

Osman Leonel Cardoza Castillo

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA GRÚA PÓRTICO  
(RTG) EN EMPRESA APM TERMINALS, SAN JOSÉ, ESCUINTLA.



Asesor General Metodológico:  
Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2022

Informe final de graduación

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA GRÚA PÓRTICO  
(RTG) EN EMPRESA APM TERMINALS, SAN JOSÉ, ESCUINTLA.



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Osman Leonel Cardoza Castillo

En el acto de investidura previo a su graduación como  
Ingeniero Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2022

Informe final de graduación

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA GRÚA PÓRTICO  
(RTG) EN EMPRESA APM TERMINALS, SAN JOSÉ, ESCUINTLA.



Rector de la universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad:

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería:

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2022

Esta tesis fue presentada por el autor, previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables.

**F-03-11-2021-05**

UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA

PROGRAMA DE GRADUACIÓN

Experto Metodológico

ACUERDO DE ASIGNACIÓN DE PUNTEO

**ACUERDO NÚMERO: 22.12.2021.211**

El Evaluador Final del Trabajo de Graduación de la  
Universidad Rural de Guatemala,

CONSIDERANDO:

Que el Metodólogo en Investigación Científica, ha dado su aprobación preliminar al trabajo de graduación que se especifica en el cuerpo de este instrumento y me ha informado que el documento de mérito cumple con las normas preestablecidas para otorgar título y el grado académico al titular que formuló el mismo; de lo cual deviene procedente asignarle la puntuación correspondiente.

POR TANTO:

Con base a lo establecido en los Artículos 28 y 31 de los estatutos de la Universidad Rural de Guatemala y el Artículo 28 del Reglamento General de los mismos y demás normativa aplicable,

ACUERDA:

Emitir el Acuerdo de Asignación de Punteo al Trabajo de Graduación de mérito, de la manera siguiente:

1. Asignar setenta y cinco (75) sobre la base de aprobación de puntos, sobre la base de cien sobre cien (100/100) al trabajo de graduación denominado: PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA GRÚA PÓRTICO (RTG) EN EMPRESA APM TERMINALS, SAN JOSÉ, ESCUINTLA.; formulado por Osman Leonel Cardoza Castillo, titular del carné 11-018-0185; inscrito en la Facultad de Ingeniería, de ésta universidad.
2. Se ordena imprimir el trabajo de graduación que se especifica en el punto anterior.
3. Trasladar tres copias físicas y un archivo digital del trabajo de graduación a la Presidencia del Consejo Académico, para los efectos subsiguientes.
4. Notifíquese.

Dado en la ciudad de Guatemala el 22 de diciembre de 2021.



Ing. Amb. Pablo Ismael Carbajal Estevez

Experto Metodológico

**Pablo Ismael Carbajal Estevez**

**Ingeniero Ambiental**

**Colgado No. 6,493**

F-14-04-2020-14  
UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA  
PROGRAMA DE GRADUACIÓN  
Asesoría de tesis  
ACUERDO DE APROBACIÓN PRELIMINAR DE TESIS



El Asesor en Metodología del Programa de Graduación de la  
Universidad Rural de Guatemala,

**CONSIDERANDO:**

Que he asesorado y firmado el trabajo de graduación que se especifica en el cuerpo de este instrumento; y siendo que a mi criterio dicho documento de mérito cumple con las normas preestablecidas para otorgar título y el grado académico a quien formuló el mismo.

**POR TANTO:**

Con base a lo establecido en los Artículos 28 y 31 de los estatutos de la Universidad Rural de Guatemala y el Artículo 28 del Reglamento General de los mismos y demás normativas aplicables,

**ACUERDA:**

Emitir el Acuerdo de Aprobación Preliminar de Trabajo de Graduación, de la manera siguiente:

1. Aprobar en forma preliminar el trabajo de graduación denominado: Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla., formulado por Osman Leonel Cardoza Castillo titular del carné 11-018-0185; inscrito en la Facultad de Ingeniería de esta Universidad.
2. Trasladar el expediente al Experto Metodólogo designado para que le confiera la calificación de acuerdo a los criterios técnicos que considere convenientes
3. Notifíquese.

Dado en la ciudad de Guatemala el 16 de diciembre de 2020

Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda  
Metodólogo

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Pablo Gramajo Pineda', is written over a circular stamp.

ING AGR. JUAN PABLO  
GRAMAJO PINEDA  
Col. 7.203



F-18-06-2018-01  
Universidad Rural de Guatemala  
Programa de Graduación  
Carta de aprobación  
Asesor General Metodológico  
Guatemala, 8 de diciembre de 2020

Asunto: Aprobación del informe final  
de graduación y solicitud de conformación  
de Tribunal Examinador.

Señor Coordinador General:

Tengo a honra dirigirme a usted, con la finalidad de informarle que, como Asesor General Metodológico del trabajo denominado: "Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.", a cargo del estudiante: Osman Leonel Cardoza Castillo; Carné: 11-018-0185; perteneciente al grupo: 01-260-018-20; apruebo el informe final de graduación y solicito que se integre El Tribunal Examinador de esta tesis.

Me valgo de la ocasión para presentarle a usted, muestras distinguidas de mi consideración y estima.

ING AGR JUAN PABLO  
GRAMAJO PINEDA  
Col. 7.203

Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda  
Asesor General  
Metodológico

C.C. Archivo personal

Señor  
Coordinador General  
Programa de Graduación  
Universidad Rural de Guatemala  
Presente

## **DEDICATORIA**

- A Dios:** Divino creador, por darme la vida, sabiduría, fuerza, bendiciones, entendimiento y la oportunidad de cumplir mi sueño de alcanzar esta meta.
- A mis padres:** Raúl Cardoza y Jacinta Castillo (Q.E.P.D). Por ser la razón de sentirme tan orgulloso de culminar mí meta, por sus sabios e invaluable consejos y por enseñarme a caminar por el camino correcto, donde Dios los tenga sé que están orgullosos de este logro.
- A mi esposa:** Flor de María Hernández, por su apoyo y comprensión en los momentos que más la he necesitado, siempre ha estado allí para darme ánimo para seguir adelante.
- A mi suegra:** Por apoyarme y sentirse orgullosa de mis logros.
- A mis hermanos:** Rosa, Isabel, Raúl, Carlos, Fredy, Jaime, Jorge Noelia. Por el apoyo que siempre me brindaron.
- A mis familiares:** Por todo su cariño demostrado hacia mi persona.
- A mis amigos, vecinos y futuros colegas:** Que me ayudaron de una manera desinteresada especialmente a Allan Yon, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

**A Universidad Rural de Guatemala:** Por darme la oportunidad de alcanzar este logro académico.

**A Guatemala:** Mi patria querida. En especial al municipio del Puerto San José, Escuintla

**A los docentes:** De la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Rural de Guatemala, por guiar este proceso educativo y formar parte de otro objetivo alcanzado.

**A mi Asesor Metodológico:** Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda.  
Por su paciencia, dedicación y apoyo profesional.

**Osman Leonel Cardoza Castillo.**

## **PRÓLOGO**

De acuerdo al reglamento del programa de graduación de Universidad Rural de Guatemala y previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, el estudio denominado “Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.”. Para proponer las posibles soluciones a la problemática sobre las fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Esta investigación tiene como finalidad ser útil a futuros estudiantes de diferentes universidades del país como fuente de consulta, se incluyen los resultados obtenidos en la investigación y que puedan aplicarse en diferentes áreas de trabajo similares a los que se realizan en Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Con el fin de solucionar la problemática planteada se presenta como aporte a dicha solución, que ayudara a la empresa a ser más eficiente y eficaz en el manejo de carga y descarga de contenedores a través de la unidad ejecutora APM Terminals, el plan de mantenimiento predictivo para la Grúa y un programa de capacitación a los técnicos.

## **PRESENTACIÓN**

El estudio de tesis titulado, “Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.”, fue realizado durante los meses de febrero al mes de diciembre de dos mil veinte; Se determinó que el problema de los altos costos de mantenimiento correctivo es debido a las fallas de componentes eléctricos y mecánicos por tal razón se hace la propuesta de un programa de mantenimiento predictivo que analice, evalúe, el deterioro y fallas de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Se encuentran dos tipos de grúas pórtico las que se mueven a través de rieles que son exclusivamente para la descarga directa del buque al muelle y de patio que se traslada en cualquier sección del patio de contenedores a través de sus 16 ruedas de neumáticos

La grúa pórtico sobre neumáticos (RTG) se ha diseñado para las operaciones siguientes: Dirigir y controlar los equipos desde la cabina del operador; enganchar un contenedor de un tamaño específico con un bastidor de anclaje y soltarlo cuando está apoyado sobre una base firme.

Enganchar manualmente una carga distinta de un contenedor de forma uniforme a todas las argollas de suspensión del bastidor de anclaje y soltarla; elevar o bajar contenedores u otro tipo de carga y posicionarla con precisión, todas las operaciones se deben realizar dentro de los límites especificados por la clase de servicio del equipo.

De esta manera la empresa APM Terminals se convierte en la pionera en utilizar estos tipos de grúas y tecnología avanzada en la implementación de servicios marítimos de carga y descarga de contenedores en la República de Guatemala.

## ÍNDICE GENERAL

No.	Contenido	Página
I.	INTRODUCCIÓN.....	01
I.1.	Planteamiento del problema.....	02
I.2.	Hipótesis.....	03
I.3.	Objetivos.....	04
I.3.1	Objetivo general.....	04
I.3.2	Objetivo específico.....	04
I.4.	Justificación.....	04
I.5.	Metodología.....	05
I.5.1	Métodos.....	05
I.6.	Técnicas.....	07
II.	MARCO TEÓRICO.....	10
II.1.1.	Grúa Pórtico.....	10
II.1.2.	Componentes eléctricos.....	17
II.1.3.	Componentes mecánicos.....	25
II.1.4.	Fallas en componentes eléctricos y mecánicos.....	33
II.1.5.	Tipos de mantenimiento.....	41
II.1.6.	Altos costos de mantenimiento correctivo.....	58
III.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	72
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
IV.1.	Conclusiones.....	79
IV.2.	Recomendaciones.....	80
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Contenido	Página
01	Panorámica de la Grúa Pórtico (RTG).....	13
02	Vista de RTG en diferentes bloques de contenedores.....	16
03	Unidad de PLC Maestra.....	18
04	Guardamotores.....	18
05	Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad.....	19
06	Grafica Par - Velocidad.....	20
07	Curva Par – Velocidad.....	23
08	Partes de un motor eléctrico.....	25
09	Componentes principales de una grúa pórtico.....	25
10	Partes principales del puente grúa .....	28
11	Movimiento elevación-descenso.....	29
12	Cable en espiral.....	30
13	Bogie.....	31
14	Motor motriz.....	32
15	Vista perfil motor, correa del alternador en rojo.....	39
16	Vista perfil motor, correa propulsora en verde.....	39
17	Costo total de mantenimiento.....	61
18	Cambio de cojinetes a sistemas de cables auxiliares de elevación.....	70

## ÍNDICE DE CUADROS

No.	Contenido	Página
01	Costos de mantenimiento correctivo.....	61
02	Cálculo de sueldos mensuales.....	62
03	Existencia de altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).....	73
04	Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico.....	74
05	Consideración de reducción de costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).....	75
06	Directivos que cuenta con un plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico(RTG).....	76
07	Directivos que considera la necesidad de un plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).....	77
08	Directivos que apoyarían la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).....	78

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

No.	Contenido	Página
01	Existencia de altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).....	73
02	Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico.....	74
03	Consideración de reducción de costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).....	75
04	Directivos cuenta con un plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico(RTG).....	76
05	Directivos que consideran necesario el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).....	77
06	Directivos apoyarían la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).....	78

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio identifica la problemática existente, la cual consiste en fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, de esta manera se hace la propuesta para mejorar la situación de la empresa a través de un plan de mantenimiento predictivo el cual ayuda a prevenir las fallas de los componentes mecánicos y eléctricos de la grúa.

Al ejecutar el plan se implementaran 5 programas que serán de benéfico para la empresa y mantendrán la grúa en constante vigilancia de sus piezas y motores análisis de lubricantes, termografía, análisis de vibraciones, análisis visual detección ultrasónica, de esta manera los operarios harán su trabajo de la manera más eficiente y eficaz se colocara a la empresa en lugar de prestigio a nivel centro americano como una de las empresa más rentables en la prestación de servicios marítimos portuarios de carga y descarga de contenedores a través del plan de mantenimiento predictivo para grúa pórtico (RTG) en la empresa.

Al terminar el trabajo de graduación, se comprobó la hipótesis: “Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”. El informe final de graduación o tesis está integrado de la siguiente forma: Prólogo y Presentación, además los siguientes capítulos:

I: Compuesto por: Introducción, planteamiento del problema, hipótesis, objetivo general y objetivos específicos, justificación, metodología conformada por métodos y técnicas tanto para la formulación como para la comprobación de la hipótesis.

II: Compuesto por: Marco teórico, que comprende aspectos conceptuales formados por aspectos doctrinarios y legales.

III: Compuesto por: Comprobación de hipótesis, formado por cuadros y gráficas de los resultados obtenidos de las encuestas relacionados a la variable dependiente “Y” e independiente “X” con su respectivo análisis.

IV: Compuesto por: Conclusiones y recomendaciones, luego bibliografía y anexos principales.

### **I.1. Planteamiento del problema**

La investigación realizada permite describir de la siguiente manera que la problemática encontrada en la empresa APM Terminals, se origina desde el 2015 y que está formado por el efecto o variable dependiente, el problema central y la causa principal o variable independiente.

El efecto son altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en los últimos cinco años, esto ha generado cambios de piezas mecánicas y eléctricas de la grúa, debido a los costos que genera una reparación, también se da el atraso y pérdida de tiempo, a los usuarios del servicio de carga y descarga de contenedores, de tal manera que la propuesta a implementar es el mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) para que se reduzcan los costos de mantenimiento correctivo, de acuerdo a lo anterior descrito se concluye con el problema central el cual se describe a continuación.

Las fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, se dan en los motores eléctricos de elevación y movimiento de pórtico de la grúa, los variadores de frecuencia termomagnéticos, fusibles, entre otros, y en la parte mecánica se generan daños en cojinetes, ejes, cajas reductoras, cables de elevación, entre otros.

Los técnicos contribuyen con el cuidado y verificación de los componentes de la grúa, los reportes de fallas de los componentes durante la operación generan un mantenimiento correctivo elevado, porque hay que esperar la pieza para cambiarla de tal manera que se pretende accionar con el mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG), lo anterior descrito deriva en la causa principal la cual se presenta a continuación.

La falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, provoca desconocimiento en el personal técnico de la grúa, al incrementarse los costos de mantenimiento correctivo el atraso en cambio de piezas, tanto mecánicas como eléctricas, de tal manera que la percepción que si tiene es que el personal no está capacitado, por esta razón se propone la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, por lo que al aplicar la propuesta se soluciona la problemática.

## **I.2. Hipótesis**

Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.

¿Es la falta de plan de mantenimiento predictivo por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; la causante de los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, ¿en los últimos cinco años?

### **I.3. Objetivos**

Con la finalidad de poder darle una solución a la problemática estudiada y contribuir a la solución de los problemas encontrados, se trazaron los siguientes objetivos.

#### **I.3.1. Objetivo general**

Disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

#### **I.3.2. Objetivo específico**

Reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

### **I.4. Justificación**

El desarrollo de la presente investigación y estudio que se realizó refleja la necesidad de implementar medidas para reducir las fallas de componentes eléctricos y mecánicos.

La razón por la cual se realizó la investigación es porque en los últimos 5 años han existido altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG), como aproximación y solución del problema expuesto, se hace necesario realizar una propuesta.

Según la gráfica comparativa con o sin propuesta nos indica que si el plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla no se implementa para el año 2020, se incrementan los altos costos de mantenimiento correctivo; en Q. 875,000.00 de esta manera se hace la comparación del año 2019 que fue de Q. 800,000.00., Según los datos obtenidos en la proyección nos indica que cada año se tendrá incremento en los costos de mantenimiento de Grúa Pórtico.

De esta manera si el plan de mantenimiento predictivo se implementa para el año 2020 se obtendrá un descenso significativo a Q.576,000.00 en costos de mantenimiento correctivo, por tal razón la propuesta se justifica su implementación porque para el año 2024 se obtendrá un descenso a Q.279,311.12, en los costos de mantenimiento de la Grúa Pórtico y se lograría 94% de solución a la problemática.

## **I.5. Metodología**

La metodología es una pieza esencial de toda investigación (método científico) que sigue a la propedéutica ya que permite sistematizar los procedimientos y técnicas que se requieren para concretar el desafío.

La metodología utilizada para determinar el planteamiento de la hipótesis se realizó reuniones con el director y directivos, de mantenimiento para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminal se implementó un cuestionario se aplicó la técnica de la observación y se obtuvo datos anteriores de los procesos.

### **I.5.1. Métodos**

Se utilizan para la formulación de la hipótesis y para la comprobación de la hipótesis.

### **I.5.2. Métodos utilizados en la formulación de la hipótesis**

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método Deductivo y el Método del Marco Lógico.

#### **a) Método Deductivo**

Este se utilizó para identificar la problemática, que inicia con la observación de la estructura de la grúa y de esta manera definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar la empresa APM Terminals, Puerto San José, Escuintla.

#### b) Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica

Es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.

El Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica, sirvió para la estructura y elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecer los resultados deseados y esperados dentro de la investigación, y los cooperantes internos como externos también para formular la hipótesis.

#### I.5.3. Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes: Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

##### a) Método inductivo

Se estudian los fenómenos particulares, que darán soluciones generales, Con este método se obtuvieron los resultados de la problemática, se utilizó para realizar encuestas y para diseñar conclusiones, de esta forma poder comprobar la hipótesis planteada.

##### b) Método de síntesis

Una vez interpretada la información, se utilizó la síntesis para obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; la que sirvió para hacer congruente la totalidad de la investigación.

##### c) Método estadístico

Con este método se determinaron los parámetros necesarios, que ayudaron a la comprobación de la hipótesis, se utilizaron dos boletas para hacer uso de este método,

se tabulan los resultados de las encuestas, en los cuadros y gráficas, para comprobar la variable “Y” y la variable “X”.

## **I.6.Técnicas**

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes:

### **I.6.1. Técnicas de investigación para la formulación de hipótesis**

Las técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis son las herramientas que se detallan a continuación:

#### **a) Lluvia de ideas**

Se utilizó esta técnica para recopilar ideas de la problemática de todos los técnicos y operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals San José, Escuintla.

#### **b) Observación directa**

A través de esta técnica se observa el problema directo que se encuentra en la empresa APM Terminals, San José, Escuintla y se recolectó dicha información.

#### **c) Investigación documental**

Se utilizó, con el fin de no duplicar documentos, así mismo para obtener aportes y puntos de vista de otros investigadores sobre la problemática

#### **d) Entrevista**

La entrevista se realizó en las instalaciones de APM Terminals al gerente general, gerente de operaciones, director de mantenimiento, directivos de mantenimiento y colaboradores seleccionados de tal manera que se evaluaron varios aspectos para formular la hipótesis planteada.

### I.6.2. Técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las siguientes herramientas:

#### a) Censo

Este se realizó al director del departamento de mantenimiento de empresa, para la comprobación del efecto debido a que la población utilizada es menor a 35 personas.

Para la comprobación de la causa se realizó otro censo el cual fue dirigido a los tres directivos del departamento de mantenimiento, debido al número menor de la población de 35 personas no se realizó el cálculo de la muestra.

#### b) Encuestas

Se realizó al director del departamento de mantenimiento en empresa APM Terminals para la comprobación del efecto.

Luego se realiza una encuesta a tres directivos del departamento de mantenimiento para comprobar la causa, en base a un cuestionario donde se les indicaba que marcaran con una x la respuesta que para el caso era la correcta.

Se elaboró un cuestionario para investigar el efecto (variable dependiente “Y”) y otro cuestionario para investigar la causa (variable independiente “X”).

#### c) Técnica de análisis

Esta técnica se aplicó al interpretar los datos tabulados en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, “Y” y “X”, que tuvieron como objeto la comprobación de la hipótesis.

d) Coeficiente de correlación

Este coeficiente sirve como indicador estadístico que nos señala el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables, en este caso en particular fue de 0.97 lo que indica que se relacionan entre sí y se comprueba el efecto al desarrollar el cálculo correspondiente se determina que los datos estadísticos son confiables para proceder a la proyección.

e) Ecuación de línea recta

Conforme a los datos utilizados para calcular el coeficiente de la correlación se realizó el planteamiento matemático estadístico para inferir una proyección que indique como podrían comportarse los datos a cinco años futuros.

De la misma manera la proyección nos indica que los próximos cinco años si el plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla se aplica, se obtendrá una reducción de costos en mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) y si no se aplica la propuesta según la proyección el aumento en los costos de mantenimiento cada año se incrementarían, por lo que la proyección nos refleja las dos situaciones a futuro.

## **II. MARCO TEÓRICO**

En el marco teórico se va a desarrollar la teoría que va a dar el fundamento a nuestra investigación. En su elaboración se hizo necesario elaborar una recopilación de datos e información documental.

### **II.1. Aspectos doctrinarios**

Los aspectos doctrinarios incluyen los aspectos legales. Comprenden: Grúa pórtico, Componentes eléctricos, Componentes Mecánicos, Fallas de componentes eléctricos y mecánicos, Tipos de mantenimiento, Altos costos de Mantenimiento Correctivo,

#### **II.1.1. Grúa Pórtico**

Una grúa es una máquina de elevación de movimiento discontinuo destinado a elevar y distribuir cargas en el espacio suspendidas de un gancho, por regla general son ingenios que cuentan con poleas acanaladas, contrapesos, mecanismos simples, entre otras, para crear ventaja mecánica y lograr mover grandes cargas.

Las primeras grúas fueron inventadas en la antigua Grecia, accionadas por hombres o animales, estas grúas eran utilizadas principalmente para la construcción de edificios altos (Barrera, y Villegas, 2013, p.18).

Las grúas pórtico por definición son un equipo mecánico que se encarga de la elevación de diferentes tipos de carga. Es un tipo de grúa móvil utilizado comúnmente en los puertos de comercio internacional porque facilita el traslado de contenedores de mucho peso.

Este tipo de grúa especial se inventó con el propósito de facilitar el acceso a medios de transporte de carga que fueran demasiado altos, como por ejemplo los barcos o buques. La grúa pórtico es muy similar a la grúa puente por su apariencia, por eso muchos suelen confundirlas (Barrera, y Villegas, 2013, p.18).

