



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER ESTRATEGIAS DE REEMPLAZO  
ÓPTIMO A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS, APLICANDO LA NORMA ISO  
55001:2014 A UN PORTACONTENEDOR KALMAR CSC 340 DE LA EMPRESA PORTUARIA  
NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA**

**Carlos Leonel Enriquez Gil**

Asesorado por MSc. Ing. Jorge Estuardo Morales Dávila

Guatemala, abril de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER ESTRATEGIAS DE REEMPLAZO  
ÓPTIMO A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS, APLICANDO LA NORMA ISO  
55001:2014 A UN PORTACONTENEDOR KALMAR CSC 340 DE LA EMPRESA PORTUARIA  
NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS LEONEL ENRIQUEZ GIL**

ASESORADO POR MSC. ING. JORGE ESTUARDO MORALES DÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

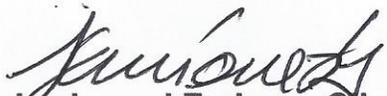
DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Jorge Velázquez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Siguere
EXAMINADOR	Ing. Miguel Angel Zetina
SECRETARIO	Ing. René Andrino Guzmán

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER ESTRATEGIAS DE REEMPLAZO  
ÓPTIMO A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS, APLICANDO LA NORMA ISO  
55001:2014 A UN PORTACONTENEDOR KALMAR CSC 340 DE LA EMPRESA PORTUARIA  
NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de abril de 2014.

  
Carlos Leonel Enriquez Gil



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 2418-8000Ext. 86226

AGS-MIMPP-012-2017

Guatemala, 24 de noviembre de 2017.

Director  
Roberto Guzmán Ortiz  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Carlos Leonel Enríquez Gil** con carné número **7801050**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"

MSc. Ing. Jorge Estuardo Morales Dávila  
Asesor (a)

Ing. MA. Jorge Estuardo Morales  
Colegiado No. 6,092

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola  
Coordinadora de Área  
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA  
INGENIERA INDUSTRIAL  
COLEGIADA No. 4611

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.046.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación de la Coordinadora del Área de Gestión y Servicios de la Escuela de Estudios de Postgrado, modalidad Pregrado-Postgrado de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, del trabajo de graduación titulado: **ESTRATEGIAS DE REEMPLAZO ÓPTIMO A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS, APLICANDO LA NORMA ISO 55001:2014 A UN PORTACONTENEDOR KALMAR CSC 340 DE LA EMPRESA PORTUARIA NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA** del estudiante **Carlos Leonel Enríquez Gil**, CUI **2967071390501**, Registro Académico No. **7801050** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2017

/aej

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

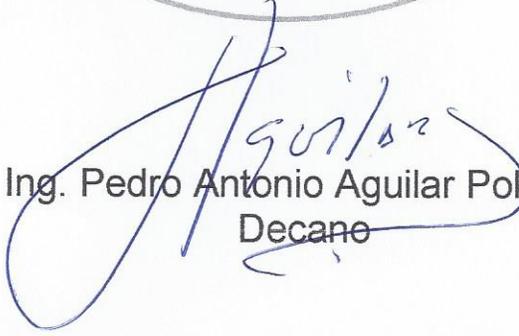


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.200-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica del trabajo de graduación titulado: **"ESTRATEGIAS DE REEMPLAZO ÓPTIMO A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS, APLICANDO LA NORMA ISO 55001:2014 A UN PORTACONTENEDOR KALMAR CSC 340 DE LA EMPRESA PORTUARIA NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA"**, presentado por la estudiante: **Carlos Leonel Enriquez Gil** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Abril de 2019

