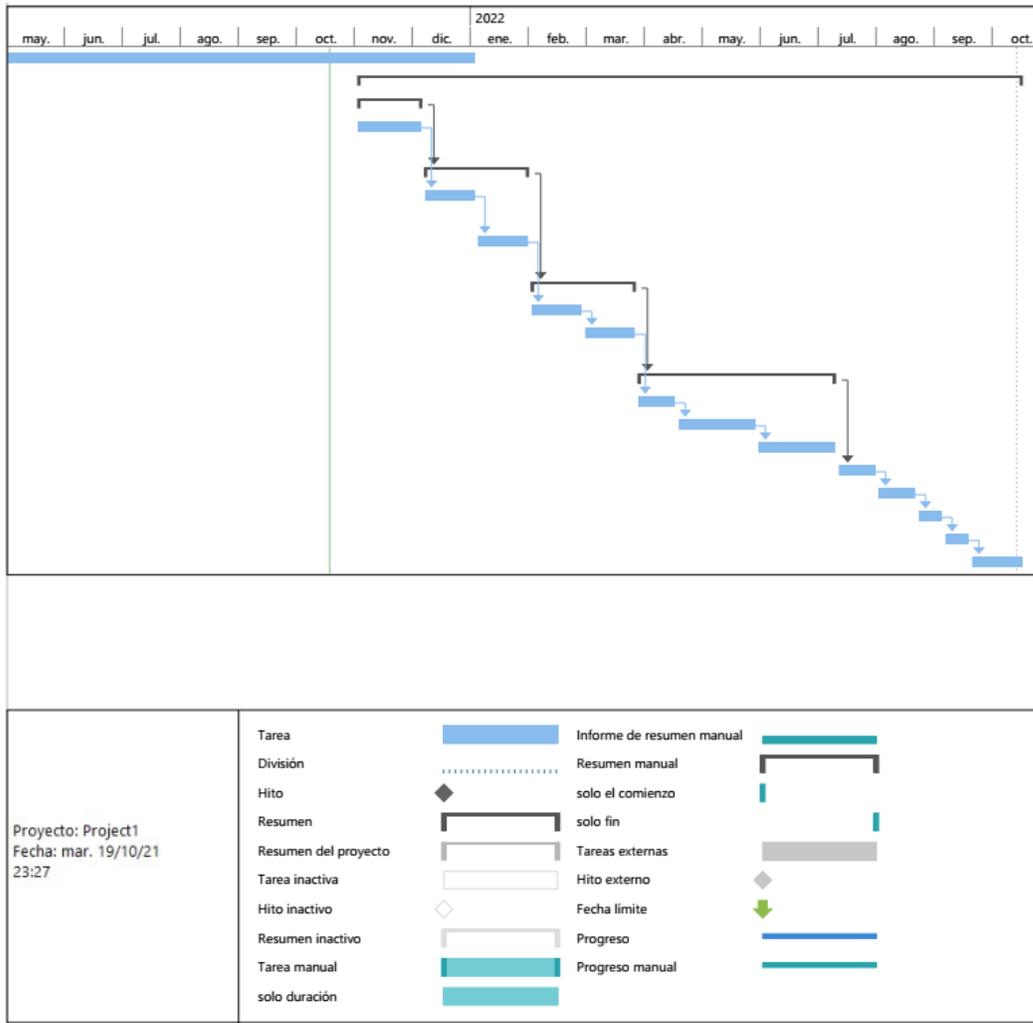
11. CRONOGRAMA

Tabla IV. Cronograma de actividades

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Aprobación del protocolo	210 días	lun. 15/03/21 9:00	vie. 31/12/21 19:00
2	Desarrollo del trabajo de graduación	250 días	lun. 1/11/21 9:00	vie. 14/10/22 19:00
3	Fase 1: Revisión documental	25 días	lun. 1/11/21 9:00	vie. 3/12/21 19:00
4	Enriquecer Marco teórico con información	25 días	lun. 1/11/21 9:00	vie. 3/12/21 19:00
5	Fase 2: Recopilación de información	40 días	lun. 6/12/21 9:00	vie. 28/01/22 19:00
6	Visita a campo para recopilar información	20 días	lun. 6/12/21 9:00	vie. 31/12/21 19:00
7	Elaboración de tablas de tendencia de	20 días	lun. 3/01/22 9:00	vie. 28/01/22 19:00
8	Fase 3: Trabajo de gabinete	40 días	lun. 31/01/22 9:00	vie. 25/03/22 19:00
9	Elaboración de diagrama causa y efecto	20 días	lun. 31/01/22 9:00	vie. 25/02/22 19:00
10	Elaboración de plan de monitoreo de	20 días	lun. 28/02/22 9:00	vie. 25/03/22 19:00
11	Fase 4: Presentación y discusión de resultados	75 días	lun. 28/03/22 9:00	vie. 8/07/22 19:00
12	Revisión de la información	15 días	lun. 28/03/22 9:00	vie. 15/04/22 19:00
13	Propuesta de rutinas de inspección	30 días	lun. 18/04/22 9:00	vie. 27/05/22 19:00
14	Preparación de informe preliminar	30 días	lun. 30/05/22 9:00	vie. 8/07/22 19:00
15	Presentación de resultados	15 días	lun. 11/07/22 9:00	vie. 29/07/22 19:00
16	Discusión de resultados	15 días	lun. 1/08/22 9:00	vie. 19/08/22 19:00
17	Redacción de conclusiones	10 días	lun. 22/08/22 9:00	vie. 2/09/22 19:00
18	Redacción de recomendaciones	10 días	lun. 5/09/22 9:00	vie. 16/09/22 19:00
19	Redacción de informe final	20 días	lun. 19/09/22 9:00	vie. 14/10/22 19:00



Continuación de la tabla IV.



Fuente: elaboración propia, realizado con Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS

En este estudio de investigación, es necesario que la empresa de montaje de estructuras metálicas, que será beneficiada con los resultados de la investigación, brinde las autorizaciones necesarias para el ingreso, movilización dentro de las instalaciones de la planta, acceso y manejo de información técnica confidencial, recursos económicos, recursos humanos y acceso a los equipos que serán parte del plan de monitoreo de condiciones.

Dentro el financiamiento económico para el desarrollo de la investigación se tiene contemplado los gastos de honorarios del asesor de este trabajo de investigación, el cual será cubierto por el investigador. Los recursos necesarios serán costeados por parte de la empresa de montaje de estructuras metálicas. Se detallan a continuación otros recursos que están involucrados, los cuales la empresa beneficiada por la investigación absorberá.

Como recurso humano se requiere que durante las inspecciones END, rutinas de mantenimiento, mediciones de parámetros, el llenar debidamente los formatos para el monitoreo de condición, se necesita al operador de la torre grúa, el mecánico y el eléctrico que son los encargados de la realización del mantenimiento de la torre grúa Zoomlion.

Con el manejo de información, análisis de datos, interpretación de resultados como redacción del informe final será necesario lo siguiente: equipo de computación, termómetro de infrarrojos, pinzas amperimétricas, medidor de aislamiento y multímetro. La empresa cubrirá los gastos de recurso humano antes descritos.

Tabla V. **Presupuesto de la investigación**

Recurso material y tecnológico de la investigación				
No.	Descripción	Unidad	Costo (Q)	
1	Multímetro	Global	Q1,872.75	
2	Amperímetro	Global	Q5,750.00	
3	Medidor de Aislamiento	Global	Q7,456.00	
4	Termómetro de infrarrojos	Global	Q1,370.00	
	Subtotal		Q16,448.75	
Recurso Humano				
No.	Descripción	Horas	Costo	Costo
1	Asesor de investigación	100	Q75.00	Q7,500.00
2	Técnico mecánico	125	Q23.00	Q2,875.00
3	Técnico eléctrico	125	Q20.00	Q5,000.00
4	Operador de torre grúa	125	Q25.00	Q6,250.00
	Subtotal			Q21,625.00
Resumen				
1	Recurso material y tecnológico de la investigación			Q16,448.75
2	Recurso Humano			Q21,625.00
	TOTAL			Q38,073.75