En la edad media fueron utilizadas en los puertos y astilleros para la estiba y construcción de los barcos, algunas de ellas fueron construidas ancladas a torres de piedra para dar estabilidad adicional, las primeras grúas se construyeron de madera, pero desde la llegada de la revolución industrial los materiales más utilizados son el hierro fundido y el acero.

La grúa pórtico es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un polipasto instalado sobre una viga, que a su vez es sostenida mediante dos o más patas, estas patas suelen estar fijadas al suelo mediante un mecanismo que permite la traslación de toda la estructura, generalmente la grúa se desplaza sobre rieles a lo largo de la superficie a cubrir.

La grúa pórtico es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un montacargas instalado sobre una viga, que a su vez es rígidamente sostenida mediante dos o más patas.

Estas patas generalmente pueden desplazarse sobre unos rieles horizontales al nivel del suelo. En algunas fábricas y naves se utiliza la llamada puente-grúa que tiene el mismo funcionamiento que la grúa pórtico con la diferencia de que la viga descansa directamente sobre los rieles (Martínez, 2016, p.15).

Según menciona (Martínez, 2016, p. 15) funcionamiento de una grúa pórtico es similar al de un puente grúa con la diferencia de que en este último la viga apoya directamente sobre rieles elevados y anclados a la estructura portante del edificio donde se encuentra situado, ambas configuraciones tienen un sistema montacargas similar que puede recorrer la viga completamente.

Por lo general se recomienda emplear este tipo de maquinaria en la manipulación de contenedores que lleven mármol, granito, acero, concreto prefabricado, estructuras

metálicas, entre otros materiales de construcción. De esta forma se asegura la integridad del material para que llegue sin daños a su destino (Martínez, 2016, p.15).

Las grúas pórtico se utilizan particularmente para elevar cargas muy pesadas en la industria pesada, como la naval. Permiten el transporte y la colocación de secciones completas de un barco moderno

Con una grúa pórtico se puede cubrir un espacio volumétrico, ya que la carga se puede mover en las tres dimensiones, los movimientos principales que una grúa pórtico son los siguientes (Martínez, 2016, p.15).

- a) Movimiento vertical de elevación y descenso de la carga.
- b) Movimiento horizontal de traslación del carro/polipasto a lo largo de la viga.
- c) Movimiento horizontal de traslación de toda la estructura a lo largo del camino de rodadura del pórtico

Debido a su versatilidad, las grúas pórtico son ampliamente utilizadas en diversos sectores industriales para el manejo de cargas, el rango que pueden cubrir va desde unos centenares de kg hasta miles de toneladas.

Astilleros e industrias pesadas en estas industrias las cargas a mover son elevadas (secciones de buques, bogíes de tren o elementos prefabricados de hormigón), oscilan entre 20 y 200 t y llegan a valores extremos de hasta 20.000 toneladas.

Puede ser monorraíl o birraíl; esta grúa es aquella en la que el puente se encuentra rígidamente sostenido por dos o más patas que se desplazan sobre rieles fijados a nivel del piso. Este tipo de maquinaria es ideal para áreas descubiertas en donde no existe construcción alguna donde pueda sujetar los rieles que soportan las vigas.

### Grúa semipórtico

Este tipo de maquinaria se puede observar desde dos distintas perspectivas. De un lado se puede observar como un puente-grúa pórtico, y desde otro es similar a un puente-grúa monorraíl o birriel. Son útiles para aprovechar una construcción ya existente y adecuarla al suelo en el otro extremo. Consiste en una serie de columnas fijas y en el otro extremo tiene columnas móviles que se unen a las fijas por la viga transversal. La función de la columna móvil es la de desplazarse a la misma altura de las cargas a través de un riel que se encuentra a nivel del suelo.

#### II.1.1.1. Talleres

En talleres de reparación o fabricación mecánica se utilizan grúas pórtico de tamaño reducido para manipular máquinas o partes de éstas, su capacidad puede variar entre 100 y 3000 kg. Suelen estar provistas de ruedas por lo que se pueden desplazar en cualquier dirección.

**Figura 1.** Panorámica de la Grúa Pórtico (RTG)



**Fuente:** Martínez, 2016.

La grúa (RTG) es un componente imprescindible para una explotación rentable de las terminales de contenedores, se trata de un elemento seguro, y eficiente, su sencillo

manejo y la disminución en los tiempos de movimiento hacen de estas grúas un elemento esencial en terminales que pretendan competir por mantenerse en la vanguardia de las nuevas tecnologías.

De acuerdo con (Barrera, y Villegas, 2013, p.19) se trata de una grúa pórtico móvil sobre neumáticos de caucho que se desplaza a través de pistas de rodadura, todas las operaciones de la (RTG) se controlan desde la cabina del operador sujeta al carro, que se mueve solidariamente con el mismo y con la carga, proporcionan al operador una buena visión de las operaciones en todo momento.

El sistema de traslación de la máquina está diseñado para trabajar sin carga, para obtener así la máxima rentabilidad del mecanismo de elevación, para aumentar la productividad de la grúa se establece la posibilidad de cambiar de pista de rodadura giran las ruedas de la RTG 90° desplazándose hasta una pista paralela (Barrera, y Villegas, 2013).

Esto permite que una misma RTG pueda dar servicio a más de una pista de rodadura, otra de las principales ventajas de la RTG frente a otros tipos de grúas portacontenedores es su gran autonomía.

Toda la energía necesaria para la RTG se produce en un generador movido por un motor diésel, lo que evita la necesidad de conexiones mediante cables o raíles blindados.

El accionamiento diésel eléctrico con su alto grado de eficiencia y su excepcional fiabilidad contribuye a confirmar el avance tecnológico alcanzado con esta grúa. Para aumentar la seguridad y evitar posibles accidentes entre grúas que trabajen en una misma pista de rodadura se incluye la posibilidad de instalar un sistema de detección de proximidad entre grúas, para impedir eventuales colisiones (Barrera, y Villegas, 2013).

Las grúas RTG, de forma coordinada con los sistemas de control que posee la terminal, también permiten realizar un auto guiado de las mismas sin necesidad de intervención del operario, utiliza métodos de localización como el GPS o mediante balizas colocadas de forma estratégica a lo largo de la terminal (Barrera, y Villegas, 2013).

#### **II.1.1.2. Estructura**

La estructura de la grúa RTG está compuesta por dos vigas puente grandes con estructuras de pata a ambos lados, cada viga puente es una viga cajón rectangular con una sección transversal constante, las vigas puente están fijadas a la parte superior de las patas mediante juntas de bridas empernadas. La rigidez de la grúa RTG esta auxiliada por seis vigas de arriostro miento que unen las grandes patas, tres a cada lado, una horizontal y dos transversales (Barrera, y Villegas, 2013).

Los RTG, generalmente, están equipados con grupos Diesel-alternador que suministran la potencia para poder desplazarse y manipular contenedores. Los operarios, pueden mover la máquina de bloque con facilidad, ya que los neumáticos no están limitados por raíles, como en los RMG, y la ausencia de cable eléctrico también lo facilita.

#### **II.1.1.3. Tipos de grúas pórtico**

a) Grúa pórtico de contenedores: La grúa pórtico para contenedores es una versión especial de las grúas pórtico en la cual los raíles del pórtico horizontal y la viga de apoyo están en ménsula sobre el barco donde se recoge el contenedor.

b) El montacargas recorre la viga horizontal, desplazan las cargas desde el barco hasta el muelle o viceversa, además el desplazamiento horizontal a lo largo de la dársena permite acceder a cualquier punto del barco (Barrera, y Villegas, 2013).

c) Grúa pórtico de puesto de trabajo: Son las grúas pórtico usadas en las factorías y en tiendas para transportar objetos pequeños. Algunas grúas están equipadas con un carril cerrado, mientras que otras usan una viga I, u otras formas extruidas como superficie de fricción.

d) La mayor parte de estas grúas están diseñadas para quedar estacionarias cuando están cargadas, y quedan móviles cuando están descargadas (Barrera, y Villegas, 2013).

e) Grúa pórtico montadas sobre raíles: También llamadas grúas EOT (Electrical Overhead Travelling) se encuentran comúnmente en aplicaciones industriales como acerías, fábricas de papel o factorías de trenes.

f) Estas grúas funcionan igual que las grúas pórtico, pero tienen sus raíles instalados en el suelo y sus patas sostienen el pórtico habitual. Su capacidad de carga oscila entre 2 a 200 toneladas, aunque pueden llegar a capacidades mayores. La mayoría son eléctricas y van pintadas de amarillo por razones de seguridad (Barrera, y Villegas, 2013).

**Figura 2.** Vista de RTG en diferentes bloques de contenedores



Fuente: APM Terminal, 2020.

### **II.1.2. Componentes eléctricos**

Se denominan componentes electrónicos a los dispositivos que forman parte de cualquier circuito electrónico. Se suelen encapsular, generalmente en un material cerámico, metálico o plástico, y terminar en dos o más terminales o patillas metálicas. Se diseñan para ser conectados entre ellos, normalmente mediante soldadura, a un circuito impreso, para formar el mencionado circuito electrónico (Villodres, 2017.)

La grúa RTG es un sistema de alta complejidad tiene más de 366 componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, sensoriales, para estratificar el equipo RTG en sistemas y subsistemas se requiere tener amplios conocimientos de la grúa tanto mecánicos como de su mantenimiento.

Ésta ubicada por encima del grupo diésel-generator y de la viga durmiente en ésta, sala se encuentra la mayor parte de los equipos eléctricos, su acceso se realiza mediante una escalera de mano que se extiende y se recoge.

Según (Villodres 2017, p.31) menciona que en la sala se encuentran los equipos de conmutación y distribución del suministro eléctrico, así como el equipo de control de todos los movimientos de la grúa y la elevación se incluyen el PLC (programable lógica controlar) y un ordenador para visualizar el estado de varios parámetros de la grúa para su mantenimiento.

La unidad de PLC que se encuentra en la sala es la maestra, repartidas por la grúa podemos encontrar diferentes unidades esclavas forman una red en estrella. Los componentes principales de la unidad

- a) Fuente de alimentación que puede no estar incorporada
- b) Módulos de entradas y salidas (E/S o I/O en inglés)
- c) Módulo de memoria
- d) Unidad de programa

**Figura 3.** Unidad de PLC Maestra



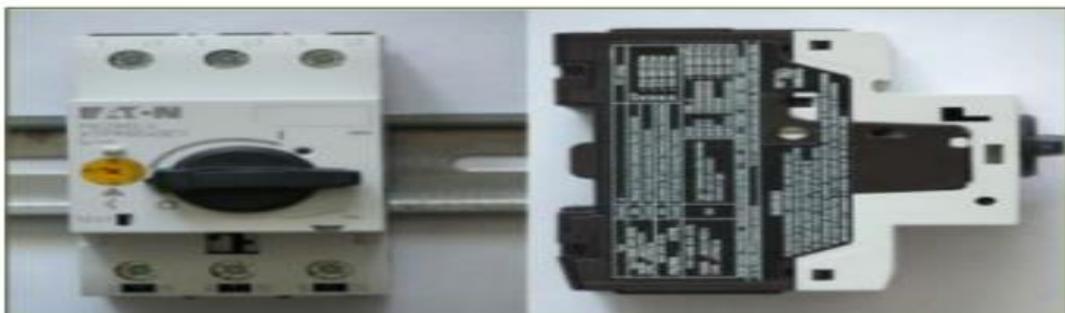
Fuente: Villodres, 2017.

Para interconectar los elementos de control de la grúa contamos con diferentes buses de campo. Un bus de campo es un sistema de transmisión de datos.

En el RTG seleccionado como modelo, la señal de los sensores se transmite a las unidades esclavas mediante profibus.

La comunicación de las unidades esclavas con la CPU de la unidad Maestra se realiza por fibra óptica gracias a convertidores fibra-profibus Según (Villodres 2017, p.32). Para poder monitorizar la grúa se cuenta con un CMS (Content Management Systems), que es un programa informático. Gracias al software podemos entrar, modificar, almacenar y recuperar contenido.

**Figura 4.** Guardamotores



Fuente: Carranza, y Flores, 2018.

### II.1.2.1. Variadores de velocidad

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frecuencia Drive), es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

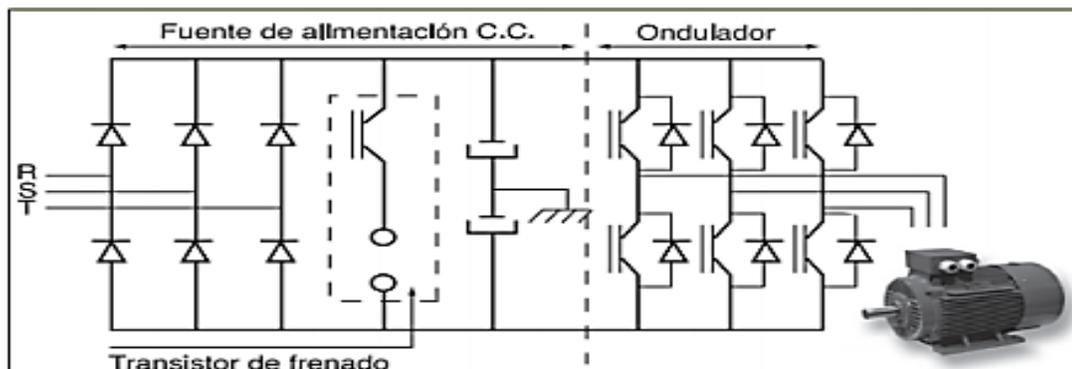
Según (Carranza, y Flores, 2018 p.23) menciona que un Variador de Frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asincrónicos trifásicos se convierte en las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Dominio de par y la velocidad, regulación sin golpes mecánicos, movimientos complejos, mecánica delicada

Los Variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajan en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable.

Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior. A continuación, se muestra un diagrama electrónico típico: (Carranza, y Flores, 2018 p.23).

**Figura 5.** Diagrama Electrónico del Variador de Velocidad



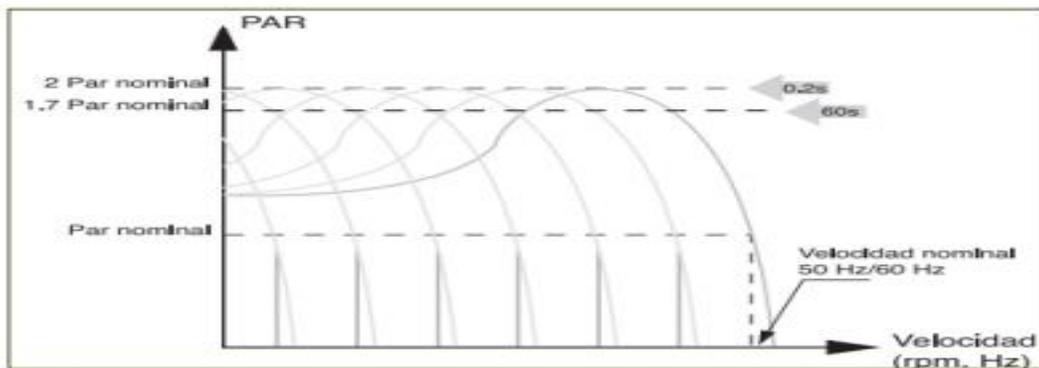
**Fuente:** Electric, 2020.

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un, microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo.

Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, entre otras), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo.

Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

**Figura 6.** Grafica Par - Velocidad.



**Fuente:** Electric, 2020.

En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 segundos.

#### II.1.2.2. Selección del variador de velocidad

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: Tipo de carga: Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.

- a) Tipo de motor: De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje (Carranza, y Flores, 2018 p.24).
- b) Rangos de funcionamiento: Velocidades máximas y mínimas, verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- c) Par en el arranque: Verificar que no supere los permitidos por el variador, si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- d) Frenado regenerativo: Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior
- e) Condiciones ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- f) Consideraciones de la red: Micro interrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.
- g) Consideraciones de la aplicación: Protección del motor por sobre temperatura y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, re arranque automático, control automático de la velocidad (Carranza, y Flores, 2018 p.25).
- h) Aplicaciones especiales: Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y sopladores, izaje, motores en paralelo.

#### II.1.2.3. Cableado

- a) En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
- b) Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
- c) Cables con la menor longitud posible.
- d) El variador debe estar lo más cerca posible del motor.

#### II.1.2.4. Gabinete

Metálico o al menos en una bandeja metálica conectada a la barra de tierra. En los manuales de uso de los variadores se hacen las recomendaciones en cuanto al tamaño.

Según Konecranes (2014, p. 99) menciona que el modo de funcionamiento local, la unidad de barra colectora se puede manejar desde el panel de control local, el panel de control de barra colectora está ubicado en el bogie, cerca de la unidad de acceso.

- a) Parada de emergencia
- b) Arm up (Brazo arriba)
- c) Arm out (Brazo hacia fuera)
- d) Arm in (Brazo dentro)
- e) Arm down (Brazo abajo)
- f) Funcionamiento manual ON/OFF (Activado/Desactivado)
- g) Iluminación del raíl conductor (opcional)

#### II.1.2.5. Ventilación

Debe estar de acuerdo al calor disipado por el equipo a potencia nominal se, proveen, como opcionales, ventiladores adicionales y kits de montaje de ventilación que garantizan una protección IP4 sin perder la posibilidad de una buena disipación.

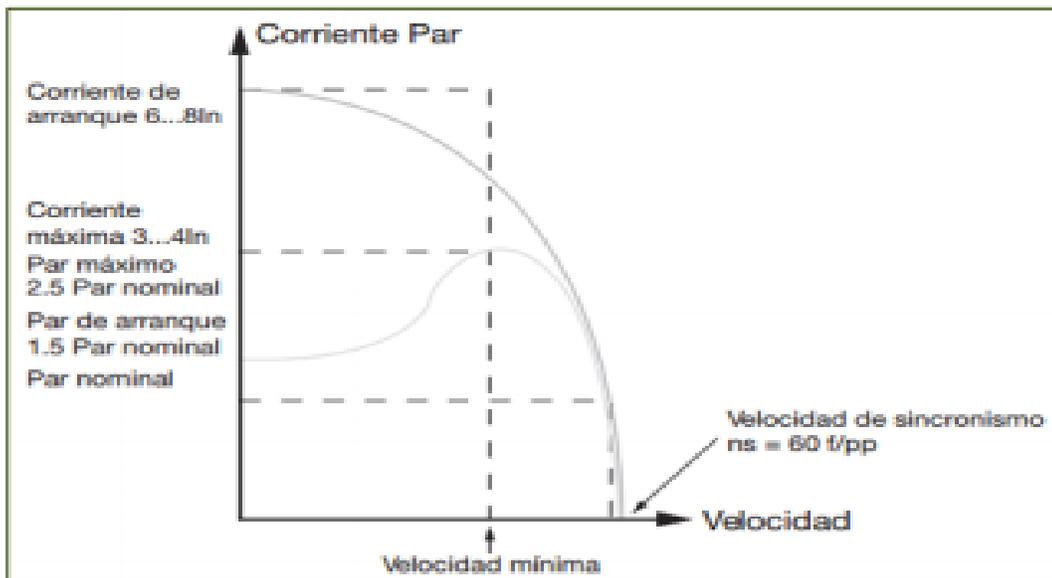
#### II.1.2.6. Puesta a tierra

La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia se deberá, realizar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación, así como las carcasas de los motores eléctricos (Carranza, y Flores, 2018 p.26).

### II. 1.2.7. Motores AC

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red.

**Figura 7.** Curva Par - Velocidad



**Fuente:** Electric, 2020.

El Controlador lógico programable (PLC), nació como solución al control de circuitos complejos de automatización, por lo tanto, se puede decir que un (PLC).

No es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mandar los sistemas automáticos.

A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra.

Según (Carranza y Flores, 2018 p.26) los (PLC) se introdujeron por primera vez en la industria en 1960 aproximadamente, la razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relees y contactores.

Bedford Associates propuso algo denominado controlador digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller) a un gran fabricante de coches.

Otras compañías propusieron a la vez esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8, el Modicom 084 (S resultó ser el primer (PLC) del mundo en ser producido comercialmente.

El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control.

#### II.1.2.8. Partes principales de un motor eléctrico trifásico.

En toda máquina se pueden distinguir los aspectos constructivos y tipos de materiales, los mismos que se muestran en la figura y estos se pueden dividir en tres grupos:

#### II.1.2.9. Materiales activos:

- a) Materiales magnéticos de alta permeabilidad, hierro, acero, chapa al silicio.
- b) Materiales eléctricos conductores, cobre, aluminio.
- c) Aislantes, que se encargan de canalizar las corrientes y evitar fugas.
- d) Materiales para la lubricación, ventilación, transmisiones mecánicas

**Figura 8.** Partes de un motor eléctrico

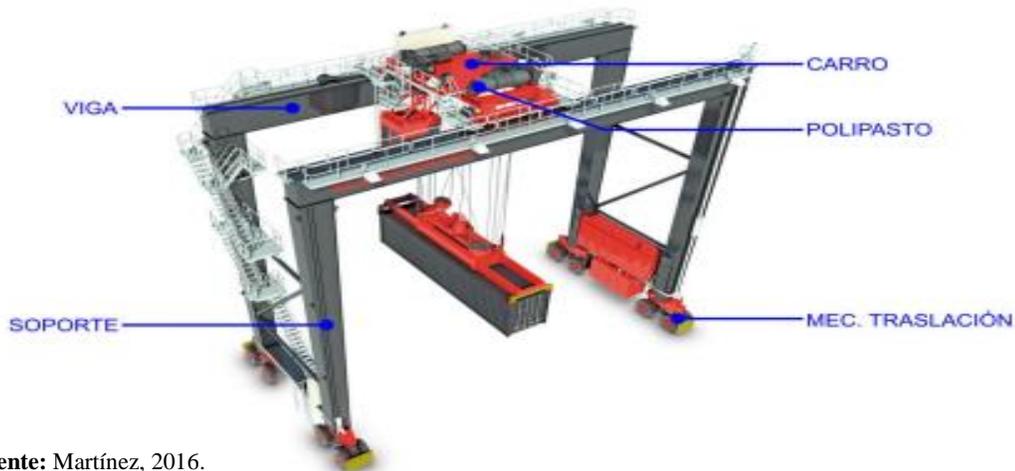


Fuente: Molina y Cruz, 2012.

### II.1.3. Componentes mecánicos

Según menciona Martínez (2016, p.15), los componentes principales que constituyen una grúa pórtico se describen brevemente.