/echm

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** por darme su bendición, la vida y la salud, porque gracias a Él todo esto es posible en mi vida.
- Mis padres** Braulio Enríquez Barrera (q. d. e. p.), por su gran amor, enseñanzas y su apoyo incondicional, Martha Lidia Gil, que siempre creyó en mí y siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas, con su infinito amor, apoyo y paciencia.
- Mis hermanos** Sonia Violeta y Juan Antonio Enríquez Gil, que siempre han estado apoyándome y alentándome para seguir adelante.
- Mis sobrinos** Cindy Rubí y Ronald David Herrera y Flor de María Enríquez, quienes quiero con todo el corazón y han sido incondicionales conmigo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción .....	9
3.2. Pregunta general .....	9
3.3. Preguntas específicas .....	9
3.4. Delimitación .....	10
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1. Objetivo general .....	13
5.2. Objetivos específicos .....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR.....	15
7. ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
8. MARCO TEÓRICO.....	19

8.1.	Tipos de reemplazo: generalidades del reemplazo .....	19
8.1.1.	El problema del reemplazo.....	19
8.1.2.	Estrategias de reemplazo de activos.....	19
8.1.3.	Estrategias y políticas .....	20
8.1.3.1.	Causas de un estudio de reemplazo. ...	20
8.1.3.2.	Reemplazo por insuficiencia.....	20
8.1.3.3.	Reemplazo por mantenimiento excesivo .....	20
8.1.3.4.	Reemplazo por obsolescencia.....	21
8.1.4.	Gestión de activos.....	21
8.1.4.1.	Norma ISO 55001-2014 gestión de activos .....	21
8.2.	El Transporte intermodal .....	22
8.2.1.	Carretilla pórtico elevadora apiladora .....	23
8.3.	Definición de mantenimiento .....	24
8.4.	Indicadores de gestión del mantenimiento .....	24
8.4.1.	Tiempo medio entre paradas.....	25
8.4.2.	Tiempo medio para reparar .....	25
8.4.3.	Disponibilidad mecánica.....	26
8.4.4.	Tiempo medio entre fallas .....	26
8.4.5.	Tiempo medio entre paradas por fallas .....	26
8.5.	Estimación de costos .....	27
8.5.1.	Costos privados.....	27
8.5.2.	Costos de inversión .....	27
8.5.3.	Costos de operación .....	28
8.5.4.	Costos de mantenimiento.....	28
8.6.	Análisis de costo de ciclo de vida.....	28
8.7.	Enfoques utilizados en economía .....	29
8.8.	Modelos de reemplazo .....	29

8.8.1.	Modelos de comparación antiguo-nuevo .....	29
8.8.1.1.	Modelo del valor presente neto (VPN).....	30
8.8.1.2.	Costo anual uniforme equivalente (CAUE) .....	30
8.8.2.	Modelos de optimización .....	30
8.8.3.	Modelos de límite.....	31
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	33
10.	METODOLOGÍA.....	37
10.1.	Diseño .....	37
10.2.	Tipo de estudio .....	37
10.3.	Alcance.....	37
10.4.	Variables e indicadores .....	38
10.5.	Fases de la investigación .....	38
10.5.1.	Fase 1: recopilación de datos .....	38
10.5.2.	Fase 2: proceso de información.....	38
10.5.3.	Fase 3: aplicación de la norma ISO 55001:2014....	38
10.5.4.	Fase 4: aplicación del modelo de reemplazo y su análisis técnico .....	39
10.6.	Resultados esperados .....	39
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	41
11.1.	Análisis de costo de ciclo de vida .....	41
11.2.	Modelos de reemplazo .....	41
12.	CRONOGRAMA.....	43

13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	45
13.1.	Factibilidad operativa .....	45
13.2.	Factibilidad técnica.....	45
13.3.	Factibilidad económica.....	46
14.	REFERENCIAS .....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	17
2.	Carretilla pórtico elevadora apiladora.....	23
3.	Cronograma del trabajo de investigación .....	43

### TABLAS

I.	Estimación de costos .....	46
----	----------------------------	----



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>M</b>	Cantidad de fallos de la máquina durante el periodo de observación.
<b>Tf</b>	Tiempo de parada por fallas en el periodo analizado, hora.
<b>TMEF</b>	Tiempo medio entre fallas.
<b>TMPR</b>	Tiempo medio para la reparación.
<b>Trec</b>	Tiempo medio de recuperación de la capacidad de trabajo/hora.
<b>Tr</b>	Tiempo real de trabajado en el periodo analizado, hora.