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

REFERENCIAS

1. Acevedo, A. M. (2012). *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo*. (Tesis de Maestría), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de [http://oilproduction.net/files/Mantenimiento%20Basado%20en%20Condicin%20\(MBC\).pdf](http://oilproduction.net/files/Mantenimiento%20Basado%20en%20Condicin%20(MBC).pdf).
2. Calderón, J., & Scarpati, G. (2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación a la industria. *Revista Campus*, 23(25), 59-65.
3. Camacho, J., Orquera, G. (2021). Algoritmo para priorizar la planificación de mantenimiento en alimentadores de distribución de energía eléctrica basado en condiciones de confiabilidad. *Revista Ciencia UNEMII*, 14(36), 58-72.
4. Cárcel, J. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. Mexico: Alfayomega. doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms>.
5. Cartes, M. (2004). *Grúas Torre*. (Tesis de licenciatura). Universidad Austral de Chile, Chile. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7030708/gruas-torre---tesis-electr%C3%B3nicas-uach>.

6. Cortadi, A. (2016). *Grúa Torre desmontable con brazo horizontal giratorio*. (Tesis de licenciatura). Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao, Bilbao, España. Recuperado de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18378/7.%20ESTUDIO%20CON%20ENTIDAD%20PROPIA.pdf;jsessionid=D67CBECF1DA2E6A9285A6C78152645D9?sequence=7>.
7. Grijalva, L. (2004). *Manual de operación, diseño y propuesta de implementación del programa de monitoreo de condición en la planta San Miguel de Cementos Progreso, S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0482_M.pdf.
8. Jiménez, E. (2017). *Aspectos generales sobre el montaje, instalación y operación de grúas torre en obras de construcción* (Tesis de Maestría) Universidad Nacional Autónoma de México, México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13965/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
9. Jiménez, L. (2009). *Operador de grúas torre*. Barcelona, España: ceac.
10. Knezevic, J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid, España: Isdefe.
11. Martínez, L. (2014). *Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional*. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51759/98512103.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

12. Martínez, R. (2007). *Organización y planificación de sistemas de mantenimiento*. Caracas, Venezuela: Centro de Estudios Gerenciales ISID.
13. Monserrat, O. (2017). *Diseño de una grúa torre*. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Catalunya, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105737/VOLU%20MEN%20MEMORIA.pdf>.
14. Morales, J., Ramírez, J., García, E., Cervantes, J., Bolaños, G., Guzmán, M., Rodríguez, J., (noviembre, 2018). Implementación del mantenimiento predictivo basado en el análisis de ensayos no destructivos. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*. Congreso llevado a cabo en Celaya, Guanajuato, México.
15. Moreno, D. (2021). *Digitalización y Mantenimiento predictivo en Grúas Torre*. (Tesis de Maestría). Universidad Internacional de La Rioja, La Rioja, España. Recuperado de https://alojawebapps.us.es/fichape/Doc/MV/M209_memverif.pdf.
16. Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (19 de octubre de 2012). Condition based maintenance: a survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 384-400.
17. Pesántez, A. (2007). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso*

productivo de una empresa empaedora de camarón. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13353>.