**Figura 9.** Componentes principales de una grúa pórtico



Fuente: Martínez, 2016.

#### II.1.3.1. Componentes de grúa pórtico (RTG)

Viga junto con los soportes, forma el sistema estructural básico de la grúa, su misión es servir de plataforma para el movimiento del conjunto carro polipasto, así como soportar los esfuerzos que recibe.

#### II.1.3.2. Soportes

Son los encargados de recibir la carga transmitida por la viga y canalizarla hasta el suelo, además, al igual que la viga, pueden alojar la cabina y mandar, sistemas electromecánicos y escaleras de acceso.

#### II.1.3.3. Carro

El carro sirve de soporte para el polipasto, está provisto de un grupo electromecánico que le permite desplazarse a lo largo de la viga.

#### II.1.3.4. Polipasto

El polipasto es el mecanismo que permite el desplazamiento vertical de la carga. Aprovechar la ventaja mecánica producida por la actuación de al menos dos poleas, los ramales pueden ser cadenas, cuando las cargas son ligeras, o cables de acero.

#### II.1.3.5. Mecanismo de traslación

La forma más habitual de traslación de las grúas pòrtico es a través de raíles o de ruedas neumáticas. Por ello, los soportes apoyan en bogies o bastidores dotados de ruedas que son movidas por grupos electromecánicos.

#### II.1.3.6. Características

Según considera Barrera y Villegas, (2013, p.20) las principales características de las Grúas RTG son las que a continuación se mencionan:

Spreader telescópico que maneja contenedores de 20', 40' y 45', posibilidad de incluir la opción de elevar dos contenedores de 20' de forma simultánea.

Capacidad de apilamiento desde 4 alturas hasta 6 alturas de contenedores.

Apilamiento de contenedores en una misma zona desde 6 hasta 8 líneas.

- a) La máxima carga a elevar puede variar entre las 40 y 60 Toneladas.

- b) El control y monitorización completa de la grúa se realiza mediante un (PLC) general en sala eléctrica, el sistema de diagnóstico de fallos efectúa una protección completa de la grúa.
- c) Dos multi-paneles equipados con pantalla táctil a color proporcionan el control y monitorización, tanto en el armario eléctrico como en la cabina del operario de la grúa.
- d) Los motores de los movimientos de la grúa son de corriente alterna trifásicos controlados, cada uno de ellos, por un inversor, los inversores se controlan digitalmente mediante (PLC) esto proporciona alta precisión a los motores.
- e) Dos monitores de video dentro de la cabina permitirán observar las imágenes captadas por las cámaras instaladas para proporcionar al operario de la grúa un mayor control del aparato, las cámaras permitirán una mejor visualización de la operación con contenedores y de la traslación del pórtico.
- f) Sistema único de prevención del balanceo que evita realmente el balanceo de la viga en lugar de sólo amortiguar el balanceo existente.
- g) Posicionamiento horizontal de precisión de la viga (la viga puede desplazarse hasta 300 mm en la dirección de movimiento del carro sin mover el puente).
- h) Dieciséis ruedas del puente con una carga baja de las ruedas permiten reducir considerablemente los costes de la obra civil del área de contenedores.
- i) El giro de las ruedas con la maquinaria de desplazamiento de la grúa elimina los mecanismos hidráulicos independientes de giro de las ruedas, que exigen un mantenimiento muy alto.

#### II.1.3.7. Componentes de los puentes grúa

La máquina está compuesta generalmente por una estructura rematada en dos testeros automotores sincronizados dotados de ruedas con doble pestaña para su encarrilamiento.

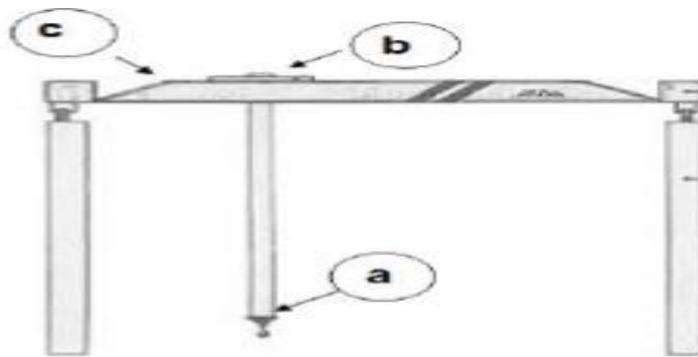
1) Partes del puente:

Elemento de elevación, polipasto eléctrico a cable cadena.

Carro, permite desplazar el elemento de elevación

Puente, sostiene y facilita el desplazamiento del carro y del elemento de elevación, se compone de vigas y testeros

**Figura 10.** Partes principales del puente grúa.



**Fuente:** Miravete, 2010.

Otra clasificación que se puede establecer es el tipo de movimiento de traslación de cargas, basado en tres movimientos principales:

2) Movimientos del puente

Movimientos de traslación del puente, en dirección longitudinal a lo largo de la nave se realiza por medio un motor que arrastra los rodillos por medio de semiárboles de transmisión.

Los puentes disponen de unos finales de carrera, que tienen como fin detectar mediante células fotoeléctricas la proximidad de un puente a otro, para que se produzca su parada inmediata.

A su vez cuando dos puentes grúa coincidan en su movimiento con dirección del uno al otro en la misma estructura deberán tener células de detección de proximidad que producirán un paro en ambos puentes para evitar el choque de ambos (González, 2008).

### 3) Movimiento de traslación del carro

Traslado de carro a lo largo del puente para su recorrido transversal a lo ancho de la nave.

### 4) Movimientos de orientación del carro elevación y descenso

La carga es subida o bajada por efecto del motor que sujeta el gancho con la ayuda de un cable principal y unas cadenas denominadas eslingas que sujetan las cargas a desplazar

**Figura 11.** Movimiento elevación-descenso



Fuente: Díez, 2015.

Todos estos movimientos tanto del puente como del carro y de la grúa son ejecutados con un radio de monitoreo capaz de controlar todos los movimientos del puente grúa, se lo utiliza cuando el lugar de operación es inaccesible, y cuando se manejan cargas

muy elevadas que pueden causar accidentes, en el área de despacho solo existe este tipo de sistema de monitoreo con radio control (Díez, 2015, p. 19).

#### 5) Cables en espiral

Son cables situados a lo largo del boom y que permiten el movimiento de Trolley

**Figura 12.** Cable en espiral



**Fuente:** APM TERMINALS, 2020.

Posee además un spreader que le permite tomar contenedores de 20, 40 y 45 pies, a los cuales se asegura por el sistema de Twislocks presente en sus cuatro esquinas. La longitud del spreader se determina mediante el accionamiento de controles de monitoreo en la cabina del operador (Giraldo y Díaz, 2005, p. 20)

El spreader se encuentra equipado con cuatro Flippers, los cuales cumplen la función de “abrazar” el contenedor y facilitar la correcta ubicación de los twislocks en las cantoneras.

La grúa permite accionar independientemente cada uno de los flippers, lo cual se convierte en una gran ayuda cuando hay limitaciones de espacios.

## 6) Gantry

La grúa RTG se encuentra sostenido por ocho bogies, dos por cada pata del pórtico. Según Ogaz, (2018, p.45) un bogie es un conjunto de dos ruedas montadas sobre el mismo eje, en cada bogie se encuentra la máquina para el desplazamiento del pórtico, motor, reductor y freno magnético.

En cada bogie hay una rueda activa y una inactiva, el eje de salida de la caja de engranajes forma un extremo de eje giratorio e impulsor con el cubo de la rueda, montado directamente sobre el mismo, y un extremo de eje inactivo con el cubo de la rueda sin tracción, el cubo de la rueda del eje inactivo posee dos cojinetes de rodillo para que la rueda gire libremente.

**Figura 13.** Bogie



**Fuente:** APM TERMINALS, 2020.

Los grandes neumáticos de caucho deben estar a 10 bares de presión. Existe un balancín compensador situado en el medio de cada par de bogies con el fin de que ambos soporten el mismo peso.

Los ocho motores de desplazamiento del pórtico se accionan por medio de cuatro variadores de frecuencia ubicados en la sala eléctrica.

El árbol de transmisión, eje consiste en la transmisión eléctrica desde el generador hasta los motores de accionamiento y la transmisión mecánica desde los motores motrices a la rueda (Ogaz, 2018, p.46)

Un eje cardan transmite la potencia de los motores motrices eléctricos al engranaje angular en el cubo de la rueda.

**Figura 14.** Motor motriz



**Fuente:** APM TERMINALS, 2020.

#### 7) Trolley

El conjunto del bastidor del trolley está fabricado con acero soldado, la cabina del operador esta empernada al trolley y se desliza con él a lo largo de la anchura de la grúa.

El tambor del chigre o hoist está fijado en un extremo del bastidor del trolley y dos poleas de cable de elevación a los lados opuestos del bastidor del trolley.

Según Ogaz, (2018, p.46) menciona que la grúa RTG es impulsada por motores eléctricos, el movimiento del trolley consiste en un generador de (CA) rectificador, inversor, motor de accionamiento eléctrico y sistema PLC, el sistema es alimentado por el generador de (CA) que es accionado por el motor diésel.

La velocidad de conducción se ajusta mediante la palanca multifunción del trolley en la cabina del operario, el inversor ajusta la velocidad del motor según la posición de la palanca multifunción.

Cuando se mueve la palanca multifunción, el freno del trolley se abre y permanece abierto hasta que la velocidad del motor vuelve a cero, después, el freno se cierra la orden de frenado se emite cuando la palanca multifunción vuelve a neutral.

Durante el movimiento del trolley, el sistema PLC supervisa la posición mediante la señal de velocidad, también comprueba que la velocidad no sobrepase los límites establecidos, en posiciones de extremo (Ogaz, 2018, p.47).

La posición del trolley se sincroniza mediante interruptores de proximidad en ambas direcciones de conducción.

#### **II.1.4. Fallas de componentes eléctricos y mecánicos**

Una falla es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente, colocan el sistema en un punto de operación fuera de lo normal.

##### **II.1.4.1. Fallas en componentes eléctricos**

Fallo en variador Podemos encontrar fallos tanto en la parte de potencia como en la parte de control.

Cuando el fallo está en la parte de potencia no queda más remedio que sustituirla o sustituir los elementos dañados.

Los fallos en la parte de control suelen ser más difíciles de hallar, puede fallar la tarjeta de encoder, la tarjeta de freno, la tarjeta de comunicación y la reparación en estos casos es sencilla consiste en cambiar la tarjeta correspondiente.

Cuando se conecta una tarjeta nueva es necesario copiar los parámetros que identifican ese variador en el programa CMS del (RTG).

Según (Villodres, 2017 p. 81) menciona que, en ocasiones, el variador puede indicar un fallo externo, sobreintensidades, fallo en la apertura de frenos, avería del encoder o avería del motor son algunos ejemplos.

#### II.1.4.2. Fallo de comunicación

Los fallos de comunicación pueden ser muy difíciles de diagnosticar puesto que la fuente de la avería no siempre está clara, la raíz del problema puede estar tanto en el propio medio de comunicación o en los elementos que encontramos en él.

Si la causa del fallo de comunicación es la rotura de la fibra óptica, intentaremos localizarla en partes móviles o expuestas, un ejemplo puede ser una rotura en la zona de la cadena IGUS

La cadena IGUS permite que los cables se desplacen con el movimiento del carro y que siga la comunicación con la unidad de PLC remota que se sitúa en la viga (Villodres, 2017, p.82).

Una pieza faltante en la cadena IGUS la haría más rígida y los cables que se alojan en el interior estarían sujetos a tensiones.

Otra causa puede ser el fallo de relés opto acopladores, la señal de los sensores pasa por éstos y es enviada al PLC, la función de los opto acopladores es proteger los dispositivos de corrientes y voltajes excesivos, si fallan, la comunicación se corta. Los fallos en fuentes de alimentación y convertidores de fibra óptica a profibus son otros elementos que si fallan interrumpen la comunicación

#### **II.1.4.3. Fallas en componentes mecánicos**

Cuando ocurren fallas en componentes mecánicos de equipos móviles o industriales. La evidencia del fallo es, con cierta frecuencia, destruida junto con el componente mecánico que sufrió la avería. La evidencia inicial de la falla queda tan des caracterizada por la falla real que se vuelve indistinguible de otras evidencias. La destrucción de la evidencia inicial de la falla usualmente lleva al investigador a acusar el lubricante debido a una avería ocasionada por otro mecanismo.

##### **a) Fugas en el diésel**

Las fugas son el incidente más común que encontramos en el grupo motor-generador, podemos tener fugas de aceite, de gasolina o de refrigerante la gravedad de la fuga dependerá de la cantidad de pérdida de fluido y del lugar de la fuga principalmente.

Las fugas de aceite son las más comunes, prácticamente todos los motores con el tiempo acaban con fugas leves las cuales no representan un gran problema para el funcionamiento general de la máquina.

Según (Villodres, 2017, p, 77) menciona que cuando la fuga es grave y el nivel de aceite muy bajo la temperatura aumentará debido al rozamiento de las piezas, llegan incluso a la rotura de las piezas o al gripado del motor.

b) Podemos encontrar fugas de aceite

En el cárter, por su junta, por algún tapón o en la unión con algún otro elemento, en la entrada/salida de filtros, esto suele ocurrir por no apretar el filtro lo suficiente o por no cambiar con la frecuencia que toca, por manguitos y latiguillos, por deterioro de los mismos o por mal apriete de la abrazadera.

c) Por el retén del cigüeñal, por deterioro del mismo

Las fugas de gasoil pueden ser de las más preocupantes, ya que el circuito de combustible tiene que mantener la presión correcta y no puede entrar aire en este para evitar mayores problemas en el motor que desembocarían en el fallo general del motor (Villodres, 2017, p.78).

d) Podemos encontrar fugas de gasoil

En el tanque de combustible, este tipo de fuga no es preocupante ya que no afecta en gran medida al funcionamiento del motor y se puede solventarlo con soldadura el tanque o sustituyéndolo definitivamente.

e) Por filtros de gasolina o diésel

Puede ocurrir porque no están apretados con el par adecuado o porque no se hayan sustituido a su debido tiempo, en el cebador/purgador, en la bomba de gasoil.

f) En latiguillos que van de la bomba a la rampa de gasoil

Según (Villodres, 2017, p.78) comenta que el aumento de la temperatura, un charco de anticongelante debajo de la zona del motor, o un nivel bajo en el vaso de expansión son indicadores de que existe una fuga en el sistema de refrigeración.

Si un motor tiene una fuga de refrigerante severa el motor puede sufrir daños severos ya que aumentará la temperatura y puede conllevar a su fallo.

Para que no ocurra, los motores suelen ir equipados con sensores de nivel, que detectan cuando falta refrigerante, además de indicadores de temperatura que nos indicarán que la temperatura ha subido, gracias estos sensores se suele parar el motor antes de que un fallo mayor ocurra.

El motor tiene una temperatura de trabajo de unos 85-90 grados, un aumento de esta temperatura nos indicaría un fallo en el sistema de refrigeración.

g) Las fugas de refrigerante pueden ocurrir:

Pérdida en el vaso de expansión, el vaso puede fugar porque se ha roto, por defectos de material, por ejemplo, por presión incorrecta, no queda más remedio que sustituirlo para que pueda seguir trabajar la máquina, esto implica la parada de la grúa (Villodres, 2017, p.78).

Pérdida en maguitos, por rotura o por abrazadera mal colocada, por la unión con el radiador, por ejemplo, los manguitos de refrigerante tienen que estar fabricados de manera que soporten las altas temperaturas que puede alcanzar este líquido. Para ello se siguen las instrucciones del fabricante, normalmente, para llevar a cabo este correctivo hay que esperar unos minutos con máquina.

#### II.1.4.4. Rotura de correas

En el motor encontramos 2 correas: la correa propulsora y para la bomba del agua y la correa para el alternador.

Si se rompe la correa del ventilador implica un aumento de la temperatura y el paro del diésel por los mecanismos de seguridad, si se rompe la correa del alternador, dejan de cargar las baterías y el motor no será capaz de arrancar por sí solo.

Antes de proceder al cambio de alguna de las correas, es conveniente cerrar el o los interruptores de corriente principales y asegurarse de que no llega corriente al motor.

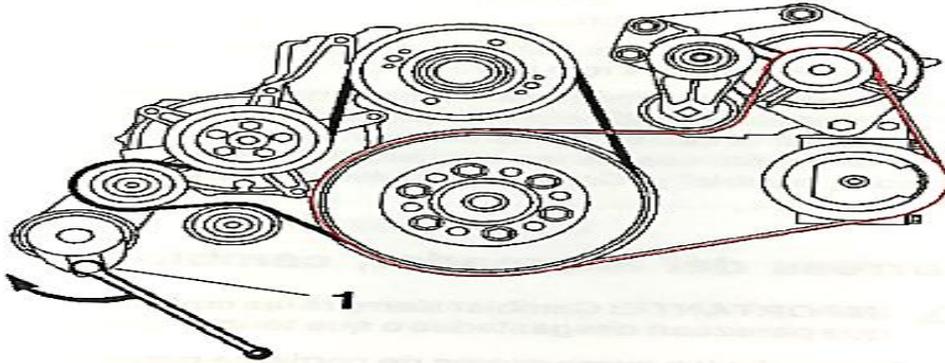
Según Villodres, (2017, p.79) considera que, para facilitar el proceso, también es importante desmontar la protección del ventilador y el aro de éste, así como la protección de la correa, ya que la longitud ajustada de éstas no nos permite pasar mucho juego para maniobrar.

Para el cambio de la correa del alternador, tal y como se aprecia en la figura se afloja el tensor 1 con una llave cuadrangular y se libera la bomba de agua de la correa propulsora.

A continuación, se aplica la llave en el tensor 2 y se puede retirar la correa del alternador, antes de colocar la nueva correa, convendría asegurarse que las poleas se encuentran limpias y sin daños y para la colocación, se necesita presionar hacia abajo el tensor 2 con una llave, una vez montada, se recoloca la correa propulsora en la bomba de agua destensan con el tensor 1.

Se vuelven a montar las protecciones del ventilador y el aro, así como las protecciones de las correas una vez finalizada la operación, siempre se realiza un control del funcionamiento.

**Figura 15.** Vista perfil motor, correa del alternador en rojo

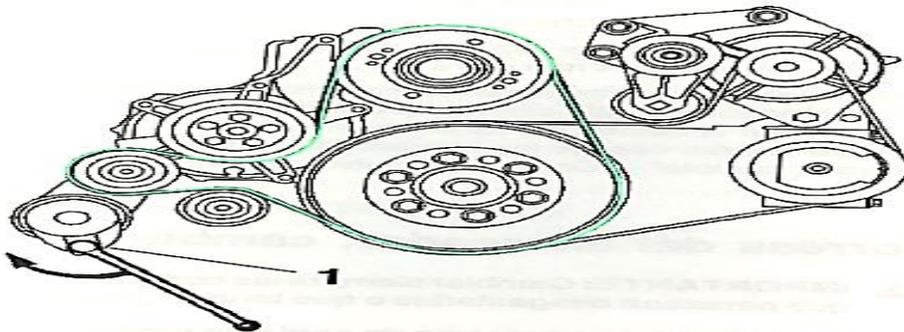


Fuente: Villodres, 2017.

Para retirar la correa propulsora, primero se aplica una llave en el tensor 1 para liberar tensión y se retira la correa a través de las aspas del ventilador. Una vez se han examinado las poleas y están limpias y sin desperfectos, se procede a introducir la nueva correa a través de las aspas (Villodres, 2017, p.80).

Con la ayuda del tensor colocados bien la correa y se vuelven a montar todas las piezas retiradas. Se comprueba el funcionamiento una vez finalizado el cambio.

**Figura 16.** Vista perfil motor, correa propulsora en verde



Fuente: Villodres (2017)

#### II.1.4.5. Rotura total o parcial de cable de acero

El cambio de los cables de elevación y los auxiliares está sujeto a unos criterios establecidos por la norma (ISO 4309).

La corrosión, los daños y el desgaste son las causas por las que un cable ha de ser sustituido.

Si un cable de acero se encuentra corroído, no se puede determinar la dimensión del daño, no obstante, la resistencia a la rotura habrá disminuido, una persona competente tiene que inspeccionar el cable para sopesar si debe ser cambiado la corrosión se puede evitar en gran medida con el engrase del cable.

Según la norma (ISO 4309) anteriormente nombrada, se permite que el cable tenga algunos filamentos redondos rotos.

Si el diámetro externo del cable se reduce en un 7% o más debido al desgaste, el cable debe ser sustituido, el diámetro también puede reducirse a causa de las tensiones máximas ejercidas sobre todo cerca de los extremos, donde se encuentran los conectores, en este caso también se aplica el criterio del 7%.

Los cables pueden presentar diferentes deformaciones: forma de ondulación, forma de bobina, extrusión de filamentos, aumento del diámetro, aplastamiento, bucle, la gravedad de la deformación determina si se lleva a cabo el correctivo.

Según Villodres, (2017, p.80) menciona que cuando se realiza el cambio de un cable de acero es importante tener en cuenta el sentido del entrelazado del cable, para soportar mejor las afueras de tensión, encontramos dos cables de elevación con entrelazado a izquierda y dos a derecha, encontrándose los de igual sentido en diagonal, lo mismo ocurre con los auxiliares.

Una vez instalados, es importante engrasar bien los cables para evitar el roce con las poleas y a la salida de los polipastos, además de para prevenir la corrosión.

### **II.1.5. Tipos de mantenimiento**

En términos generales por mantenimiento se designa al conjunto de acciones que tiene como objetivo mantener un activo o equipo en un estado en el cual este pueda desplegar las funciones requeridas con un máximo rendimiento y mayor tiempo posible.

El mantenimiento es el procedimiento por el cual se trata un bien determinado de manera que el paso del tiempo, el uso o el cambio de circunstancias externas no lo afecten. Hay muchos campos en los que se puede aplicar el término, ya sea para bienes físicos o virtuales.

Se denomina mantenimiento al procedimiento mediante el cual un determinado bien recibe tratamientos a efectos de que el paso del tiempo, el uso o el cambio de circunstancias exteriores no lo afecte. El mantenimiento es especialmente importante en los bienes requeridos para la producción de bienes y servicios. Así, todos aquellos elementos necesarios como parte de un proceso de producción económica serán testeados con regularidad para llegar a una conclusión en lo que respecta a su mantenimiento.