## GLOSARIO

<b>Confiabilidad</b>	Es la probabilidad de que un sistema o equipo opere en forma satisfactoria por un periodo dado de tiempo cuando se usa bajo condiciones específicas.
<b>Depreciación</b>	Es la pérdida de valor de un activo fijo y tangible a consecuencia de su insuficiencia, uso u obsolescencia.
<b>Disponibilidad</b>	Es la probabilidad de que un sistema o equipo se encuentre operativo cuando se requiera su uso.
<b>Estrategias de gestión</b>	Son los modos de acción elegidos para alcanzar los objetivos de las políticas establecidas.
<b>Gestión de activos</b>	Conjunto de actividades coordinadas que una organización usa para conseguir que sus activos entreguen resultados y objetivos de manera sostenible.
<b>Índices KPI de mantenimiento</b>	Son la medida cuantitativa del grado de satisfacción de un requerimiento de la gestión de mantenimiento.
<b>Mantenimiento</b>	Actividades que deben aplicarse a instalaciones, maquinaria y equipos, con el propósito de prevenir o

reparar fallas, logrando la continuación del servicio esperado por su diseño y fabricación.

<b>Momento cero</b>	Es el momento inicial de un proyecto o la puesta en marcha de un equipo iniciando su ciclo de vida.
<b>Políticas de gestión</b>	Es el establecimiento de objetivos y resultados que la empresa requiere para alcanzar su inventario de activos óptimos y rentables.
<b>Valor de rescate o valor de salvamiento</b>	Es el que tiene o tendrá el activo al final de su vida útil. Se le simboliza "Cn".
<b>Vida remanente</b>	Es el tiempo probable que se considera funcionará a futuro un activo en condiciones eficientes y rentables.
<b>Vida útil</b>	En un activo es el tiempo que hay entre su compra y su retiro, "n" que define años, unidades de servicio o número de unidades producidas.

# 1. INTRODUCCIÓN

En la Empresa Nacional Portuaria Santo Tomás de Castilla (Empornac) la subutilización de equipos causada por una mayor cantidad de unidades, que las necesarias y la sobreutilización dependiente de una situación inversa, es un problema recurrente históricamente, porque en Guatemala la cultura de las empresas estatales de realizar estudios técnicos y económicos para reemplazar equipos no es común; lo que dificulta la toma de decisiones del momento óptimo de sustituir los activos que no cumplen con la expectativa.

La realización del trabajo tiene como fin determinar las estrategias a considerar, para el reemplazo de equipos y que coadyuve al establecimiento de políticas de gestión de activos en la empresa portuaria; al ser Empornac una empresa estatal, es un compromiso la generación de utilidades para beneficio de la nación.

El resultado de la investigación representará un aporte al utilizarse como una herramienta de análisis de las opciones de sustitución de los activos y permitirá tomar la mejor decisión en la inversión de los recursos de la empresa.

El uso de la carretilla pórtico o portacontenedor es indispensable para el funcionamiento de la terminal portuaria, porque la movilización después de la descarga obliga al almacenamiento apilado de los contenedores en los distintos patios; para logra así la máxima utilización de superficie.

La carretilla portacontenedor es el equipo utilizado para la movilización de carga en el embarque y desembarque de contenedores normalizados de

transporte intermodal, efectuada en los patios de la terminal portuaria, con un uso generalizado a nivel mundial en puertos marítimos, fluviales y terrestres.