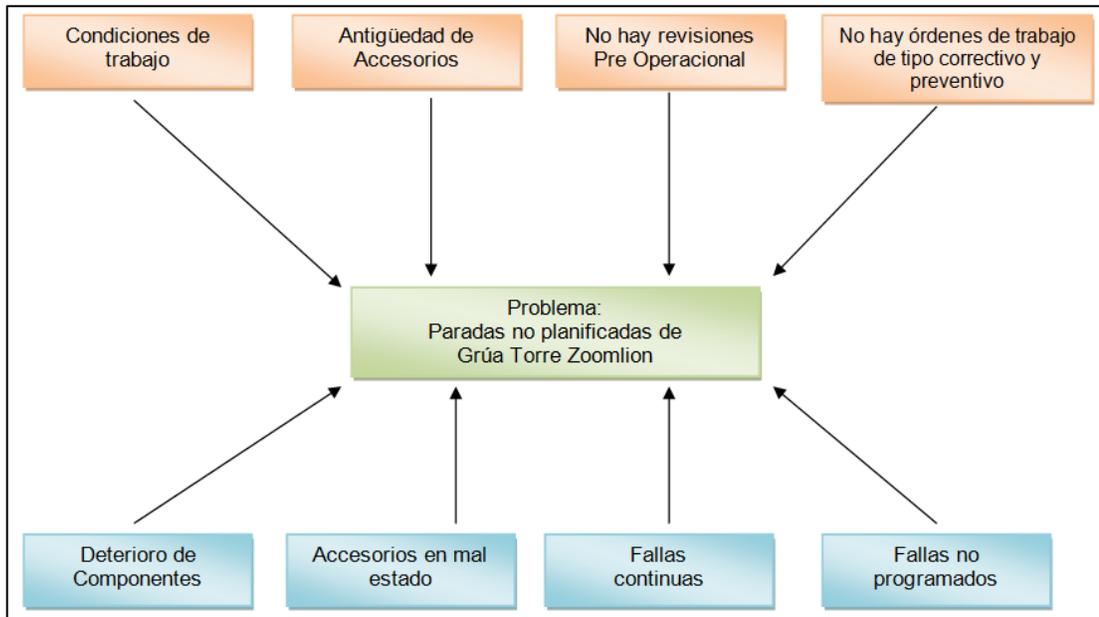
18. Pingon Servicios (2011). Manual del operador gruista. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/320946196/Manual-de-Operador-Gruista-01-Pingon>.
19. Rodríguez, A. (2003). *Mantenimiento asistido por computadora*. La Habana, Cuba: Cujae.
20. Rodríguez, E.; Miguel, A.; Sánchez, M. (2001). Gestión de mantenimiento para equipos médicos. *II Congreso Latinoamericano de Bioingeniería*. La Habana, Cuba.
21. Ruiz, A. (2012). *Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo*. (Tesis de Maestría). Universidad Industrial de Santander, Colombia. Recuperado de https://www.academia.edu/7426280/Modelo_de_implementacion_de_mantenimiento_predictivo_en_las_facilidades_de_produccion_de_petroleo.
22. Saul, T. Q. (2019). *Plan estratégico basado en el balanced score card para mejorar la disponibilidad de las torres grúa potain en proyectos de construcción*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12086/UPtique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

23. Villa, L. (2011). *Mantenimiento predictivo aplicado a máquinas sometidas a velocidad y carga variables mediante análisis de órdenes*. (Tesis de doctorado). Universidad de Valladolid, España. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/928>.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio.

Apéndice 2. **Matriz de coherencia**

Plan de monitoreo de condiciones con Técnicas End bajo la Norma ISO 17359 para una torre grúa marca Zoomlion

Objetivo general

Proponer un plan de monitoreo de condiciones con técnicas END bajo la norma ISO 17359 para una Torre Grúa Zoomlion ubicada en el municipio de Amatitlán.

¿Qué técnicas END se pueden utilizar para un adecuado monitoreo de condiciones de operación de la Torre Grúa Zoomlion utilizada en el municipio de Amatitlán?

	Objetivo específico	Pregunta de investigación	Indicadores
1	Determinar las condiciones de operación de la Torre Grúa Zoomlion a la fecha de investigación.	¿Cuál es la condición de operación de la Torre Grúa Zoomlion a la fecha de investigación?	Tiempo de Disponibilidad, voltajes erróneos, no accionamiento de arranque
2	Establecer las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento de la Torre Grúa Zoomlion.	¿Cuáles son las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento de la Torre Grúa Zoomlion?	Medición de voltajes correctos, condición de accionamiento de arranque, PLC con alarma activada, condición de disyuntores, condición de contactores.
3	Determinar la estrategia para mantener la Torre Grúa Zoomlion en condiciones adecuadas de operación.	¿Qué estrategia puede diseñarse para mantener las condiciones adecuadas de operación de la Torre Grúa Zoomlion?	Consumo de energía, temperaturas promedio, rutina de inspección

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.