Según (Botero,1991), manifiesta en el manual de mantenimiento realizado por el servicio nacional de aprendizaje (SENA) y la federación colombiana de industrias metálicas "fedemetal" que, el mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscan que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Con el transcurrir de los años, el desarrollo tecnológico en los diferentes tipos de instalaciones crece de manera rápida y hacer que los procesos manuales se automaticen, generan así grandes cadenas de producción, cuya parálisis representa significativas pérdidas económicas.

Según (García, 2012, p.23) La importancia del mantenimiento se deriva por tanto, de la necesidad de contar con una estructura que permita restablecer rápidamente las condiciones de operación ideal, para reducir al mínimo las pérdidas de producción y fallas.

#### II.1.5.1. Propósitos del mantenimiento

Los propósitos fundamentales que se deben seguir en cualquier actividad de mantenimiento son:

- a) Mantener disponibilidad de los equipos.
- b) Garantizar la confiabilidad de los equipos.
- c) Prolongar la vida útil de las máquinas.
- d) Disminuir los costos involucrados en el mantenimiento.
- e) Optimizar los tiempos involucrados en el mantenimiento.
- f) Restablecer la funcionalidad del equipo a condiciones determinadas.

Existen diversos tipos de mantenimiento, los señalados a continuación son los más importantes y aceptados con mayor frecuencia.

#### II.1.5.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo está basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no en función de su estado, lo cual produce grandes ahorros.

El diagnóstico predictivo de maquinaria se desarrolla en la industria en la década que va desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX. Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos (Bannister, Castro, y otros, 2006).

Conocido también como mantenimiento basado en condición, de la misma forma que el mantenimiento preventivo de anteponerse a la avería, esta estrategia de mantenimiento pretende además tener el conocimiento del estado del equipo por medio del monitoreo de parámetros del sistema, consideran que de esta forma se puede sustituir los elementos cuando han cumplido con su vida útil (Bannister, Castro, y otros, 2006).

El mantenimiento predictivo consiste en predecir las futuras fallas del equipo, automóviles o maquinarias. El mantenimiento predictivo se efectúa cuando la maquinaria presenta alguna señal, por ejemplo: ruido, vibración, temperaturas, entre otros y, por el constante monitoreo del equipo por parte del individuo que lo usa.

El mantenimiento predictivo consigue prevenir posibles errores que pida el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

Eliminan los paros imprevistos por intervención innecesaria y, y también prevenir los fallos no esperados, mediante herramientas o técnicas de detección de los elementos medibles de anticipación al fallo realizan un mantenimiento justo en el tiempo preciso.

De acuerdo con (Bannister, Castro, y otros 2006) comentan que adelantarse a las fallas a través de distintos instrumentos y técnicas de análisis, evitan que los equipos a cargo de operaciones críticas en las empresas fallen, es lo que motiva al mantenimiento predictivo, tendencia que se debe de imponer en las empresas por la fuerza de la razón y la lógica de los números.

Es la estrategia más interesante y compleja de implementar y para poder realizarlo es necesario disponer de tecnología basada en indicadores que sean capaces de monitorear diferentes variables que permitirán saber el estado de la máquina, así como personal preparado en la interpretación de los datos (Bannister, Castro, y otros, 2006).

#### II.1.5.3. Técnicas predictivas de mantenimiento

Hay una variedad de tecnologías que pueden y deberían ser utilizadas como parte de un programa predictivo global de mantenimiento, si tomamos en consideración que las fallas en los sistemas mecánicos son los que de mayor ocurrencia se tiene en la mayoría de equipo, y los que generan otros tipos de falla como son: eléctricas, hidráulicas, neumáticas entre otras.

Según (Jácome, 2008, p.32), menciona que las técnicas no destructivas más habituales para mantenimiento predictivo son monitoreo de vibración (rastreo banda ancha, rastreo banda corta, análisis de señales), parámetros de termografía (análisis de señales con termómetros infrarrojos).

Rastreo con scanner de línea, análisis con imágenes infrarrojas), tribología (análisis de aceites lubricantes, análisis espectro gráfico, análisis por partículas de desgaste por roce, desgaste por corte), ferrografías hierrografía, parámetros de procesos (análisis de motores eléctricos, monitoreo ultrasónico, análisis de operación dinámica), inspección visual, entre otras.

#### II.1.5.4. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo

##### 1) Ventajas

Permite la Identificación prematura de defectos, sin la necesidad de parar o desmontar la maquinaria, uso del elemento mecánico hasta el fin de su vida útil por lo que se puede seguir la evolución del defecto en el tiempo hasta que se vuelva peligroso, el tiempo de reparación se reduce ya que se tiene identificada la falla.

No se necesita de un gran inventario ya que se predice que elemento va a fallar y su adquisición será con anterioridad y esto reducirá costes, existe mayor seguridad de funcionamiento y operación de la maquinaria, incrementa la producción por ahorro de paradas ya que para corregir el defecto puede ser programada la parada haciéndola coincidir con un tiempo muerto del proceso de producción.

Puede aumentar la disponibilidad de la maquinaria, mejora la fiabilidad global, ayuda a reducir las pérdidas de materia prima por paradas de las maquinarias no planificadas y rearranques. Se logra reducir la mano de obra, y de la misma manera la producción se beneficiaría.

##### 2) Desventajas del mantenimiento predictivo

Como desventajas presenta elevados costes en la adquisición de equipos para la detección de fallos, personal especializado para análisis de datos, limitación de aplicación para algunos tipos de fallas, no existe ningún parámetro que sea capaz de reflejar exactamente el estado de una máquina, no es viable la monitorización de todos los parámetros funcionales para toda la maquinaria.

#### II.1.5.5. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento no requiere de una planificación sistemática y se pone en práctica en el momento en que los equipos presentan un fallo, es decir el

mantenimiento se reduce a la reparación del equipo o maquinaria que producen un paro en el proceso de fabricación y disminuye la producción, por lo que su aplicación corresponde a equipos de bajo nivel de criticidad y que no estén directamente relacionados con la producción.

Este tipo de mantenimiento corrige los errores del equipo que dependen de la intervención para volver a su función inicial. Estas prácticas de mantenimiento no dependen de los planes de mantenimiento y, por consiguiente, la posibilidad de que no haya piezas de repuesto en existencia es alta.

El mantenimiento correctivo como lo indica su nombre se caracteriza por corregir o reparar los defectos de los equipos y maquinarias. No obstante, cuando se realiza de manera inmediata el mantenimiento correctivo en el equipo se puede denominar mantenimiento correctivo contingente, en cambio, cuando se programa el día para revisar y corregir la falla del equipo se conoce como mantenimiento correctivo programable.

Los costes de reparación del fallo son inferiores a la inversión necesaria para implementar otro tipo de mantenimiento más complejo, toman en cuenta que el mantenimiento correctivo es inevitable así se ponga en práctica un mantenimiento más sofisticado ya que el equipo esta propenso a presentar en cualquier momento fallas que no fueron previstas.

Las tareas que se aplican en este mantenimiento no necesitan un planteamiento organizado y tampoco son de gran dificultad, estas son las más generales, limpiar y engrasar.

#### a) Ventajas del mantenimiento correctivo

Las ventajas que presenta este tipo de mantenimiento es no crear gastos fijos, también no es preciso programar ni prever ninguna actividad, en proyectos a corto plazo puede ofrecer un buen resultado económico, resulta económico la aplicación de este mantenimiento para equipos que no se encuentran relacionados directamente con la producción

#### b) Desventajas del mantenimiento correctivo

Los inconvenientes que se presenta en el mantenimiento correctivo son los siguientes; el tiempo de reparación es mayor ya que el repuesto no se encuentra disponible en el almacén, los fallos al ser imprevistos suelen ser significantes para el equipo, con lo que su reparación puede ser costosa.

Por ser fallos inesperados pueden venir acompañados de un siniestro, esto afectan la seguridad del personal, el tiempo que se tardara en repararse dichas fallas es desconocido, se necesita contar con técnicos de alta experiencia para disminuir tiempos de reparación además de contar con un stock de repuestos importante.

#### II.1.5.6. Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento procura reducir el número de intervenciones correctivas mediante la aplicación de un sistema donde se ejecute rutinas de inspección y la renovación de elementos en mal estado, hacer un mantenimiento planificado en el tiempo a diferencia del anterior, se impide y afecta de forma directa en la productividad y a la calidad del producto o servicio.

El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza de manera anticipado con el fin de prevenir el surgimiento de averías en los artefactos, equipos electrónicos, vehículos automotores, maquinarias pesadas, etcétera. (Duffuaa, Raouf, Dixon, 2007).

Algunas acciones del mantenimiento preventivo son: ajustes, limpieza, análisis, lubricación, calibración, reparación, cambios de piezas, entre otros. En el área de informática, el mantenimiento preventivo consiste en la revisión en el software y hardware de la PC u ordenador lo que permite al usuario poseer un equipo fiable para intercambiar información a una máxima velocidad con respecto a la configuración del sistema.

El mantenimiento preventivo se realiza periódicamente. Del mismo modo, el mantenimiento preventivo tiene como objetivo detectar averías que puedan provocar un mal funcionamiento del objeto en mantenimiento y así evitar elevados costes de reparación y disminuir la probabilidad de paradas imprevistas, además de permitir una mayor duración de los equipos e instalaciones y una mayor seguridad para los trabajadores, especialmente en el caso de aquellos empleados que trabajan en industrias con maquinaria de gran tamaño.

El costo del mantenimiento preventivo se calcula a través del tiempo extra, tiempo de los ayudantes y mano de obra, así como, el inventario de repuestos, por ejemplo: en el cambio de filtros de automóviles, lubricación, etc., cada repuesto tiene un costo diferente.

El proceso de prevención de las fallas se realiza mediante un monitoreo constante de los equipos que permiten adquirir información del mismo durante su operación. Con la aplicación de esta estrategia de mantenimiento se busca ampliar el tiempo de operación del equipo y por ende la disminución de las fallas (Duffuaa, Raouf, Dixon, 2007).

El éxito del mantenimiento preventivo obedece a la apropiada elección del tiempo de inspección ya que un lapso excesivo tolera la aparición de fallos entre dos sucesivas

intervenciones, por lo contrario, un periodo poco prolongado eleva considerablemente los costes de producción.

El mantenimiento preventivo tiene como objetivo detectar fallas que puedan llevar al mal funcionamiento del objeto en mantenimiento y, de esta manera se evita los altos costos de reparación y se disminuye la probabilidad de paros imprevistos, asimismo, permite una mayor duración de los equipos e instalaciones y mayor seguridad para los trabajadores sobre todo en el caso de aquellos empleados que laboran en industrias con grandes maquinarias.

El equilibrio será la solución entre el valor económico de las inspecciones y el valor de fallos imprevistos, si bien los primeros pueden ser ponderados, la evaluación de los segundos no será tarea fácil por lo que suele acordar en función de la propia práctica.

La persona encargada de realizar los diferentes tipos de mantenimiento de maquinaria, equipos, vehículos, entre otros, se denomina técnicos a personas con habilidades o destrezas en relación a esta área.

Se refiere a todas las acciones realizadas que permitan tener el conocimiento del estado de la maquinaria, equipo o instalaciones para la planeación y programación de actividades posteriores con la finalidad de evitar daños imprevistos, disminuir tiempos muertos por fallas en los procesos de producción y despacho; los paros necesarios para esta acción deben realizarse con la menor cantidad de tiempo.

Mantenimiento preventivo también se puede definir como las actividades ejecutadas en un tiempo establecido bajo las condiciones de cada empresa para prevenir y detectar condiciones de trabajo que puedan ocasionar interrupciones en los procesos de producción, despacho u otros, por averías o deterioro acelerado de la maquinaria.

El exceso o insuficiencia de aplicación de mantenimiento preventivo en los equipos tendrá consecuencias negativas, que afectarán su vida útil y la disponibilidad a la demanda requerida, disminuyen su confiabilidad y eficiencia considerablemente.

a) Ventajas del mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento ayuda a minimizar la probabilidad de paros imprevistos, menor costo de las reparaciones ya que cuando un elemento falla en servicio suele echar a perder otras partes, ayuda a un mejor control y planeación del mantenimiento a ser aplicado en los equipos.

Existe mayor seguridad en la operación de los equipos debido a que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento, carga de trabajo parejo para el personal de mantenimiento ya que se cuenta con una programación de actividades, mayor vida útil de los equipos e instalaciones.

b) Desventajas del mantenimiento preventivo

La decadencia que se tiene es el desmontaje y sustitución innecesaria ya que en ocasiones el elemento que se cambia podría ser utilizado por más tiempo, costes elevados ya que las inspecciones son periódicas y necesita experiencia del operario, representa un alto coste en inversión de inventarios, pero se hace previsible lo cual permite una mejor gestión, al tiempo que se montan nuevas piezas y se realizan las primeras pruebas de funcionamiento puede afectar a la regularidad de la marcha.

Se refiere a todas las acciones realizadas que permitan tener el conocimiento del estado de la maquinaria, equipo o instalaciones para la planeación y programación de actividades posteriores con la finalidad de evitar daños imprevistos, disminuir tiempos muertos por fallas en los procesos de producción y despacho; los paros necesarios para esta acción deben realizarse con la menor cantidad de tiempo.

Mantenimiento preventivo también se puede definir como las actividades ejecutadas en un tiempo establecido bajo las condiciones de cada empresa para prevenir y detectar condiciones de trabajo que puedan ocasionar interrupciones en los procesos de producción, despacho u otros, por averías o deterioro acelerado de la maquinaria.

El exceso o insuficiencia de aplicación de mantenimiento preventivo en los equipos tendrá consecuencias negativas, que afectarán su vida útil y disponibilidad a la demanda requerida, disminuyen su confiabilidad y eficiencia considerablemente.

#### Mantenimiento proactivo

Es una técnica de identificación y corrección de las causas que generan las fallas en los componentes, equipos o instalaciones, que probablemente en un futuro sino se acude a resolverlas puede generar una avería mayor. Entre los beneficios que posee este tipo de mantenimiento están: el incremento de tiempo entre fallas y la educación de mantenimiento que se genera en el personal de mantenimiento.

#### II.1.5.7. Mantenimiento productivo total

Este tipo de mantenimiento caracterizado por las siglas TPM (Mantenimiento Productivo Total) está basado en la concepción japonesa que intenta abarcar una visión más amplia que recoja todos los estamentos y niveles de la producción con una estructura de planificación jerárquica donde el propio operario realice una pequeña parte del mantenimiento como reglaje, inspección, sustitución entre otros.

El Mantenimiento Productivo Total, también conocido como TPM, por sus siglas en inglés (Total Productive Maintenance), nació en Estados Unidos, y tiene sus principales antecedentes en los conceptos de mantenimiento preventivo desarrollados en los años cincuenta. El mantenimiento preventivo consiste en actividades de revisión parcial de forma planificada, en las cuales se ejecutan cambios, sustituciones, lubricaciones, entre otras actividades; antes de que se materialicen las fallas.

La forma planificada requiere de una programación periódica, tienen en cuenta las recomendaciones técnicas del fabricante, y el histórico de averías de los equipos.

Como una evolución de la planificación periódica de las actividades de mantenimiento, se incorpora el concepto de mejoramiento de los equipos, con el propósito de evitar que se produzcan fallas, aprovechando el conocimiento del operario. Como resultado nace un plan de mantenimiento relacionado con mejoras incrementales.

Según Lefcovich (2009), comenta que la implementación del (TPM) beneficia en gran magnitud a las empresas, por ello se aplica actualmente en todo el mundo, para llegar al (TPM) hubo que pasar por tres fases previas hacer de la primera de ellas el mantenimiento de reparaciones, posteriormente el mantenimiento preventivo y luego el mantenimiento productivo.

Logran una participación de todos con un mejoramiento continuo de la productividad, y ayudan a mejorar la competitividad de la organización, orientan a lograr cero accidentes, cero defectos, cero pérdidas.

Los objetivos estratégicos del (TPM) ayuda a construir capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costes, (López ,2009).

#### II.1.5.7.1. Características del Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Se identifica por la amplia participación de todo el personal que constituye la empresa, orientada a la mejora de la realidad total de las instrucciones.

Destacan un compromiso total por parte del equipo de trabajos involucrados en la operación y producción además de procesos de mantenimiento, establecidos en el aprovechamiento de la experiencia que presentan los trabajadores.

#### a) Ventajas del TPM

El TPM enfoca sus objetivos hacia la mejora de la eficiencia de los equipos y las operaciones mediante la reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, y se relaciona, de igual forma, con actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema.

Una de las ventajas más significativas, es que se consigue un resultado final más enriquecido y participativo ya que se incluye a toda la organización en los trabajos de mantenimiento. Consideran que la calidad total y la mejora continua van de la mano con el concepto anteriormente mencionado. Mejoran la calidad de los equipos, los mantiene en buen estado, mejoran la productividad y logran la reducción de gastos, son menos las averías y se reducen los costos.

#### b) Desventajas del TPM

Se considera que el costo que conlleva la implementación de este tipo de mantenimiento es elevado ya que toma varios años en formación y cambios generales, además debe existir una visión compartida, para poder alcanzar el éxito buscado, consideran también como parte fundamental el compromiso de todos los departamentos de la organización que de manera u otra es difícil obtener.

c) Pilares del TPM

d) Mejoras enfocadas

Las mejoras enfocadas son actividades desarrolladas con el propósito de mejorar la eficiencia global de los equipos, operaciones y del sistema en general. Dichas mejoras, incrementales y sostenibles, se llevan a cabo a través de una metodología específica, orientada al mantenimiento y a la eliminación de las limitantes de los equipos.

- Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es aquel que se lleva a cabo con la colaboración de los operarios del proceso. Consiste en realizar diariamente actividades no especializadas, tales como la inspecciones, limpieza, lubricación, ajustes menores, estudios de mejoras, análisis de fallas, entre otras.

Es importante que los operarios sean capacitados y polivalentes para llevar a cabo estas funciones, de tal manera que debe contar con total dominio del equipo que opera, y de las instalaciones de su entorno.

Los objetivos del mantenimiento autónomo son claros, y contribuyen a la preservación de los equipos mediante la prevención.

- Mantenimiento planificado

El mantenimiento planificado, también conocido con el nombre de mantenimiento programado o preventivo, es el tercer pilar del TPM, y corresponde al mejoramiento incremental y sostenible de los equipos, instalaciones y el sistema en general, con el propósito de lograr el objetivo de “cero averías”. El enfoque del mantenimiento planificado, como pilar del TPM, dista en gran medida del enfoque tradicional del mantenimiento preventivo.

El principal aporte del enfoque TPM consiste en priorizar la información histórica necesaria para establecer las acciones específicas requeridas por equipo, de manera que se establezcan tiempos adecuados de mantenimiento, actividades precisas de alistamiento, acciones específicas de prevención a equipos con alto deterioro.

Se definen rutas de mantenimiento preventivo preciso tienen en cuenta la criticidad y complejidad de los equipos e instalaciones, e incluso procedimientos operativos estándar por actividad de mantenimiento, en los cuales se establezcan las condiciones específicas de mantenimiento, calidad, seguridad, registro, herramientas, entre otros factores de suma importancia para realizar las actividades de inspección.

#### - Mantenimiento de calidad

El mantenimiento de calidad es uno de los pilares del TPM y tiene como principal objetivo mejorar y mantener las condiciones de los equipos y las instalaciones en un punto óptimo donde sea posible alcanzar la meta de “cero defectos”, es decir “cero no conformidades de calidad”.

En el mantenimiento de calidad es muy importante contar con herramientas y tecnología adecuada, que van desde técnicas de control de calidad, hasta instrumentos precisos de medición y predicción. El mantenimiento de calidad tiene una serie de principios sistemáticos que lo fundamentan, estos son:

Clasificación de defectos e identificación del contexto, frecuencia, causas, efectos, y relaciones con las condiciones de los equipos, análisis de mantenimiento preventivo para identificar los factores del equipo que pueden generar defectos de calidad.

Establecen rangos estándar para los factores del equipo que pueden generar defectos de calidad, y determinar sus respectivos procesos de medición, establecen un

programa de inspección periódico de los factores críticos y preparan matrices de mantenimiento y mejora. Además de valorar periódicamente los estándares.

- Educación y entrenamiento

La metodología TPM requiere de la participación activa de todo el personal, un personal capacitado y polivalente. El pilar de educación y entrenamiento se enfoca en garantizar el desarrollo de las competencias del personal, tienen en cuenta los objetivos de la organización. El pilar de educación y entrenamiento tiene como prioridades los siguientes objetivos:

- Desarrollo de personas competentes en términos de equipamiento: Actividades analíticas avanzadas de mantenimiento; establecimiento de centros de entrenamiento en actividades de mantenimiento, promoción de especialistas.

- Desarrollo de personas competentes en términos de gestión: Líderes de programas de mantenimiento autónomo, alistamiento, predicción, prevención, TPM.

- Desarrollo de habilidades y participación: Creación de una cultura colaborativa en relación con TPM; lecciones de un punto; reporte de Fuguais; matriz de habilidades.

- Seguridad y medio ambiente

La seguridad y el medio ambiente son un pilar transversal en TPM, es necesario preservar la integridad de las personas y disminuir el impacto ambiental en cada operación, equipo o instalación de la organización.

El propósito de este pilar consiste en crear un sistema de gestión integral de seguridad y medio ambiente con el objetivo de lograr “cero accidentes” y “cero contaminaciones”, llevan los principios del sistema de gestión a todos los niveles de la organización.

La integridad de las personas y el impacto ambiental son objetivos que contribuyen al mejoramiento de la productividad, un sitio de trabajo seguro, un entorno agradable, son escenarios ideales para la búsqueda de operaciones eficientes.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) debe utilizarse cuando los requerimientos de la organización sean los de tener plantas, equipos e instalaciones de todo tipo, confiables, continuas y seguras.

#### II.1.5.8. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M)

Mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM es una técnica más para la elaboración de un plan de mantenimiento en una planta industrial, nace de la necesidad de erradicar accidentes aéreos, por lo que fue creado por la industria de la aviación civil norteamericana por los años 60, tiene como objetivo principal elevar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento.

Esta filosofía del mantenimiento se basa en la detección de fallos, tanto los que ya han ocurrido como los que se están tratando de evitar por medio de acciones preventivas y por último los que tienen cierta probabilidad de ocurrir y ocasionar problemas graves.

Según (Dhillon, 2001), experto en la materia, detalla algunos de los objetivos importantes de RCM que a continuación se mencionan:

1. Para reunir información útil, para mejorar el diseño de los elementos, comprobada la fiabilidad se logra la satisfacción.
2. Reinstaurar la fiabilidad y seguridad de sus niveles inherentes en el caso de equipo o sistema de deterioro.