La importancia de la investigación radica en la importancia de las estrategias de gestión de reemplazo de activos debido al monto de las inversiones y a la determinación de los costos de operación y mantenimiento, en los presupuestos y en la rentabilidad de la empresa; puede lograrse a través de un diseño de estrategias sustentadas por programas y procedimientos de mantenimiento que se reflejen en la confiabilidad de los equipos, sosteniendo su disponibilidad y proporcionándole un reemplazo adecuado.

Es muy importante la necesidad del reemplazo de equipos, por lo que en el presente proyecto de investigación se analizarán algunos modelos y medios de gestión de activos que faciliten la creación de estrategias, que establezcan técnicamente la toma de decisiones, del momento óptimo para reemplazar una carretilla portacontenedor.

Para la realización de la investigación se utilizarán los registros históricos de mantenimiento y operaciones existentes desde que el referido equipo fue puesto en marcha en el año 2010 con base en los cuales se generan los indicadores de mantenimiento (índices KPI) y se fundamentarán los análisis correspondientes aplicando las normas ISO 55001:2014 de gestión de activos.

La investigación está contemplada en los siguientes capítulos:

El primer capítulo incluye el marco teórico, hace una reseña histórica y sus antecedentes; se describe el equipo y las operaciones portuarias y el manejo de carga intermodal, las normas ISO del transporte intermodal, la criticidad de la carretilla portacontenedor y la importancia de la gestión de mantenimiento del

equipo portuario. Se enfoca en la gestión de reemplazo del portacontenedor; se analiza los índices KPI de mantenimiento mediante la aplicación de las normas ISO 55001:2014 del sistema de gestión de activos, se fundamentan los modelos de reemplazo y los diferentes enfoques y modelos de investigación de operaciones y economía.

El segundo capítulo define las metodologías de análisis, los modelos matemáticos, los aspectos técnicos de reemplazo, la gestión de activos y el ciclo de vida de los equipos, la vida remanente, la conservación del equipo o su reemplazo inmediato. Determina el modelo matemático que mejor se adecua a la información procesada para obtener los resultados de la investigación esperados.

El tercer capítulo comprende la generación de resultados y la discusión con base en la aplicación del modelo matemático seleccionado de la norma ISO 55001:2014 de gestión de activos. Hace una presentación y análisis de resultados para inferir las decisiones respecto del reemplazo.

El cuarto capítulo contiene las propuestas en la gestión de activos; se basan en los resultados obtenidos se determinan las estrategias a considerar para la adquisición de equipo, las especificaciones técnicas y los criterios de ingeniería para los requerimientos en compra de un equipo nuevo.



## 2. ANTECEDENTES

Si una empresa no controla la decadencia de la capacidad productiva de sus equipos para determinar con oportunidad el fin de su servicio y de su desplazamiento por otros, está recargando costos a su producción, los que se reflejan en el costo final del producto y en la menor calidad. Como consecuencia, la productividad y competitividad de la empresa disminuyen. (Villaplana, 2010. p. 49).

Si el escenario se produce en un país, la economía y la competitividad de este se ven seriamente afectadas.

Según Durán (2008), la decisión de reemplazar o continuar manteniendo un determinado equipo representa uno de los elementos fundamentales de la estrategia de desarrollo de una industria o empresa. Un reemplazo postergado más tiempo del razonable puede elevar los costos de producción debido a una serie de problemas fáciles de identificar. Un reemplazo anticipado puede ocasionar el desvío de recursos que pudieran tener otras prioridades para la empresa.

Estrada (2004), dice que un reemplazamiento apresurado origina en la empresa una disminución de capital y por lo tanto limita la disponibilidad de efectivo para emprender otros proyectos; sin embargo, un reemplazamiento retardado origina costos excesivos de operación y mantenimiento, lo que pone en desventaja a la empresa para afrontar la competencia; concluye que la determinación de la vida económica de un activo o equipo ayuda a la dirección de las empresas a definir las políticas de reemplazo de sus equipos; además,

permite planear actividades futuras y predeterminar los costos de operación y fijar el precio de sus productos o servicios.