Este tipo de filosofía de mantenimiento se caracteriza por ayudar a entender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas y equipos, estudia todos los posibles problemas o fallos de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos además de garantizar una alta disponibilidad del sistema mediante unas series de acciones.

El implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad genera un sinnúmero de beneficios, entre los más representativos están una elevada productividad, motivación del recurso humano, mejora de la seguridad e higiene industrial y mayor control del impacto ambiental.

#### II.1.5.9. Mantenimiento Proactivo

En la revista mantenimiento mundial, redacta que la mayor reducción en el presupuesto de mantenimiento viene de la aplicación de tres principios, por cada falla hay una causa, siempre hay una mejor manera de hacerlo o un mejor producto para usar, si otra empresa similar puede obtener mejores resultados, nosotros también podemos (Benchmarking).

De igual manera (Widman, 2014), refiere que el Mantenimiento Proactivo está basado en tres principios: mejorar los Procedimientos antes de que causen fallas, evitar paradas del equipo para mantenimiento correctivo y aumentar el Intervalo entre intervalos para mantenimiento preventivo.

#### **II.1.6. Altos costos de Mantenimiento Correctivo**

Por definición, mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades desarrolladas en máquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados.

Por tanto, las labores que deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio.

Según (Garcés, 2011) considera que toda labor de mantenimiento correctivo exige una atención inmediata, por lo cual esta no puede ser debidamente programada y en ocasiones solo tramita y controla por medio de reportes.

Máquina fuera de servicio y en estos casos el personal debe efectuar solo los trabajos absolutamente indispensables para seguir prestando el servicio, disminuyen de esta manera al mínimo el tiempo de parada y la consiguiente producción perdida.

#### II.1.6.1. El Mantenimiento Correctivo

Es el tipo de mantenimiento más usado ya que es el que requiere de menor conocimiento, organización y en principio menor esfuerzo, aunque esto realmente no es así pues demanda trabajo anormal y por lo general fuera de horas hábiles.

La actividad fundamental que se desarrolla en mantenimiento correctivo es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista; antes que se realice la reparación propiamente dicha es necesario examinar el tipo y la causa del daño; esto es lo que suele llamarse comprobación del daño y mediante esta constatación se permite ver concretamente cuales son las operaciones que hay que efectuar (Garcés, 2011)

Es el modelo más primitivo de mantenimiento, o su versión más básica, en él, es el equipo quien determina las paradas, su principal objetivo es el de poner en marcha el equipo lo más pronto posible y con el mínimo costo que permita la situación.

### II.1.6.2. Características

Según (Garcés, 2011) considera que los altos costos de mano de obra, y se precisa de gran disponibilidad de la misma, altos costos de oportunidad (lucro cesante), debido a que los niveles de inventario de repuestos deberán ser altos, de tal manera que puedan permitir efectuar cualquier daño imprevisto.

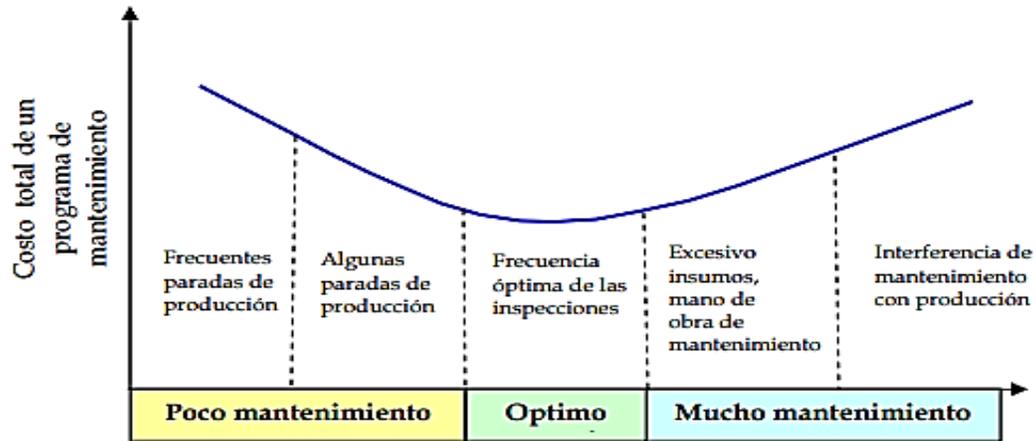
### II.1.6.3. Generalmente es desarrollado en pequeñas empresas

La práctica enseña que, aunque la filosofía de mantenimiento de la compañía no se base en la corrección, este tipo de mantenimiento es inevitable, dado que es imposible evitar alguna falla en un momento determinado.

#### a) Desventajas

- Tiempos muertos por fallas repentinas
- Una falla pequeña que no se prevenga puede con el tiempo hacer fallar otras partes del mismo equipo, generando una reparación mayor.
- Es muy usual que el repuesto requerido en un mantenimiento correctivo no se encuentre disponible en el almacén, esto debido a los altos costos en que se incurre al pretender tener una disponibilidad de todas las partes susceptibles de falla.
- Si la falla converge con una situación en la que no se pueda detener la producción, se incurre en un trabajo en condiciones inseguras.
- La afectación de la calidad es evidente debido al desgaste progresivo de los equipos.
- Ocasiona pérdidas de materia prima.
- Provoca altos costos en las producciones.

**Figura 17.** Costo total de mantenimiento



Fuente: Garcés, 2011

#### II.1.6.4. Costos de mantenimiento

Es necesario calcular los costos de mantenimiento correctivo ya que estos influyen directamente a los costos totales de mantenimiento y el propósito principal de optimizar los costos de mantenimiento preventivo es para reducir los costos totales de mantenimiento (Garcés, 2011).

**Cuadro 1.** Costos de mantenimiento correctivo

Costos por mano de obra	Costos por horas extras
Costos por materiales fungibles	Costos por repuestos
Costos por perdidas de producción prima	Costos por perdidas de materia
Costos por multas debido al daño ambiental	Costos por perdidas de ventas
Costos por perdidas de calidad	Costos Administrativos
Costos de movilización	Costos de Seguridad
Costos de inversiones	Perdidas de capacidad

Fuente: Garcés, 2011.

#### II.1.6.5. Costos por mano de obra

Según (Garcés, 2011) son aquellos que incluyen los costos hora hombre de los técnicos u obreros que se necesitan para ejecutar reparaciones imprevistas. La mano de obra directa describe a los trabajadores que están directamente involucrados en la producción de bienes o la prestación de servicios.

El trabajo es el esfuerzo humano aplicado al proceso de producción y puede ser físico o mental, por ello requiere que sea remunerado o pagado.

Este cálculo es sencillo y consiste en sumar los valores mensuales recibidos por los mantenedores (planificadores y ejecutores), esta sumatoria se divide para el número de ejecutores y para 4122 horas que corresponde al número de horas promedio de trabajo de un empleado (días laborales en el mes multiplicado por horas diarias de trabajo), en la tabla se calcula los costos de mano de obra mensuales de los trabajadores del departamento de mantenimiento.

**Cuadro 2.** Cálculo de sueldos mensuales

<b>Cargo</b>	<b>Sueldo Mensual</b>	<b>Número De Ejecutores</b>	<b>Total Anual</b>
Director de Mantenimiento	Q. 13,000.00	1	Q. 156,000.00
Supervisor de Mantenimiento	Q. 7,500.00	1	Q. 90,000.00
Técnico	Q. 5,000.00	5	Q. 300,000.00
<b>Total</b>	<b>Q. 25,000.00</b>	<b>7</b>	<b>Q. 546,000.00</b>

Fuente: APM Terminals, 2020.

- a)  $CMO = HMC \times C/H \times CP$
- b) Dónde:
- c) CMO = Costos de mano de obra
- d) HMC = Horas de mantenimiento correctivo

- e)  $C/H = \text{Costos/Hora}$
- f)  $CP = \text{Cantidad de personal}$

a) Costos por horas extras

Son los costos generados por las horas extras que el personal emplea para realizar mantenimiento correctivo.

b) Costos por materiales fungibles

Según (Garcés, 2011) son aquellos que incluyen los costos de materiales también denominados suministros de mantenimiento tales como: pintura, tuercas pernos, focos, fusibles, alambres, accesorios para tubos, grasas, empaques, brocas, cuchillas, brochas, entre otros materiales que se emplea para efectuar los diversos trabajos de mantenimiento correctivo.

c) Costos por repuestos

Son los costos de las piezas que se emplea para realizar cambios en las reparaciones imprevistas.

d) Costos por pérdidas de producción

Son los que se generan por las paradas inesperadas y mucho más si son frecuentes impacta negativamente en la producción (Garcés, 2011).

e)  $PP = \text{cantidad de ítems que no se produjeron} \times \text{utilidad bruta}$

f) Costos por pérdida de materia prima

Son los costos que se generan por perdida de materia prima que no se puede reciclar.

g) Costos por multas debido al daño ambiental

Son aquellos costos que se generan por daños imprevistos que afectan al medio ambiente.

h) Costos por pérdidas de ventas

Si los tiempos de entrega prometidos a los clientes no pueden ser cumplidos por paradas imprevistas, lo más probable es que el cliente busque otro proveedor

i) Costos por pérdida de calidad

Costos relacionados con rechazos o reproceso por producción de defectuosos esto ocurre cuando el mantenimiento es deficiente.

j) Costos administrativos

Son aquellos costos efectuados en las diversas gestiones administrativas no programadas que realiza el departamento de mantenimiento.

k) Costos de movilización

Son aquellos costos efectuados en las diversas movilizaciones que se realizan para la adquisición de repuestos.

l) Costos de seguridad

Según (Garcés, 2011) considera que son aquellos costos de la seguridad del personal por fallas en los dispositivos de seguridad también están relacionados con accidentes por la ocurrencia de fallas funcionales.

m) Costos de inversión

Debido a los daños repetitivos se requiere más repuestos en las bodegas. Mantener mayor cantidad de repuestos en stock genera costos de inversión considerables.

## Análisis de costos

La importancia del análisis de costos es determinar y estimar la cantidad de materiales, mano de obra, contratos de mantenimiento a empresas externas, minimizar tiempos de paros y bajar los costos de mantenimiento en general.

El manejo adecuado del análisis de costos sirve para establecer si se hace crecer o quebrar a una empresa. Para manejar adecuadamente los costos, se debe contar con una herramienta que pueda brindar información a lo largo del tiempo en relación con los gastos efectuados en el rubro de mantenimiento, mano de obra y depreciación de equipo.

Es necesario diseñar un sistema de flujo de datos que pueda ser procesado y analizado para tomar acciones correctivas.

Los tipos de costos que se involucran en el mantenimiento son los siguientes.

### a) Costos directos

Se relacionan con el rendimiento de la empresa, en el costo directo influyen la cantidad de tiempo dedicada al equipo y la atención que se requiere al mismo. Es importante conocer la cantidad de inspecciones y revisiones, así como las actividades y controles que se realizan a los equipos.

Incluyen el costo de mano de obra directa y contratada; costos de repuestos directos y contratados; costo de materiales; costo de utilizar herramienta y equipos propios y subcontratados; y el costo de contratos para la realización de intervenciones.

### b) Costos indirectos

Involucran una supervisión, instalaciones, uso de taller de servicio, accesorios diversos, administración, entre otros.

#### c) Costos generales

Son aquellos en los que incurre una empresa para sostener diversas áreas de apoyo o de función, no necesariamente productivos, y que dependen de otras áreas que desempeñan funciones que se relacionan directamente al negocio.

#### d) Costos de mantenimiento

“El conocimiento de los costos de mantenimiento tiene como fin precisar de manera objetiva y realista lo que cuesta la función de mantenimiento para reducir los costos globales del mismo a un nivel mínimo o mantenerlos, respaldados por una buena producción, alta calidad, y un buen estado de las instalaciones, además de generar información que facilite al personal la toma de decisiones” (Benítez Montalvo, 2012, p. 12).

#### Costo global de mantenimiento

Es la suma de cuatro costos:

- a) Costo de las intervenciones (Ci): mantenimiento preventivo y correctivo.
- b) Costo de las fallas (Cf): son los que causan pérdida en el margen de utilidad debido a los problemas directos de mantenimiento.
- c) Costo de almacenamiento (Ca): costos por almacenar piezas de inventario necesarias e insumos para el equipo.
- d) Costo de sobreinversiones (Csi): cuando se compran equipos cuyas inversiones iniciales son mayores que las de otros que cumplen los mismos requerimientos, pero cuyos costos de intervención y almacenamiento asociados se estiman menores. (Espinosa Fuentes, 2010).

El costo global está determinado por la fórmula 1:

$$C_g = C_i + C_f + C_a + C_{si} \text{ [Ec. 1]}$$

### Costos estimados

Los costos estimados representan únicamente una tentativa en la anticipación de los costos reales y están sujetos a rectificaciones a medida que se comparan con los mismos. Los costos estimados son una técnica que se basa en la experiencia habida, el costo estimado indica lo que puede costar algo, motivo por el cual al final del periodo se ajustan a los costos reales.

### - Aceites hidráulicos

Líquido que transmite potencia y es utilizado para transformar, transmitir los esfuerzos mecánicos y controlarlos a través de la presión del mismo.

Las funciones principales de los aceites hidráulicos son:

- a) Transmitir potencia entre dos puntos.
- b) Aplicar cierre entre las piezas móviles, reducen desgastes y fricción.
- c) Proteger contra la herrumbre, corrosión y, a la vez, lubricar las piezas de un sistema.
- d) Proteger contra el desgaste mecánico de dos cuerpos en contacto.

Los aceites tienen varias aplicaciones, desde el consumo humano, como el aceite de oliva, hasta usos mecánicos e industriales como los aceites combustibles.

Los aceites hidráulicos cumplen varias funciones como lubricación para partes móviles, enfriamiento, disipación de calor, protección anticorrosiva y limpieza de mecanismos.

Las temperaturas de operación del aceite hidráulico influyen sobre las propiedades físicas y químicas. Cuando las temperaturas son altas, reducen la vida útil del fluido, la viscosidad y la resistencia de la película hidráulica. Las temperaturas bajas suelen presentar problemas con el bombeo.

La viscosidad también juega un papel importante en los aceites hidráulicos, porque afecta las propiedades de la fricción del líquido, el funcionamiento de la bomba hidráulica, la cavitación y el consumo de energía. La capacidad anticorrosiva del aceite hidráulico se refiere a la capacidad de reducir efectos de humedad en las superficies metálicas en contacto.

El punto de inflamación se relaciona con la característica de los aceites hidráulicos que comienzan a inflamarse al entrar en contacto con una flama y una vez se retiran dejan de arder. El punto de congelación aquel en el que los aceites hidráulicos pueden fluir al ser sometidos a bajas temperaturas.

La compresibilidad es una característica importante en estos aceites, porque soportan altas presiones. La intensidad de presión a la que están expuestos depende de la distancia entre el punto de origen y el receptor del aceite.

#### **- Análisis de aceites**

Caterpillar ha desarrollado un sistema de administración de mantenimiento que evalúa la degradación del aceite y detecta las indicaciones iniciales de desgaste de los componentes internos. El sistema desarrollado por Caterpillar para análisis de aceite se denomina análisis SOS de aceite y el sistema forma parte del programa servicios SOS.

El análisis SOS de aceite se divide en cuatro categorías:

- Régimen de desgaste de componentes
- Estado del aceite
- Contaminación del aceite
- Identificación del aceite

El análisis del estado del aceite se usa para determinar si el aceite se ha degradado. Se hacen pruebas para comprobar la oxidación, la sulfatación y la viscosidad del aceite. El analista SOS utiliza, entonces, pautas establecidas o análisis de tendencias para determinar si el aceite ha llegado al final de su vida útil.

Para obtener los mejores resultados, las muestras de aceite del sistema hidráulico se deben tomar en intervalos de 500 horas. El intervalo puede proporcionar una indicación oportuna de contaminación y degradación del aceite.

Existen dos formas de tomar las muestras de aceite:

- Utilizan una válvula de muestreo lineal, en el caso de los aceites a presión.
- Utilizan el método de extracción al vacío.

#### II.1.6.6. Pérdidas de capacidad

Implica deterioro y desgaste del equipo porque se aplica mantenimiento correctivo en largos periodos de operación, esto significa una reducción en la capacidad del equipo, pérdidas de capacidad = productos que no se producen  $\times$  utilidad bruta. Cuando se habla de mantenimiento correctivo, nos referimos a reparar las averías una vez que han aparecido.

El principal inconveniente es que la avería puede suponer la parada de una máquina, y es necesario planificar la intervención asignar los recursos humanos necesarios abastecerse de repuestos preparar herramientas elaborar procedimientos de seguridad e intervención

El mantenimiento correctivo resulta inevitable, porque es imposible predecir y evitar todas las averías.

**Figura 18.** Cambio de cojinetes a sistemas de cables auxiliares de elevación



Fuente: APM Terminals, 2020.

#### **- Técnica de mantenimiento VOSO**

La técnica VOSO es una de las más económicas para utilizar en cualquier industria. Su base principal es el sentido común, para implementar esta técnica son necesarias las listas de chequeo. Se basa principalmente en utilizar todos los sentidos, básicamente se tiene que ver, oír, sentir y olfatear para detectar cualquier anomalía a simple vista. La técnica se recomienda usar por lo menos a 24 pulgadas de distancia para localizar fallas a simple vista.

En relación con los sentidos utilizados, la vista es uno de los principales. Con este sentido se pueden detectar fugas o utilizar instrumentos para monitorear temperaturas, presiones, niveles, entre otros. Es de vital importancia mantener los ambientes limpios para que sean fáciles de revisar. El sentido del olfato brinda la facilidad de detectar desgastes, fricciones, motores recalentados, entre otros. Es importante seguir listas de chequeo para detectar cualquier olor diferente a la norma que se tenga en cada proceso.

Sentir es muy importante, el sentido del tacto puede facilitar la detección de cualquier falla, por medio de temperaturas o vibraciones fuera de los rangos normales de operación de cualquier tipo de equipo que conste de engranajes, cojinetes, chumaceras, motores, entre otros.

Oír es uno de los sentidos que permite detectar sonidos extraños, ruidos, cambios de ruido, fugas de presión, entre otros. Este sentido es muy útil en ambientes de trabajo donde el nivel de decibeles no es muy alto, es fácil detectar sonidos diferentes en el lugar de trabajo distintos a los habituales.

### **III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La boleta de investigación para la comprobación del efecto general está dirigida al director del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; mediante un censo.

La boleta de investigación para la comprobación de la causa está dirigida a los 3 directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; mediante un censo

Las boletas de investigación se utilizaron para la comprobación de la hipótesis siguiente: “Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.

Se presenta a continuación los cuadros y las gráficas obtenidas en el trabajo de campo realizado por el investigador; las que se clasifican de la manera siguiente:

Del cuadro 3 al 5 se refiere a la comprobación de la variable dependiente o efecto; del cuadro 6 al 8 se obtienen los datos para comprobar la variable independiente o causa principal.

### III.1. Cuadros y gráficas para la comprobación de la variable dependiente (Y) o el efecto.

**Cuadro 3.**

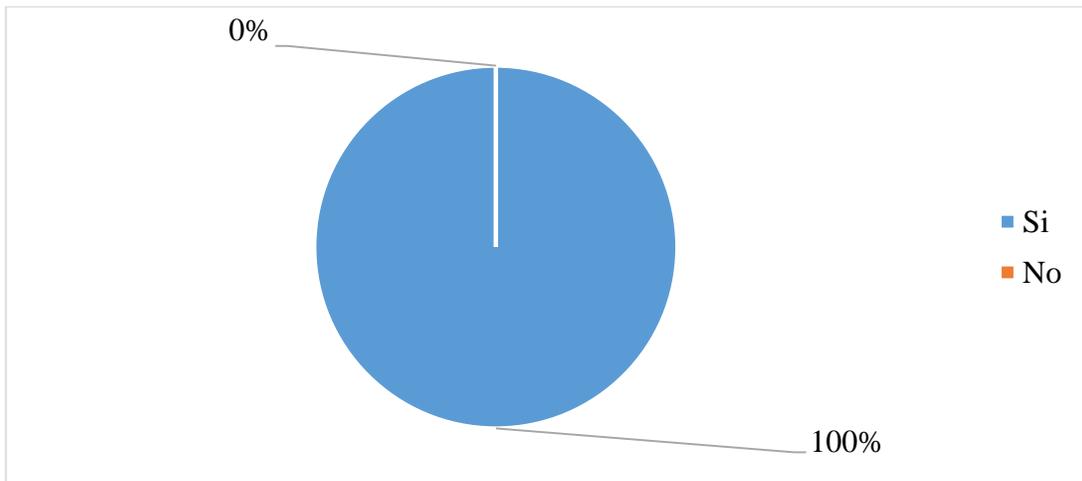
Existencia de altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	1	100
No	0	0
Totales	1	100

**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

**Gráfica 1.**

Existencia de altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).



**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que el director del Departamento de Mantenimiento considera que existen altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG), con esto se ayuda a comprobar la variable dependiente.

#### Cuadro 4.

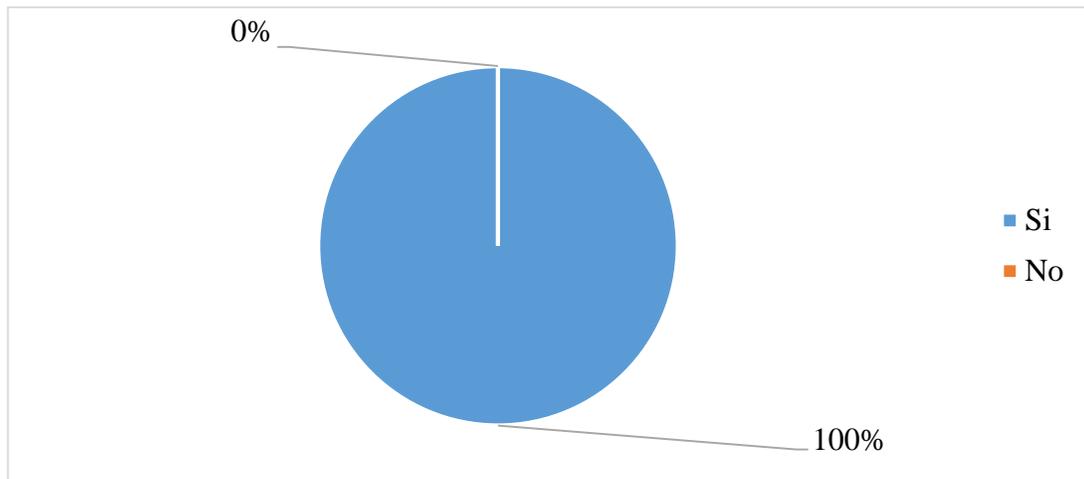
Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	1	100
No	0	0
Totales	1	100

**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

#### Gráfica 2.

Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico.



**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que el director del departamento de mantenimiento considera que los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico, con esto se ayuda a comprobar la variable dependiente.

**Cuadro 5.**

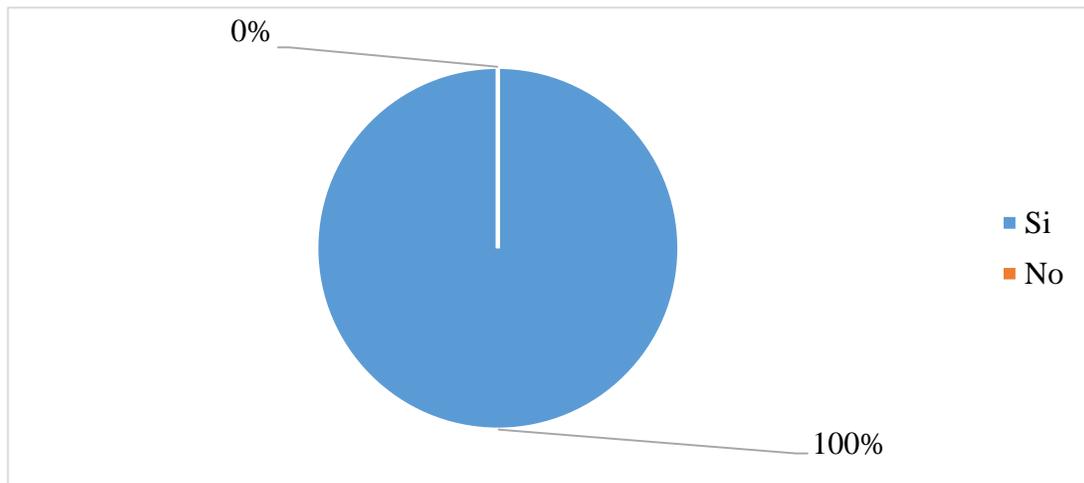
Consideración de reducción de costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	1	100
No	0	0
Totales	1	100

**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

**Gráfica 3.**

Consideración de reducción de costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).



**Fuente:** Información obtenida del director del Departamento de Mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que el director del departamento de mantenimiento considera que se pueden reducir los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG), con esto se ayuda a comprobar la variable dependiente.

### III.2. Cuadros y gráficas para la comprobación de la causa o variable independiente (X)

**Cuadro 6.**

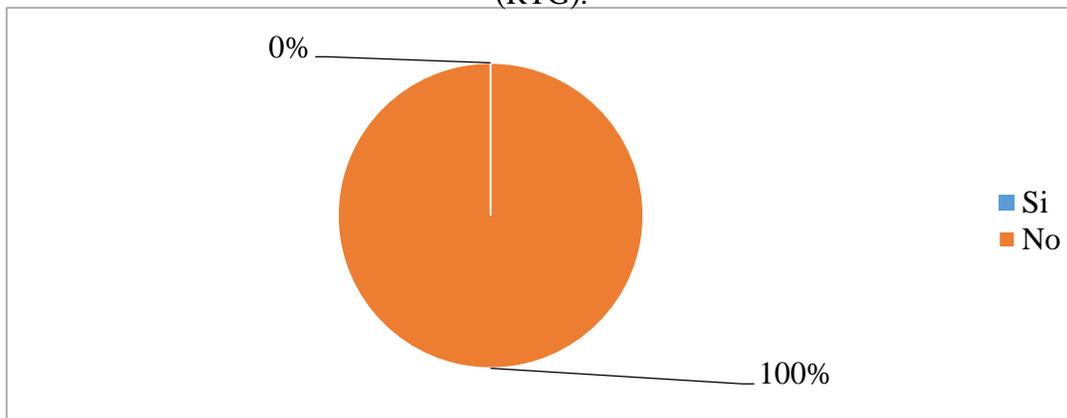
Directivos que cuentan con el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	0	0
No	3	100
Totales	3	100

**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

**Gráfica 4.**

Directivos que cuentan con el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).



**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que los directivos argumentan que no cuentan con un plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG), con esto se ayuda a comprobar la variable independiente.

### Cuadro 7.

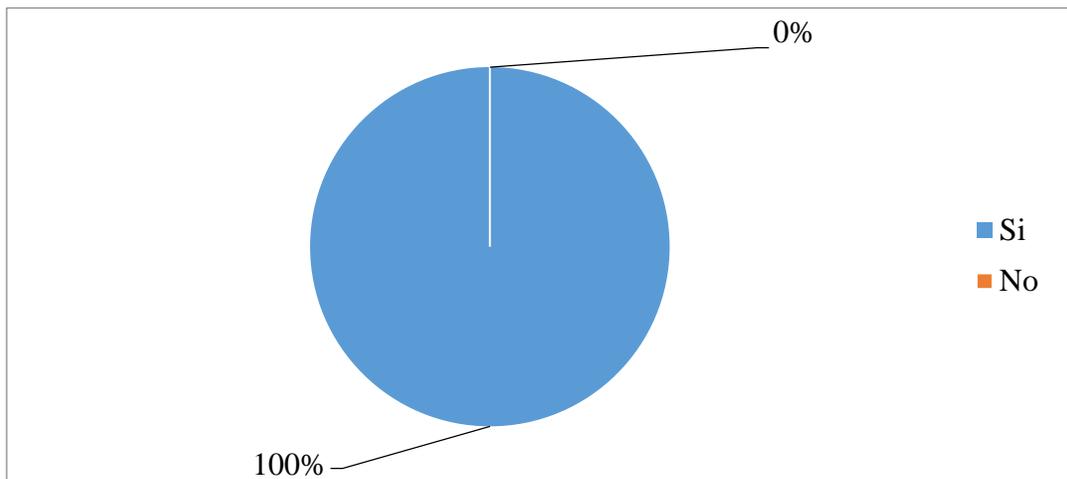
Directivos que consideran necesario el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	3	100
No	0	0
Totales	3	100

**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

### Gráfica 5.

Directivos que consideran necesario el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).



**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que los directivos del departamento de mantenimiento consideran que se necesita un plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG), con esto se ayuda a comprobar la variable independiente.

**Cuadro 8.**

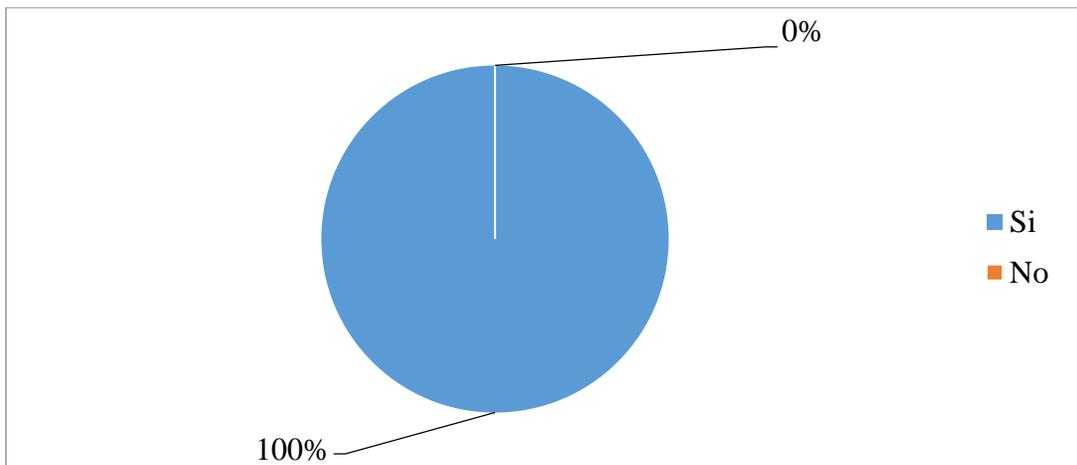
Directivos que apoyarían la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	3	100
No	0	0
Totales	3	100

**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

**Gráfica 6.**

Directivos que apoyarían la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG).



**Fuente:** Información obtenida de los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; junio de 2020.

Análisis: Se puede apreciar en el cuadro y grafica anteriores, que los directivos del departamento de mantenimiento consideran apoyar la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG), con esto se ayuda a comprobar la variable independiente.

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Luego de realizar esta investigación en base al árbol de problemas y documentos relacionados con la metodología aplicada, datos estadísticos, gráficos y los costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se determina presentar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

### **IV.1. Conclusiones**

1. Se comprueba la hipótesis: “Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.
2. Existen altos costos de mantenimiento correctivo en empresa APM Terminals, por no implementar un plan de mantenimiento predictivo.
3. Los altos costos de mantenimiento correctivo de la grúa se deben a la falta de capacitación del personal técnico por no tener conocimiento en programas de mantenimiento predictivo.
4. No se reducen los altos costos de mantenimiento correctivo por no implementar técnicas de evaluación, análisis, observación, vibración, termografía y ultrasónica.
5. La empresa no cuentan con el plan de mantenimiento predictivo porque no hay ningún instrumento redactado con especificaciones y definiciones concretas sobre el mantenimiento predictivo.

6. Se necesita un plan de mantenimiento predictivo para prevenir las fallas y garantizar el funcionamiento de la Grúa y que se cumpla con las especificaciones del fabricante.

7. No existe apoyo para la implementación del plan de mantenimiento predictivo de esta manera, las fallas son más frecuentes por lo que se generan los altos costo de mantenimiento correctivo.

#### **IV.2. Recomendaciones**

1. Implementar la propuesta sobre el Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

2. Minimizar los altos costos de mantenimiento correctivo en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, y aplicar la propuesta.

3. Capacitar al personal técnico de la empresa, en programas de mantenimiento predictivo para reducir los costos de mantenimiento correctivo.

4. Reducir los altos costos de mantenimiento correctivo en la empresa, con implementación de las técnicas más relevantes del mantenimiento predictivo.

5. Aplicar la propuesta para evitar los altos costos de mantenimiento correctivo de la empresa.

6. Implementar un plan de mantenimiento predictivo para evitar fallas inesperadas y atrasos en horas de trabajo.

7. Brindar apoyo a la implementación del plan de mantenimiento predictivo, para que se reduzcan las fallas y los altos costos de mantenimiento correctivo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bannister D., Castro, A., Flores I., Contardo, M., Tamayo, J. Vergara, M y Acosta, A. (2006) *Mantenimiento Predictivo, la ventaja de anticiparse a las fallas*. Electroindustria.
2. Botero, G. (1991) *Manual de mantenimiento*. Grupo de Publicaciones SENA Digeneral.
3. Díez, O. (2015) *Projecte d'implantació d'una grúa torre de grans dimensions Av/Ronda Gran nº 170*. Bachelor's thesis.
4. Dhillon, B. S. (2001). *Mantenimiento Ingeniería, Un Enfoque Moderno*. Florida: CRC Press.
5. Duffuaa, S.; Raouf, A. Y Dixon, J. (2007) “*Sistemas de mantenimiento planeación y control*”, Limusa Wiley, Traducido México.
6. García, O. (2012) *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogotá.
7. González, J. (2008). *Teoría y prácticas del mantenimiento avanzado*. Segunda Edición. Madrid, España.
8. Jácome, L. (2008). “*Ingeniería del Mantenimiento*”; EPN: Folleto de clases Ingeniería de mantenimiento. EPN. FIM.
9. Konecranes PLC. (2014) *Manual De Mantenimiento RTG 16w* Copyright.
10. Lefcovich, M. (2009). *TPM mantenimiento productivo total: un paso más hacia la excelencia empresarial*. El Cid Editor.

11. López Arias, E. A. (2009). *El Mantenimiento Productivo Total TPM Y La Importancia Del Recurso Humano Para Su Exitosa Implementación*. Bogotá.
12. Martínez, D. (2016) *Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico de 50 t de capacidad y 50 m de luz* Universitat Jaume I Castellón de la Plana.
13. Miravete, E. L. (2010). *Los transportes en la ingeniería industrial*. Barcelona, España.
14. Norma ISO 4309 (2010) *Grúas. Cuerdas de alambre. Cuidado y mantenimiento, inspección y descarte*.
15. Widman, R. (2014). *Mantenimiento Proactivo*. Mantenimiento mundial revista Mantenimiento mundial Revista Virtual Pro, 7.

### **Tesis**

16. Barrera, A. y Villegas, R. (2013) *Análisis, Diseño E Implementación de un Sistema que Permita Optimizar el Consumo de Energía en Grúas del Puerto de Guayaquil* (Tesis Inédita de Ingeniería Electrica) Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Facultad De Ingenierías.
17. Carranza, J. y Flores, M. (2018) *Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para automatizar la Encajonadora de Botellas de la Línea de Envasado, Planta San Mateo Lambataque Perú* (Tesis Inédita de Ingeniería Electrónica) Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
18. Garcés, L. (2011) *Optimización Del Mantenimiento Preventivo En Función Del Costo “En La Empresa Bioalimentar Cia. Ltda Escuela Superior Politécnica*

*De Chimborazo Riobamba Ecuador* (Tesis Inédita de Ingeniero de Mantenimiento) Facultad De Mecánica Escuela De Ingeniería De Mantenimiento.

19. Giraldo J. y Díaz, E (2005) *Aplicación De Controladores Lógicos Programables (PLC) Para El Control De Superestructuras Portuarias* (Tesis Inédita de Ingeniería Electrónica) Universidad Tecnológica De Bolívar Facultad De Ingenierías Dirección De Programas De Ingeniería Electrica Y Electrónica Cartagena De Indias, D. T. Y C.
20. Molina, U. y Cruz, C. (2012) *Rediseño y construcción del Módulo de Pruebas de un Variador de Frecuencia y elaboración de la guía de prácticas para su uso en el Laboratorio de Control de Movimiento* (Tesis Inédita de Ingeniero Eléctrico-Mecánico con Mención en Gestión Empresarial Industrial) de Universidad Católica De Santiago De Guayaquil Facultad De Educación Técnica Para El Desarrollo.
21. Ogaz, C. (2018) *Análisis de Criticidad a Grúa Rubber Tyred Gantry (RTG) en Terminal Pacífico Sur de Valparaíso* (Tesis Inédita de Ingeniería de Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial) Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción – Rey Balbuino De Belgica.
22. Villodres, A. (2017) *Descripción y estudio técnico de la grúa de patio RTG. Sistema eléctrico y mantenimiento* Universitat Politècnica de Catalunya Faculta de Nàutica de Barcelona

**e grafia**

23. Electric (2020) <http://www.schneider-electric.com.ar> fecha de visita 22/ 06/2020

Hora de visita 11:00 P: M.

24. APM Terminals (2020) <https://www.apmterminals.com/es/puerto-quetzal/> fecha de visita 22/ 07/2020 Hora de visita 11:00 P: M

## ANEXOS

### Anexo 1. Modelo de investigación dominó.

Problema	Propuesta	Evaluación
<p><b>1) Efecto o variable dependiente</b></p> <p>Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años.</p>	<p><b>4) Objetivo general</b></p> <p>Disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	<p><b>15) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo general</b></p> <p><b>Indicadores:</b> Al tercer año después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo, se disminuyen los costos de mantenimiento correctivo en un 66%. (...)</p> <p><b>Verificadores:</b> Historial de costos de mantenimiento correctivo, Reportes de fallas de los componentes durante la operación, fotografías de piezas dañadas, Informes del técnico. (...)</p> <p><b>Cooperantes o Supuestos:</b> Los técnicos y operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals contribuyen con el cuidado y verificación continua de los componentes.</p>
<p><b>2) Problema central</b></p> <p>Fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	<p><b>5) Objetivo específico</b></p> <p>Reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	

<p><b>3) Causa principal o variable independiente</b></p> <p>Falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	<p><b>6) Nombre</b></p> <p>Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	<p><b>16) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo específico</b></p> <p>Indicadores: Al primer año después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo, se reducen las fallas de los componentes en un 28%. (...)</p> <p>Verificadores: Reportes de fallas de los componentes durante la operación, fotografías de piezas dañadas, Informes del técnico. (...) Cooperantes o Supuestos: Los operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals contribuyen con la operación adecuada de la Grúa.</p>
<p><b>7) Hipótesis</b></p> <p>“Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.</p>	<p><b>12) Resultados o productos</b></p> <p>*Se cuenta con la unidad ejecutora “APM Terminals”.</p> <p>* Se dispone del Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p> <p>* Se formula el programa de capacitación a los técnicos.</p>	

<p><b>8) Preguntas clave y comprobación del efecto</b></p> <p>1. ¿Cree que existen altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí___ No___</p> <p>2. ¿Cree que los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico? Sí___ No___</p> <p>3. ¿Considera que se pueden reducir los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG)? Si ___ No ___ si es si ¿Cómo?</p> <p>Será dirigida al director del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San</p>	<p><b>13) Ajuste de costos y tiempo</b></p> <p>(No aplica)</p>
---	--

<p>José, Escuintla; mediante un censo.</p>	
<p><b>9) Preguntas clave y comprobación de la causa principal</b></p> <p>1. ¿Cuenta con el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí____ No____</p> <p>2. ¿Considera necesario el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)? Si ____ No___ si es no ¿Por qué? _____</p> <p>3. ¿Apoyaría la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí____ No____</p> <p>Será dirigida a los 3 directivos del departamento de</p>	<p><b>14) Anotaciones, Aclaraciones y advertencias</b></p> <p>Forma de presentar resultados:</p> <p>El investigador para cada resultado debe identificar por lo menos cuatro actividades:</p> <p>R1: Se cuenta con la unidad ejecutora “APMTerminals”.</p> <p>A1 An</p> <p>R2: Se dispone del plan de mantenimiento predictivo para la Grúa.</p> <p>A1 An</p> <p>R3: Se formula el programa de capacitación a los técnicos.</p> <p>A1 An</p>

<p>mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla; mediante un censo.</p>	
<p><b>10) Temas del Marco Teórico</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grúa Pórtico (RTG).</li> <li>2. Componentes eléctricos.</li> <li>3. Componentes mecánicos.</li> <li>4. Fallas de componentes eléctricos y mecánicos.</li> <li>5. Tipos de mantenimiento.</li> <li>6. Altos costos de mantenimiento correctivo.</li> </ol>	
<p><b>11) Justificación</b></p> <p>El investigador debe establecer la importancia de su tema de tesis proyectan los altos costos de mantenimiento correctivo con y sin el plan de mantenimiento predictivo.</p>	

## Anexo 2. Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos

**Tópico:** Fallas de componentes eléctricos y mecánicos

**Efecto (variable dependiente o “Y”)**



Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años.

**Problema central**



Fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

**Causa principal**

**(Variable independiente o “X”)**



Falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

### **Hipótesis:**

“Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.

¿Es la falta de plan de mantenimiento predictivo y las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; la causa los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años?

## 2.1. Árbol de objetivos

**Fin u objetivo general**



Disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

**Objetivo específico**



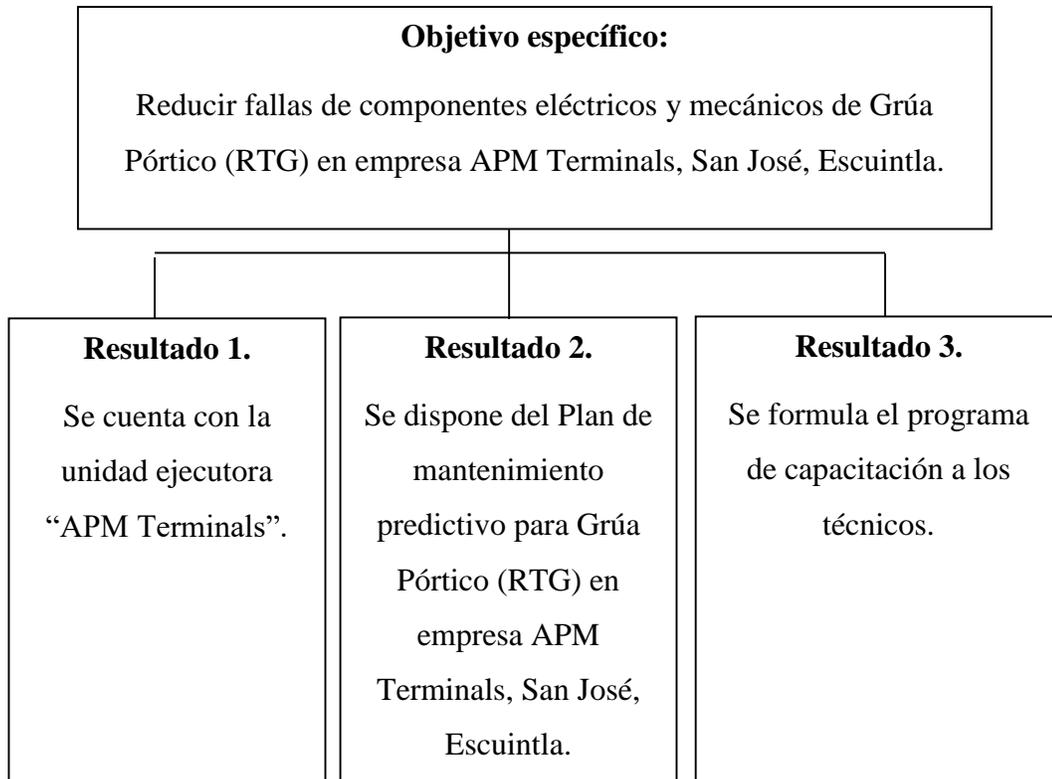
Reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

**Medio de solución**



Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

### Anexo 3. Diagrama del medio de solución de la problemática



#### **Anexo 4. Boleta de investigación para la comprobación del efecto general**

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Dependiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable dependiente siguiente: Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años.

Esta boleta censal está dirigida al director del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder y marcar con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. Cree que existen altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG)?