La definición de política de reemplazo de bienes, cuyo valor se deprecia en el tiempo al ritmo de la decadencia de su vida útil o tendencia a la obsolescencia, es muy importante para las empresas y radica en la necesidad de optimizar el rendimiento de los activos, lograr retenerlos y asumir sus costos de mantenimiento en cuanto resulte beneficioso, teniendo en consideración que los costos de mantenimiento y operación de bienes se incrementan con la edad de estos. (Berger V., Olazo C. & Oré J., 2003. p. 95).

Refiere que en caso de los reemplazos de equipos donde solo es necesario que el equipo nuevo cumpla con la misma función, dejando de lado la alternativa de aumentar la capacidad del equipo y de la operación en la cual está inserto, el resultado que se pretende es que la mejor alternativa que se está evaluando frente a la situación de no llevar a cabo el reemplazo, entregue como único beneficio el mínimo costo de operación y mantenimiento. (Morales A., 2010. p. 29).

Según el registro de los activos debe indicar la fecha de compra de cada unidad del equipo para advertir a los planificadores sobre el fin de su vida útil. También, contendrá los datos de cada reparación o mantenimiento con una indicación concreta de su condición. (TRAIMAR-Comisión Portuaria Nacional, 2000. p. 121).

Al preparar el plan del equipo, los ingenieros consultarán los registros para determinar las unidades que necesiten ser reemplazadas, dentro del periodo del plan. El análisis de los registros de ingeniería, la confiabilidad de las máquinas y su mantenimiento llevará a conclusiones sobre las que deban reemplazarse.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción**

Para la Empresa Portuaria Nacional Santo Tomas de Castilla, el problema de la subutilización y la sobreutilización de equipos es históricamente recurrente, principalmente porque al ser una empresa estatal carece de los estudios técnicos y económicos para la sustitución de equipos.

La realización de este trabajo pretende determinar las estrategias de reemplazo necesarias y establecer las políticas de gestión de activos que coadyuven a tomar las decisiones en la utilización y en la oportuna sustitución de equipos.

#### **3.2. Pregunta general**

¿Cómo determinar las estrategias de reemplazo en el momento óptimo de un portacontenedor, basándose en su ciclo de vida económico y físico, y en la aplicación de una gestión de activos adecuada?

#### **3.3. Preguntas específicas**

- ¿Cómo determinar la mejor opción para una propuesta de mantenimiento mayor o reemplazo del portacontenedor, basados en el costo del ciclo de vida?

- ¿Cómo determinar el remanente de vida económica y física del portacontenedor a través de los registros históricos de mantenimiento y de operaciones aplicando la norma ISO 55001:2014 de gestión de activos?
- ¿Qué procedimiento debe utilizar con base en los parámetros e indicadores de condición la determinación del reemplazo, la continuidad de uso con confiabilidad y su vida remanente, económica y física y su aprovechamiento para lograr beneficio económico?

### **3.4. Delimitación**

El desarrollo de la investigación se hará a un portacontenedor como una muestra del inventario de equipos portuarios de movilización de carga, con un total de veinticinco; que después de las grúas móviles de muelle son los de mayor criticidad.

La investigación será un ejemplo para mostrar la necesidad de considerar el establecimiento de estrategias y políticas de reemplazo como parte del modelo de gestión de mantenimiento de Empornac.

También, es importante considerar que la calidad de la información requerida para el estudio, contenida en los registros de mantenimiento y operación de equipos, debe llevarse de manera sistemática, el no contar con esta información confiable y oportuna pone en riesgo el estudio que será básico para la toma de mejores decisiones del reemplazo.

## **4. JUSTIFICACIÓN**

La línea de investigación se basa en la utilización de los registros históricos de mantenimiento mecánico y de operaciones portuarias a través del establecimiento de los índices KPI de mantenimiento del portacontenedor y mediante la aplicación del modelo matemático adecuado al ciclo de vida económico y físico; se implementarán las normas internacionales ISO 55001:2014 sistema de gestión de activos ubicando la condición del equipo en un horizonte de tiempo.