Si\_\_\_ No\_\_\_ si es si ¿Cómo? \_\_\_\_\_

2. ¿Cree que los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) se deben a la falta de capacitación del personal técnico? Sí\_\_\_ No\_\_\_

3. ¿Considera que se pueden reducir los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí \_\_\_ No \_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

## **Anexo 5. Boleta de investigación para comprobación de la causa**

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Independiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable independiente siguiente: falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Esta boleta censal está dirigida a los directivos del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder y marcar con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Cuenta con el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí \_\_\_\_\_  
No \_\_\_\_\_

2. ¿Considera necesario el plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)?  
Si \_\_\_ No\_\_\_ si es no ¿Por qué? \_\_\_\_\_

3. ¿Apoyaría la implementación del plan de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG)? Sí\_\_\_ No\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

#### **Anexo 6. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de muestra**

Este cálculo de la muestra no se realiza por que el número de la población es menor que 35 personas y debido a esto se realizó un censo a para la comprobación del efecto al director del departamento de mantenimiento de empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

En este caso no se calculó tamaño de la muestra; debido a que se trata de una población de 3 directivos que integran el departamento de mantenimiento en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, por lo que se optó por efectuar un censo para la comprobación de la causa por que el número de la población es menor a 35 personas.

## **Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación**

Este coeficiente es un indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables. En este caso el coeficiente de correlación es igual a 1 lo que indica que el comportamiento de estas variables obedece a la ecuación de la línea recta; cuya fórmula simplificada es la siguiente:  $y = a+bx$ .

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de  $+ - 0.80$  a  $+ - 1$ .

A continuación, se presentan los cálculos y fórmula utilizada para obtener dicho coeficiente.

Cálculo de coeficiente de correlación.

Año	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
	(años)	Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en (Q.)			
2015	1	300000	300000	1	90000000000
2016	2	350000	700000	4	122500000000
2017	3	450000	1350000	9	202500000000
2018	4	600000	2400000	16	360000000000
2019	5	800000	4000000	25	640000000000
Totales	15	2500000	8750000	55	1415000000000

Formula:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2 * (n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

n=	5
$\sum X =$	15
$\sum XY =$	8750000
$\sum X^2 =$	55
$\sum Y^2 =$	1415000000000.00
$\sum Y =$	2500000
$n\sum XY =$	43750000
$\sum X * \sum Y =$	37500000
NUMERADOR=	6250000
$n\sum X^2 =$	275
$(\sum X)^2 =$	225
$n\sum Y^2 =$	7075000000000.00
$(\sum Y)^2 =$	6250000000000.00
$n\sum X^2 - (\sum X)^2 =$	50
$n\sum Y^2 - (\sum Y)^2 =$	8.25E+11
$(n\sum X^2 - (\sum X)^2) * (n\sum Y^2 - (\sum Y)^2) =$	41250000000000.00
Denominador:	6422616.289
r=	<b>0.97312368</b>

**Comentario:** Según los datos obtenidos por la formula  $r = 0.97$ , esto significa que existe una correlación positiva perfecta, el índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa entre el efecto y la causa cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

## Anexo 8. Anexo metodológico de la proyección lineal

Para proyectar el impacto que genera la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal del fenómeno estudiado.

Previo a ello se procedió a determinar el comportamiento de la variable tiempo, respecto a los casos sujetos de estudio en el tiempo, conforme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente:

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de + - 0.80 a + - 1; cuyo cálculo es parte integrante de este documento.

A continuación, se presentan los cálculos y la tabla de análisis de varianza para proyectar los datos correspondientes.

$$y=a+bx.$$

Año	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
	(años)	Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en (Q.)			
2015	1	300,000	300000	1	90000000000.00
2016	2	350,000	700000	4	122500000000.00
2017	3	450,000	1350000	9	202500000000.00
2018	4	600,000	2400000	16	360000000000.00
2019	5	800,000	4000000	25	640000000000.00
Totales	15	2500000	8750000	55	1415000000000.00

### Fórmulas

n=	5
$\sum X = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{n}$	15
$\sum XY = b = \frac{\sum XY - \sum X * \sum Y}{n}$	8750000
$\sum X^2 =$	55
$\sum Y^2 =$	1415000000000.00
$\sum Y =$	2500000
$n\sum XY =$	43750000
$\sum X * \sum Y =$	37500000
Numerador de b: $\sum Y - b\sum X$	6250000
Denominador de b: $n\sum X^2 - (\sum X)^2$	
$n\sum X^2 =$	275
$(\sum X)^2 =$	225
$n\sum X^2 - (\sum X)^2 =$	50
b=	125000
Numerador de a:	
$\sum Y =$	2500000
$b * \sum X =$	<b>1875000</b>
Numerador de a:	<b>625000</b>
a=	<b>125000</b>

Proyección lineal.

Cálculos por año.

$Y = a + bx$  = costos de mantenimiento correctivo sin proyecto.

Y=años	a	+	(b	* X)	Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en (Q.)
Y= (2020)	125000	+	125000	(6)	Q. 875,000.00
Y= (2021)	125000	+	125000	(7)	Q.1,000,000.00
Y= (2022)	125000	+	125000	(8)	Q.1,125,000.00
Y= (2023)	125000	+	125000	(9)	Q.1,250,000.00
Y= (2024)	125000	+	125000	(10)	Q.1,375,000.00

Porcentaje propuestos de acuerdo con los resultados.

Año	6 (2020)	7 (2021)	8 (2022)	9 (2023)	10 (2024)		
<b>Resultado</b>							
<b>Resultado 1. (Se cuenta con la unidad ejecutora APM Terminals.)</b>							
Espacio físico.	3.00%	2.00%	1.00%	1.00%	1.00%	<b>Solución</b>	
Mobiliario y equipo.	2.00%	1.00%	2.00%	1.00%	1.00%		
Recursos financieros.	2.00%	2.00%	2.00%	1.00%	1.00%		
Perfil del ingeniero industrial.	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%		
<b>Resultado 2 (se dispone del plan de mantenimiento predictivo para la Grúa.)</b>							
Análisis de lubricantes	4.00%	3.00%	2.00%	2.00%	1.00%		
Termografía	3.00%	2.00%	2.00%	2.00%	1.00%		
Análisis de vibraciones	3.00%	2.00%	2.00%	2.00%	1.00%		
Análisis visual	2.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%		
Análisis de ultrasonido (UT)	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%		
<b>Resultado 3 (se formula el plan de capacitaciones a los técnicos)</b>							
Convocatoria de capacitación	3.00%	2.00%	2.00%	1.00%	1.00%		
Metodología	2.00%	2.00%	1.00%	2.00%	1.00%		
Frecuencia de capacitaciones	2.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%		
<b>Total</b>	<b>28.00%</b>	<b>20.00%</b>	<b>18.00%</b>	<b>16.00%</b>	<b>12.00%</b>		<b>94.00%</b>

Cuadro de porcentajes de resolución propuesto.

Y=años	Sin proyecto	Porcentaje propuesto (%)	Costos de Intervención con proyecto.	Costos de mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico en (Q.) Con proyecto
Y=(2019)	Q. 800,000	0	0	0
Y=(2020)	Q. 875,000	28	Q. 299,000.00	Q. 576,000.00
Y=(2021)	Q.1,000,000	20	Q. 539,200.00	Q.460,800.00
Y=(2022)	Q.1,125,000	18	Q. 747,144.00	Q.377,856.00
Y=(2023)	Q.1,250,000	16	Q. 932,600.96	Q.317,399.04
Y=(2024)	Q.1,375,000	12	Q. 1,095,688.85	Q.279,311.15

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

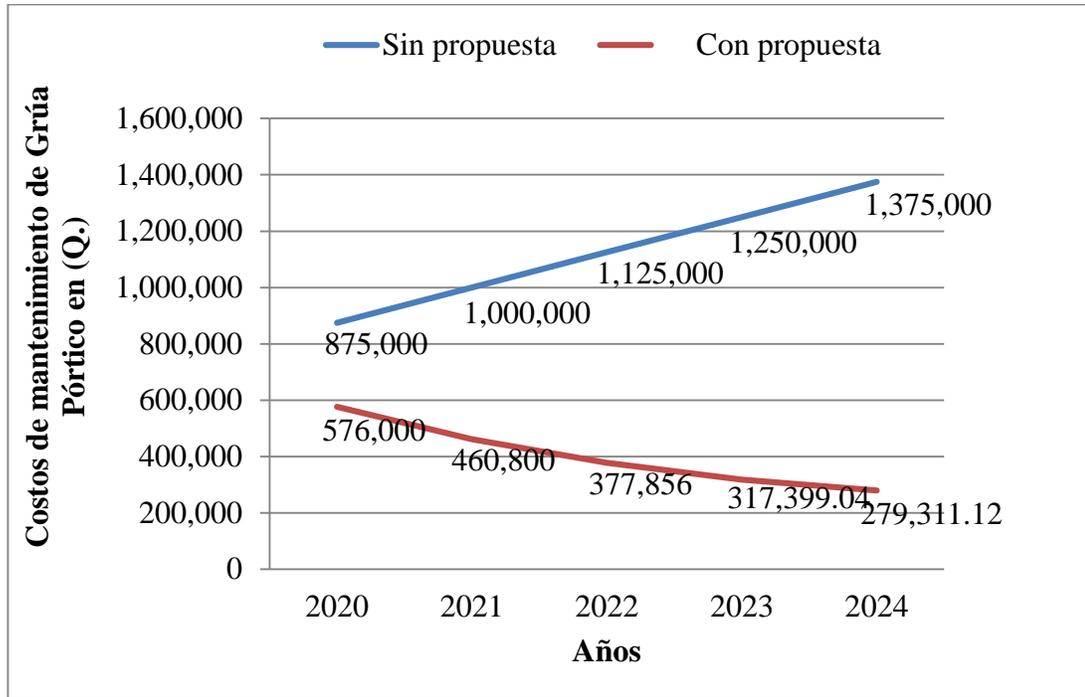
Según los datos presentados en el cuadro anterior, los porcentajes propuestos ayudan a reducir los altos costos de mantenimiento de Grúa Pórtico.

**Cuadro comparativo de la situación con y sin propuesta.**

Costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico en (Q.)		
Años	Sin propuesta	Con propuesta
2020	Q.875,000.00	Q.576,000.00
2021	Q.1000,000.00	Q.460,800.00
2022	Q.1125,000.00	Q. 377,856.00
2023	Q.1250,000.00	Q.317,399.04
2024	Q.1375,000.00	Q.279,311.12

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

**Gráfica comparativa con y sin proyecto.**



**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

**Análisis:**

Según los datos obtenidos en el cuadro y grafica anteriores se considera que para el año 2024 la propuesta presentada no es aplicada, se obtendrá un incremento de Q.1,375,000.00 en costos de mantenimiento correctivo; Si el plan de mantenimiento predictivo se implementa se tendrá una reducción significativa para el año 2024 de Q. 279,311.12 en los costó de mantenimiento correctivo esto demuestra que la propuesta se debe operativizar.

Osman Leonel Cardoza Castillo

**TOMO II**

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA GRÚA PÓRTICO  
(RTG) EN EMPRESA APM TERMINALS, SAN JOSÉ, ESCUINTLA.



Asesor General Metodológico:  
Ing. Agr. Juan Pablo Gramajo Pineda

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, marzo de 2022

Esta tesis fue presentada por el autor, previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables.

## **PRÓLOGO**

De acuerdo al reglamento del programa de graduación de Universidad Rural de Guatemala y previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, el estudio denominado “Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.”. Para proponer las posibles soluciones a la problemática sobre las fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Esta investigación tiene como finalidad ser útil a futuros estudiantes de diferentes universidades del país como fuente de consulta, se incluyen los resultados obtenidos en la investigación y que puedan aplicarse en diferentes áreas de trabajo similares a los que se realizan en Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Con el fin de solucionar la problemática planteada se presenta como aporte a dicha solución, que ayudara a la empresa a ser más eficiente y eficaz en el manejo de carga y descarga de contenedores a través de la unidad ejecutora APM Terminals, el plan de mantenimiento predictivo para la Grúa y un programa de capacitación a los técnicos.

## **PRESENTACIÓN**

El estudio de tesis titulado, “Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.”, fue realizado durante los meses de febrero al mes de diciembre de dos mil veinte; Se determinó que el problema de los altos costos de mantenimiento correctivo es debido a las fallas de componentes eléctricos y mecánicos por tal razón se hace la propuesta de un programa de mantenimiento predictivo que analice, evalúe, el deterioro y fallas de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

Se encuentran dos tipos de grúas pórtico las que se mueven a través de rieles que son exclusivamente para la descarga directa del buque al muelle y de patio que se traslada en cualquier sección del patio de contenedores a través de sus 16 ruedas de neumáticos

La grúa pórtico sobre neumáticos (RTG) se ha diseñado para las operaciones siguientes: Dirigir y controlar los equipos desde la cabina del operador; enganchar un contenedor de un tamaño específico con un bastidor de anclaje y soltarlo cuando está apoyado sobre una base firme.

Enganchar manualmente una carga distinta de un contenedor de forma uniforme a todas las argollas de suspensión del bastidor de anclaje y soltarla; elevar o bajar contenedores u otro tipo de carga y posicionarla con precisión, todas las operaciones se deben realizar dentro de los límites especificados por la clase de servicio del equipo.

De esta manera la empresa APM Terminals se convierte en la pionera en utilizar estos tipos de grúas y tecnología avanzada en la implementación de servicios marítimos de carga y descarga de contenedores en la República de Guatemala.

## **Índice**

No.	Contenido	Página
I.	RESUMEN.....	01
II.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	11
II.1.	Conclusión.....	11
II.2.	Recomendación.....	11
	ANEXOS	

## I. RESUMEN

El estudio identifica la problemática existente, la cual consiste en fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, de esta manera se hace la propuesta para mejorar la situación de la empresa a través de un plan de mantenimiento predictivo el cual ayuda a prevenir las fallas de los componentes mecánicos y eléctricos de la grúa.

Al ejecutar el plan se implementarán 5 programas que serán de beneficio para la empresa y mantendrán la grúa en constante vigilancia de sus piezas y motores análisis de lubricantes, termografía, análisis de vibraciones, análisis visual detección ultrasónica, de esta manera los operarios harán su trabajo de la manera más eficiente y eficaz.

El informe final de graduación o tesis está integrado de la siguiente forma: Prólogo y Presentación, además los siguientes capítulos:

I: Compuesto por: Introducción, planteamiento del problema, hipótesis, objetivo general y objetivos específicos, justificación, metodología conformada por métodos y técnicas tanto para la formulación como para la comprobación de la hipótesis.

II: Compuesto por: Marco teórico, que comprende aspectos conceptuales formados por aspectos doctrinarios y legales.

III: Compuesto por: Comprobación de hipótesis, formado por cuadros y gráficas de los resultados obtenidos de las encuestas relacionados a la variable dependiente “Y” e independiente “X” con su respectivo análisis.

IV: Compuesto por: Conclusiones y recomendaciones, luego bibliografía y anexos principales.

## Planteamiento del problema

La investigación realizada permite describir de la siguiente manera que la problemática encontrada en la empresa APM Terminals se origina desde el 2015 y que está formado por el efecto o variable dependiente, el problema central y la causa principal o variable independiente,

El efecto son altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en los últimos cinco años, esto ha generado cambios de piezas mecánicas y eléctricas de la grúa, debido a los costos que genera una reparación, también se da el atraso y pérdida de tiempo, a los usuarios del servicio de carga y descarga de contenedores, de tal manera que la propuesta a implementar es el mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) de manera que se reduzcan los costos de mantenimiento correctivo, de acuerdo a lo anterior descrito genera el problema central el cual se describe a continuación.

Las fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, se dan en los motores eléctricos de elevación y movimiento de pórtico de la grúa en los variadores de frecuencia termomagnéticos fusibles entre otros, y en lo mecánico daños en cojinetes, ejes, cajas reductoras y cables de elevación entre otros.

La falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, provoca desconocimiento en el personal técnico de la grúa, al incrementarse los costos de mantenimiento correctivo el atraso en cambio de piezas tanto mecánicas como eléctricas, de tal manera que la percepción que si tiene, es que el personal no está capacitado, por esta razón se propone la propuesta de un plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, de esta manera al aplicar la propuesta se soluciona la problemática.

### Hipótesis

Los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.

### Objetivos

Con la finalidad de poder darle una solución a la problemática estudiada y contribuir a la solución de los problemas encontrados, se trazaron los siguientes objetivos.

#### Objetivo general

Disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

#### Objetivo específico

Reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

### Justificación

La razón por la cual se realizó la investigación es porque en los últimos 5 años han existido altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG), como aproximación y solución del problema expuesto, se hace necesario realizar una propuesta.

Según la gráfica comparativa con o sin propuesta nos indica que si el plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla no se implementa para el año 2020, se incrementan los altos costos de mantenimiento correctivo; en Q. 875,000.00 de esta manera se hace la comparación del año 2019 que fue de Q. 800,000.00., Según los datos obtenidos en la proyección

nos indica que cada año se tendrá incremento en los costos de mantenimiento de Grúa Pórtico.

De esta manera si el plan de mantenimiento predictivo se implementa para el año 2020 se obtendrá una reducción significativa de Q.576,000.00 en costos de mantenimiento correctivo, por tal razón la propuesta se justifica su implementación porque para el año 2024 se obtendrá una reducción de Q.279,311.12, en los costos de mantenimiento de la Grúa Pórtico y el 94% de solución a la problemática

#### Metodología

La metodología utilizada para determinar el planteamiento de la hipótesis se realizó reuniones con el director y directivos, de mantenimiento para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminal se implementó un cuestionario se aplicó la técnica de la observación y se obtuvo datos anteriores de los procesos.

#### Métodos

Se utilizan para la formulación de la hipótesis y para la comprobación de la hipótesis.

#### Métodos utilizados en la formulación de la hipótesis

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método Deductivo y el Método del Marco Lógico.

#### a) Método Deductivo

Este se utilizó para identificar la problemática, que inicia con la observación de la estructura de la grúa y de esta manera definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar la Empresa APM Terminals, Puerto San José, Escuintla.

b) Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica

Es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.

c) El Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica, sirvió para la estructura y elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecer los resultados deseados y esperados dentro de la investigación, y los cooperantes internos como externos también para formular la hipótesis.

Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes: Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

a) Método inductivo

Se estudian los fenómenos particulares, que darán soluciones generales, con este método se obtuvieron los resultados de la problemática, se utilizó para realizar encuestas y para diseñar conclusiones, de esta forma poder comprobar la hipótesis planteada.

b) Método de síntesis

Una vez interpretada la información, se utilizó la síntesis para obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; la que sirvió para hacer congruente la totalidad de la investigación.

c) Método estadístico

Con este método se determinaron los parámetros necesarios, que ayudaron a la comprobación de la hipótesis, se utilizaron dos boletas para hacer uso de este método,

se tabulan los resultados de las encuestas, en los cuadros y gráficas, para comprobar la variable “Y” y la variable “X”.

#### Técnicas

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes:

#### Técnicas de investigación para la formulación de hipótesis

Las técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis son las herramientas que se detallan a continuación:

##### a) Lluvia de ideas

Se utilizó esta técnica para recopilar ideas de la problemática de todos los técnicos y operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals San José, Escuintla.

##### b) Observación directa

A través de esta técnica se observa el problema directo que se encuentra en la empresa APM Terminals, San José, Escuintla y se recolectó dicha información.

##### c) Investigación documental

Se utilizó, con el fin de no duplicar documentos, así mismo para obtener aportes y puntos de vista de otros investigadores sobre la problemática

##### d) Entrevista

La entrevista se realizó en las instalaciones de APM Terminals al gerente general, gerente de operaciones, director de mantenimiento, directivos de mantenimiento y colaboradores seleccionados de tal manera que se evaluaron varios aspectos para formular la hipótesis planteada.

Técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las siguientes herramientas:

a) Censo

Este se realizó al director del departamento de mantenimiento de empresa, para la comprobación del efecto debido a que la población utilizada es menor a 35 personas.

Para la comprobación de la causa se realizó otro censo el cual fue dirigido a los tres directivos del departamento de mantenimiento, debido al número menor de la población de 35 personas no se realizó el cálculo de la muestra.

b) Encuestas

Se realizó al director del departamento de mantenimiento en empresa APM Terminals para la comprobación del efecto.

Luego se realiza una encuesta a tres directivos del departamento de mantenimiento para comprobar la causa, en base a un cuestionario donde se les indicaba que marcaran con una x la respuesta que para el caso era la correcta.

Se elaboró un cuestionario para investigar el efecto (variable dependiente “Y”) y otro cuestionario para investigar la causa (variable independiente “X”).

c) Técnica de análisis

Esta técnica se aplicó al interpretar los datos tabulados en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, “Y” y “X”, que tuvieron como objeto la comprobación de la hipótesis.

#### d) Coeficiente de correlación

Este coeficiente sirve como indicador estadístico que nos señala el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables, en este caso en particular fue de 0.97 lo que indica que se relacionan entre sí y se comprueba el efecto al desarrollar el cálculo correspondiente se determina que el dato estadístico es confiable para proceder a la proyección.

#### e) Ecuación de línea recta

De la misma manera la proyección nos indica que los próximos cinco años si el plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla; Si se aplica, se obtendrá una reducción de costos en mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) y si no se aplica la propuesta según la proyección el aumento en los costos de mantenimiento cada año se incrementaran por lo que la proyección nos refleja las dos situaciones a futuro.

#### Marco teórico

Comprenden: Grúa pórtico, Componentes eléctricos, Componentes Mecánicos, Fallas de componentes eléctricos y mecánicos, Tipos de mantenimiento, Altos costos de Mantenimiento Correctivo.

Los anexos son:

#### Anexo 1. Modelo de investigación dominó

En este se elabora el árbol de problemas, objetivos, hipótesis, los cooperantes tantos internos como externos para ayudar a alcanzar los objetivos finales.

#### Anexo2. Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos

El diagrama del problema, el efecto (variable o dependiente Y) la causa (variable independiente “X”) y propuesta de solución. Así como la hipótesis identificada u objetivo de la investigación con el diagnostico esquematizado para su posterior comprobación.

#### Anexo 3. Diagrama del medio de solución de la problemática

El que corresponde al objetivo específico reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, esquematizado en tres resultados, que serán desarrollados en su orden.

#### Anexo 4. Boleta de investigación para la comprobación del efecto general

Variable dependiente “Y”; Altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años. Aplicada a los trabajadores de Empresa Melazas S.A., Puerto San José, Escuintla. Su objetivo es disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG).

#### Anexo 5. Boleta de investigación para la comprobación de la causa principal

Variable independiente “X”: Falta de plan para mantenimiento predictivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

#### Anexo 6. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de la muestra

Esta prueba no fue realizada por que el número de población es menor que 35 por lo que se realizó un censo

Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación

Indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq \pm 0.80$  y  $\leq \pm 1$ .

Anexo 8. Anexo metodológico de la proyección

Previo a ello se procedió determinar el comportamiento de la variable tiempo respecto a casos sujetos de estudio en el tiempo con forme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente  $y=a+bx$ .

Con el fin de solucionar la problemática planteada se presenta como aporte a dicha solución, tres resultados que son:

1. Se cuenta con la unidad ejecutora “APM Terminals
2. Se dispone del plan de mantenimiento predictivo para la Grúa
3. Se formula el programa de capacitación a los técnicos

Otros anexos

1. Anexo 1. Propuesta para solucionar la problemática
2. Anexo 2. Matriz de la estructura lógica
3. Anexo 3. Herramientas de trabajo para la realización de la propuesta

## **II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Luego de realizar esta investigación en base al árbol de problemas y documentos relacionados con la metodología aplicada, datos estadísticos y gráficos se determina presentar la siguiente conclusión y recomendación.

### **II.1. Conclusión**

1. Se comprueba la hipótesis: “los altos costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla, en los últimos cinco años, por las fallas de componentes eléctricos y mecánicos; es debido a la falta de plan de mantenimiento predictivo”.

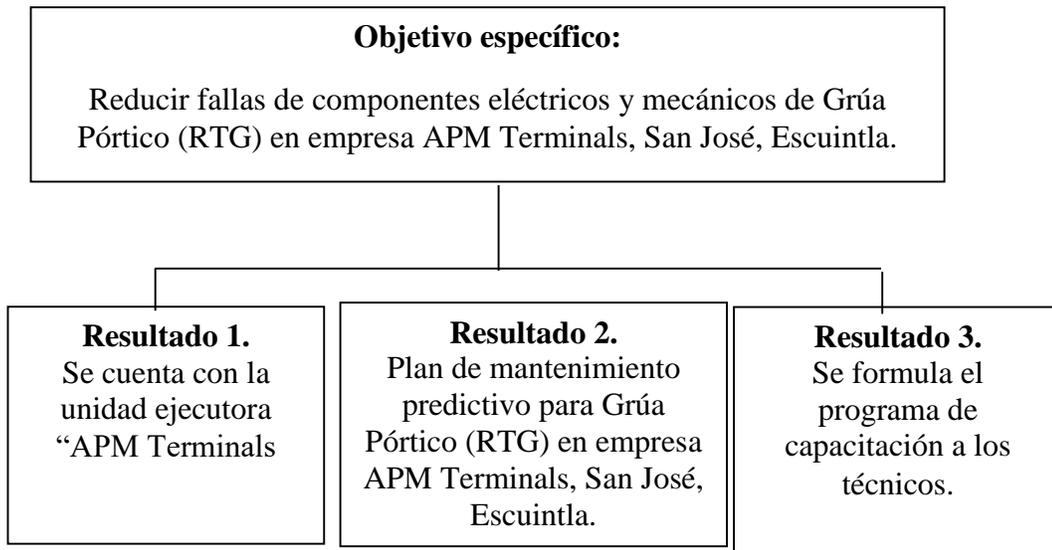
### **II.2. Recomendación**

1. Implementar la propuesta sobre el Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.

## ANEXOS

### Anexo 1. Propuesta para solucionar la problemática

#### Diagrama del medio de solución



#### Introducción

Se pretende que la empresa, cuente con un plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla. La misma está integrada por tres resultados necesarios para solucionar el problema. Los resultados se desarrollan a continuación:

#### **Resultado 1. Se cuenta con la unidad ejecutora APM Terminals**

##### **Actividad 1.** Espacio físico.

Es necesario contar con una oficina de 10 metros cuadrados la cual estará ubicada dentro del recinto portuario de la empresa APM Terminals, San José, Escuintla, para poder instalar ampliamente al personal asignado

##### **Actividad 2.** Mobiliario y equipo.

Estos se obtendrán a través de la gestión que ara el ingeniero industrial con la empresa.

- 4 Escritorio de oficina	n) 4 Sillas secretariales
- 4 Computadoras HP.	o) 4 Mermas de hojas papel bond
- 4 lapiceros	p) 4 lápices
- 1 impresora Multifuncional HP Laser 1200W-Resolución de Impresión: 600X600DPA	
- 1 Endoscopio Industrial Digital, endoscopio 1080P, cámara de inspección de videoscopio LCD Impermeable, Pantalla LCD a Color de 4.3 Pulgadas	
- 1 Cámara termográfica FLIR E95 - 2 lentes: 24° y 14	
- 1 Cámara Acústica Industrial - Fluke 900 (ultrasónica)	
- 1 medidor de Presión de Aceite de 6722 Hub De Herramientas Tester Kit Calibre Diesel Gasolina.	

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

### **Actividad 3:** Recursos financieros.

La empresa APM Terminals, proporcionara los recursos necesarios para la implementación de la propuesta plan de mantenimiento predictivo para la Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla

### **Actividad 4.** Perfil del ingeniero industrial

Un gerente con el siguiente perfil: que sea ingeniero industrial con conocimientos sobre planes de mantenimiento predictivo para la Grúa Pórtico (RTG) el cual se reclutará y estará a cargo de la unidad ejecutora

### **Resultado 2. Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.**

	<p><b>Resultado 2.</b> Se dispone del Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>
---	---

### **Actividad 1. Análisis de lubricantes**

La técnica del análisis de aceites viene aplicándose desde la Segunda Guerra Mundial al mantenimiento predictivo de las flotas de barcos y aviones de combate en la actualidad, el análisis de aceites se viene a realizar por parte de los suministradores de

aceites (Cepsa, Repsol, Mobil, Krafft, Shell.) o por otros laboratorios especializados (Asinel, Labein, entre otros.)

**Elementos a utilizar en el análisis de lubricantes**

- a) **Manómetro:** Medidor de presión de aceite de grúa pórtico
- b) **Endoscopio:** Medición de aceite de grúa pórtico (RTG)

Funciones que cumple el endoscopio para predecir algún daño con el aceite y los siguientes aspectos que debe evaluar:

Espectroscopia de Emisión, Espectroscopia de Absorción FTIR, Ferrografía, Recuento de partículas, Viscosidad, Contenido en agua, Grado de Acidez TAN

A continuación, los intervalos que se recomiendan para la grúa pórtico (RTG) luego del análisis de lubricantes se detallan en el siguiente cuadro.

**Intervalos de lubricación de aceite de la grúa pórtico (RTG)**

<b>Intervalo de lubricación y descripción del mismo.</b>
Cada 250 horas o 1 mes - Compruebe y rellene los niveles de fluido de las cajas reductoras y los depósitos de la unidad hidráulica, si es necesario.
Cada 450 horas o 2 mes - Realice la lubricación general rutinaria con pistola de engrase y aceitera. Esto garantiza que todos los componentes de la grúa se mantengan en buenas condiciones de funcionamiento.
Cada 1500 horas o 6 meses - Realice la lubricación principal en este intervalo, cuando se cambian los aceites lubricantes y la mayoría de las grasas
Cada 3000 horas o 1 año - Desmante los componentes parcialmente para realizar la lubricación con grasa.
Según el calendario - Para cumplir con los requisitos legales locales, inspeccione los niveles temperatura y presión de aceite y grasas para prevenir altos costos de mantenimiento

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

El mantenimiento predictivo se basa en actividades que se realizan a intervalos de tiempo distintos, los intervalos de lubricación se basan en una combinación de horas

de funcionamiento esto significa que para una grúa que se utilice mucho, los intervalos de lubricación.

Las abreviaturas siguientes se utilizarán para los distintos procedimientos de lubricación:

- a) OL = Comprobación del nivel de aceite/Rellenar si es necesario
- b) RO = Sustitución del aceite
- c) OC = Aceitera (o pulverizador)
- d) GG = Pistola de engrase
- e) GB = Pincel de engrase
- f) RCG = Cambiar el lubricante de los acoplamientos
- g) RGG = Cambiar el lubricante de los engranajes

## **Actividad 2. Termografía**

Este documento es una guía exhaustiva para estas inspecciones de mantenimiento predictivo, al realizar este tipo de inspección, hay muchos detalles que se deben considerar, además de conocer cómo funciona la cámara termográfica y cómo tomar imágenes, se debe tener en cuenta para comprender, interpretar y evaluar las termografías correctamente.

- a) La energía de infrarrojos
- b) que irradia un objeto se enfoca con el sistema óptico
- c) sobre un detector de infrarrojos
- d) El detector envía los datos al sensor electrónico
- e) para procesar la imagen. Y el sensor traduce los datos en una imagen
- f) compatible con el visor y visualizable en un monitor de vídeo estándar o una pantalla LCD.

Lo que se detecta con esta cámara es lo siguiente:

Oxidación de interruptores de alta tensión, Conexiones recalentadas, Conexiones mal aseguradas, Defectos de aislamiento

### Componentes que pueden incluirse en inspecciones Termográficas

1	Componentes	Subcomponentes
	- Paneles eléctricos	- Condensadores
		- Contactores y protecciones de sobrecarga.
		- Cableado y cables eléctricos.
		- Calentadores
		- Encendido
		- Motores del ventilador de enfriamiento
		- Conexiones de barra colectora
		- Conexiones de fusibles
<b>Muestras cada 600 horas de trabajo</b>		

Fuente: Cardoza, O. noviembre de 2020.

### 2) Componentes motores eléctricos

2	Componentes	Subcomponentes
	- Motores eléctricos	- Rodamientos
		- Cuerpo
		- Conexiones eléctricas
<b>Muestras cada 650 horas de trabajo</b>		

Fuente: Cardoza, O. noviembre de 2020.

### 3) Componentes mecánicos

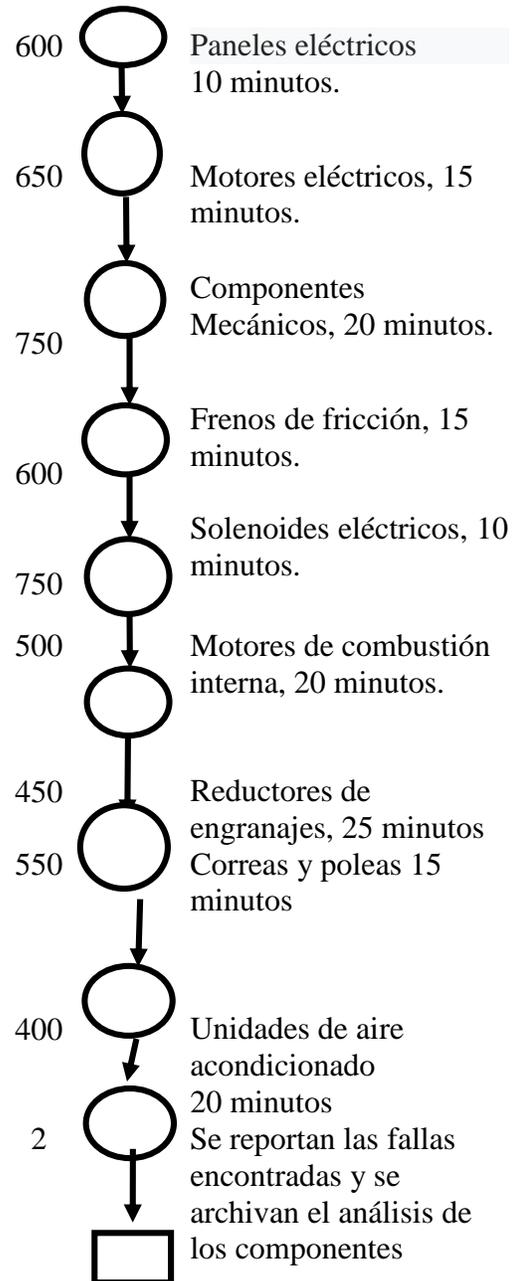
3	Componentes	Subcomponentes
	- Mecánicos	- Estructura de la grúa
		- Neumáticos
		- cables
		- Temperatura del aceite
<b>Muestras cada 750 horas de trabajo</b>		

Fuente: Cardoza, O. noviembre de 2020.

## Flujograma Proceso de análisis Termográfico

Actividad	Cantidad	Tiempo (Horas)
Inspecciones 	9	5250
Reporte 	1	2
Totales	10	5252

Fuente: Cardoza, O. noviembre de 2020.



### Actividad 3. Análisis de Vibraciones

Según la directiva 2002/44/EC sobre vibraciones de la UE, el valor límite de exposición diaria a las vibraciones de cuerpo entero, normalizado a un periodo de referencia de ocho horas, es de  $1,15\text{m/s}^2$ . El nivel diario de vibraciones de cuerpo entero para el operador no supera los  $0,5\text{ m/s}^2$ , calculado para un periodo diario de operaciones de cuatro horas

#### Intervalos de inspección de vibraciones

Intervalo de horas o tiempo y descripción
Cada 50 horas o 1 semana - Realice una inspección visual general de todos los componentes
Cada 250 horas o 1 mes - Realizar la inspección visual de los componentes y una revisión auditiva para intentar escuchar defectos internos.
Cada 750 horas o 3 meses - Inspeccione los componentes que pueden sufrir desgaste durante el funcionamiento, compruebe los filtros de aire, límpielos y sustituyalos.
Cada 6000 horas o 2 años - Inspeccione los componentes que se desmonten como parte del procedimiento
Según el calendario - Para cumplir con los requisitos legales locales, inspeccione o pruebe los, elementos determinados por los intervalos de tiempo basados en el calendario

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

### Actividad 4. Análisis visual

Programa de inspección estructural, Para la inspección estructural se necesitan distintas pruebas en ciertas soldaduras o componentes con intervalos distintos, Por consiguiente, el programa de inspecciones estructurales se desvía del formato del programa de inspecciones predicticias.

#### Intervalo de inspección

Intervalo de inspección (al finalizar el año) y descripción
1 - 4 (1)

	- Realice una inspección visual de todas las soldaduras, las juntas empernadas y los revestimientos de las superficies al finalizar el primer año después del arranque y al finalizar los años sucesivos.
5 (3)	- Después de cinco años después del arranque, someta las soldaduras a las primeras pruebas no destructivas a escala completa, el programa de inspección enumera las soldaduras sujetas a este requisito.
6 - 14 (1-3)	- Realice la inspección visual de todas las soldaduras, las juntas empernadas y los recubrimientos superficiales al finalizar cada año sucesivo.
15	7 - Repita las pruebas no destructivas a escala completa diez años después de las primeras, realice la inspección visual de todas las demás soldaduras.
16 - 24 (1)	8 - Realice la inspección visual de todas las soldaduras, las juntas empernadas y los recubrimientos superficiales al finalizar cada año sucesivo. Esto incluye las soldaduras que están sujetas a pruebas no destructivas en otros años.
25, 30, (3)	9 - Realice pruebas no destructivas a escala completa después de 25 años, la inspección visual de las soldaduras, las vigas en forma de caja y los recubrimientos superficiales. Apriete el par de las juntas empernadas.
26 - 29, (1, 2)	10 - Realice la inspección visual de todas las soldaduras, las juntas empernadas y los recubrimientos superficiales al finalizar cada año sucesivo.

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

### **Actividad 5. Análisis de ultrasonidos (UT)**

Se realiza la prueba de ultrasonidos según los métodos estándar aprobados, antes de las pruebas, prepare la superficie para que tenga las condiciones de planeadas y rugosidades necesarias.

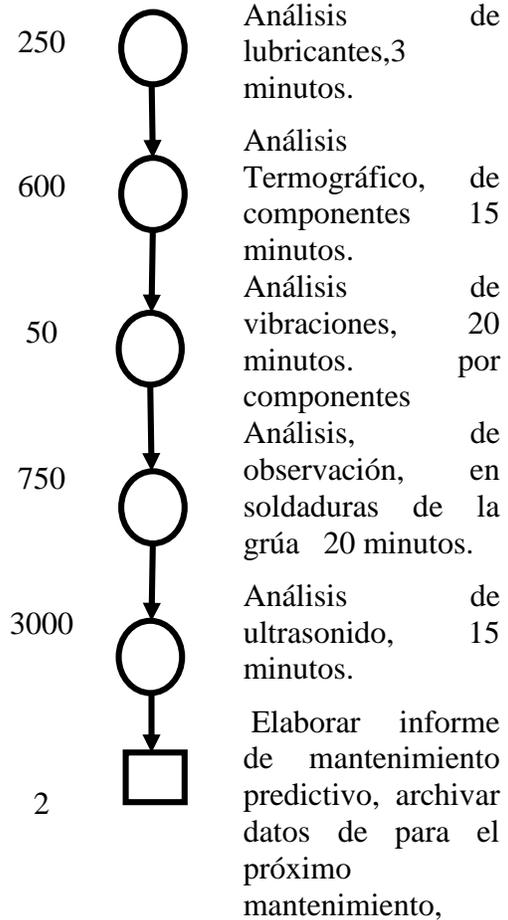
Realice la exploración utilizan sondas directas o en ángulo adecuadas, los resultados de la inspección deben proporciona información detallada sobre cualquier defecto dentro del volumen de soldadura, además de las grietas superficiales.

## Flujograma.

### Proceso general de mantenimiento Predictivo

Actividad	Cantidad	Tiempo (Horas)
Inspección ○	5	4650
Informe final □	1	2
<b>Totales</b>	<b>6</b>	<b>4652</b>

Fuente: Cardoza, O. noviembre de 2020.



	<b>Resultado 3.</b> Se formula el programa de capacitación a los técnicos.
---	--

#### Actividad 1: Convocatoria de capacitación.

Se realiza una convocatoria para la capacitación del personal técnico, operarios supervisores, directivos, director del departamento de mantenimiento de la empresa con el fin de instruirles para mejorar sus conocimientos sobre el plan de

mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) de la empresa, APM Terminals, San José, Escuintla.

**Actividad 2: Metodología.**

La metodología será la siguiente: Desarrollo del tema, Talleres de aprendizaje, Técnicas a utilizar, Resolución de dudas, conclusión del tema, Evaluación de desempeño

**Actividad 3. Frecuencia de capacitaciones.**

Con el fin de evitar la monotonía y el desincentivo de los educandos se implementarán las capacitaciones de una manera escalonada, a tal grado de implementar una capacitación cada cuatro meses.

<b>Programa de Capacitaciones</b>			
Nombre de la capacitación	Fecha	Responsable	Insumos
Grúa Pórtico (RTG).		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos
Componentes eléctricos		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos
Componentes mecánicos		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos
Fallas de componentes eléctricos y mecánicos		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos
Tipos de mantenimiento		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos
Altos costos de mantenimiento correctivo		Ingeniero Industrial	Mesas, sillas, cañonera y folletos

**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020

**Anexo 2. Matriz de la Estructura Lógica.**

<b>Componentes</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medios de Verificación</b>	<b>Cooperantes</b>
<p><b>Objetivo general:</b> Disminuir costos de mantenimiento correctivo de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>	<p>Al tercer año después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo, se disminuyen los costos de mantenimiento correctivo en un 66%.</p>	<p>Historial de costos de mantenimiento correctivo, Reportes de fallas de los componentes durante la operación, fotografías de piezas dañadas, Informes del técnico.</p>	<p>Los técnicos y operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals contribuyen con el cuidado y verificación continúa de los componentes</p>
<p><b>Objetivo específico:</b> Reducir fallas de componentes eléctricos y mecánicos de Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla</p>	<p>Al primer año después de la implementación del plan de mantenimiento predictivo, se reducen las fallas de los componentes en un 28%.</p>	<p>Reportes de fallas de los componentes durante la operación, fotografías de piezas dañadas, Informes del técnico.</p>	<p>Los operadores de Grúa Pórtico (RTG) de empresa APM Terminals contribuyen con la operación adecuada de la Grúa</p>
<p><b>Resultado 1:</b> Se cuenta con la unidad ejecutora “APM Terminals</p>			

<p><b>Resultado 2:</b> Se dispone del Plan de mantenimiento predictivo para Grúa Pórtico (RTG) en empresa APM Terminals, San José, Escuintla.</p>			
<p><b>Resultado 3:</b> Se formula el programa de capacitación a los técnicos.</p>			

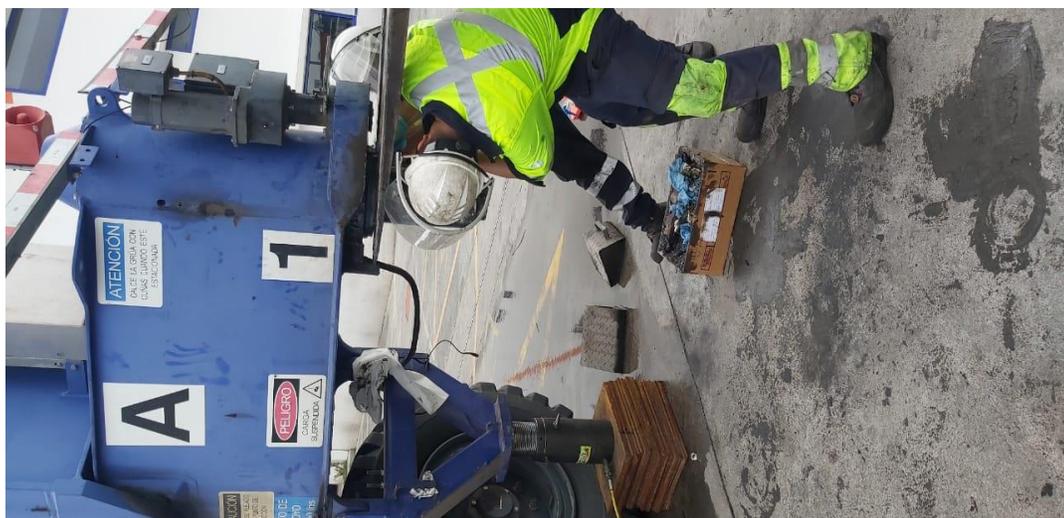
**Fuente:** Cardoza, O. noviembre de 2020.

### Anexo 3. Fotografías de los Componentes identificados por el mantenimiento predictivo

a) Motor de ventilador para motor de elevación de la grúa



b) Engrase y cambio de cojinete de pórtico.



### Anexo 3. Herramientas de trabajo para la realización de la propuesta.

<p>a) <b>Manómetro:</b> Medidor de presión de aceite de grúa pórtico</p> 	<p>b) <b>Endoscopio:</b> Medición de aceite de grúa pórtico (RTG)</p> 
<p>c) <b>Cámara termográfica:</b> Oxidación de interruptores de alta tensión, Conexiones recalentadas y mal aseguradas</p> 	<p>d) <b>Detector de defectos:</b> por ultrasonidos y medidor de espesor de soldadura</p> 