La creación de estrategias y el establecimiento de políticas de reemplazo son una propuesta de su aplicación institucional y continua a través de la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento de equipos portuarios. La recolección de datos y su manejo como información del programa de mantenimiento y su análisis en la gestión de reemplazo de equipos permitirá el momento óptimo de sustitución. Se produce un ciclo de información en la gestión de mantenimiento que al medirla y obtener resultados localizados dentro de los parámetros esperados se determinará si está siendo llevada de manera adecuada.

La investigación aportará a Empornac el cálculo de la vida remanente que es importante para hacer el reemplazo del portacontenedor actual por uno nuevo o la continuación de su uso en un lapso determinado; en función del tiempo, de la inversión y del aprovechamiento máximo de su vida económica, lográndose el mejor funcionamiento en las operaciones portuarias a través de la mayor disponibilidad y de la alta confiabilidad; lo que garantiza la mejor rentabilidad económica y su buen posicionamiento financiero.

La Empresa Portuaria Nacional Santo Tomás de Castilla tiene que proveerse de equipos para la manipulación de carga con una mecánica de alta capacidad y confiabilidad, alta tecnología y eficiencia para cumplir adecuadamente las necesidades de sus operaciones y de ser competitivos.

Al ser Empornac una empresa estatal es imperativa la generación de utilidades económicas que beneficien a la región atlántica del país y a la nación en general. Los resultados de la investigación coadyuvan al establecimiento de políticas de reemplazo de activos que al aplicarse mejoren la rentabilidad de la empresa portuaria.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Determinar, con base en la gestión de mantenimiento, las estrategias de remplazo apropiadas para la carretilla portacontenedor KALMAR modelo CSC 340 aplicando las normas ISO 55001:2014 sistemas de gestión de activos; se tiene como parámetros los indicadores de mantenimiento mecánico y de operaciones provenientes del registro histórico del equipo.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Determinar con base en los indicadores de mantenimiento (índices KPI) de la carretilla portacontenedor su ciclo de vida económica y elaborar un análisis técnico de su vida física y sus estrategias de reemplazo.
- Determinar aplicando las normas ISO: 55001:2014 de sistemas de gestión de activos, su ciclo de vida óptima y tomar la determinación de reemplazo en la fecha adecuada para lograr el mejor rendimiento económico.
- Determinar el procedimiento del estudio de la ubicación del portacontenedor en la curva de vida económica y física, su condición de activo a reparar o si está en la fase de activo a reemplazar y lograr el mejor resultado de las decisiones técnicas y económicas.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR**

En Empornac el problema del reemplazo de equipos ha sido históricamente recurrente, principalmente, porque en Guatemala las empresas estatales no han implementado políticas de gestión de activos, lo que dificulta la toma de decisiones técnicas y económicas del momento óptimo de renovación de equipos.

El presente trabajo conocerá los métodos de reemplazo más comunes y las técnicas de análisis en los estudios de sustitución y que sirvan como herramienta a la empresa para establecer políticas de reemplazo a sus diferentes activos. Al ser Empornac una empresa estatal es imperativa la generación de utilidades económicas que beneficien el desarrollo de la región atlántica del país y a la nación en general. Los resultados de la investigación coadyuvan al establecimiento de políticas de reemplazo de activos que al aplicarse mejoren su rentabilidad.

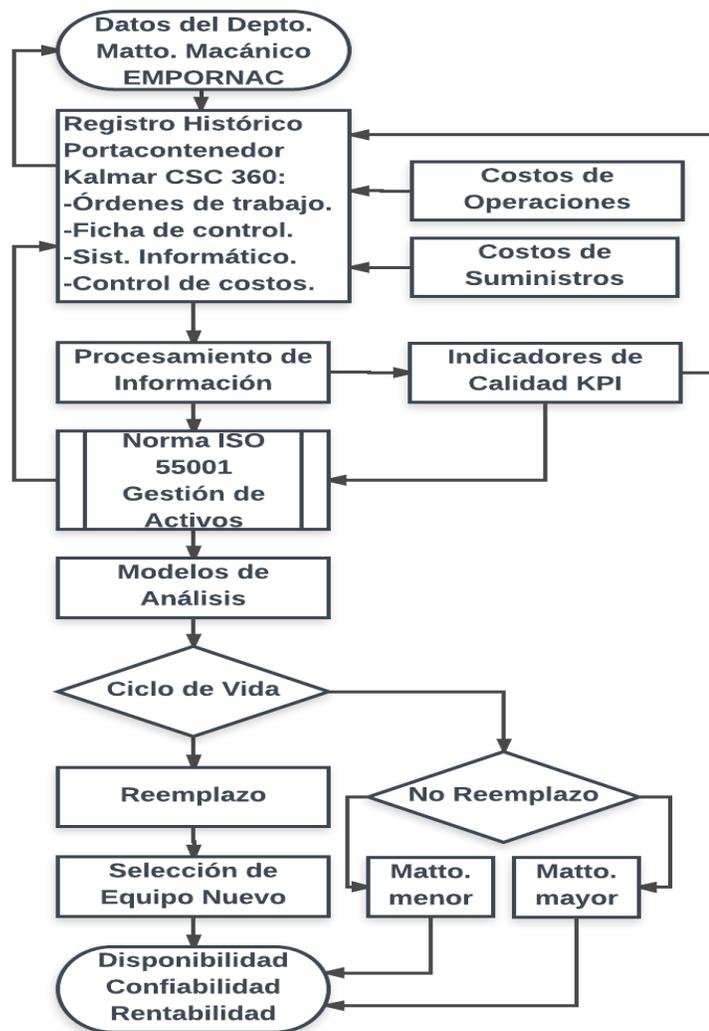
La información de los costos de ciclo de vida puede ser usada para la planificación de la capacidad instalada, la planeación presupuestaria y para efecto de preparar las especificaciones técnicas para el equipo nuevo, las opciones de las licitaciones oferentes del reemplazo y principalmente en la determinación de tarifas portuarias que son de suma importancia por los ingresos económicos y la buena rentabilidad.



## 7. ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A continuación se presenta el esquema de solución.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.



## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1. Tipos de reemplazo: generalidades del reemplazo**

A continuación, se presentan los tipos de reemplazo utilizados en la investigación.

#### **8.1.1. El problema del reemplazo**

El objetivo de la investigación es determinar la edad económica y física del portacontenedor Kalmar CSC 340 de Empornac, según las consideraciones de las variables tiempo de falla, costo inicial, gastos de operación, costos de mantenimiento, rendimiento del equipo, valor de salvamento; minimizando el costo total de funcionamiento y maximizando la productividad del equipo dentro de un horizonte de tiempo.

#### **8.1.2. Estrategias de reemplazo de activos**

TRAIMAR-Comisión Portuaria Nacional (2000), considera que la implementación de estrategias de reemplazo de activos, que por el constante uso su valor se deprecia en el tiempo al ritmo de la decadencia de su vida útil y la tendencia a la obsolescencia, es muy importante para las empresas. Su importancia radica en la necesidad de optimizar el rendimiento de los activos, lograr retenerlo y considerar los costos de mantenimiento con base en la rentabilidad, tomando en cuenta que los costos de mantenimiento mecánico y de operaciones aumentan con el tiempo de uso.

### **8.1.3. Estrategias y políticas**

Según (TRAIMAR-Comisión Portuaria Nacional, 2000). Una política para adquisición de equipo puede definirse como “el establecimiento de objetivos y resultados que el puerto quiere alcanzar para su inventario de equipo, mientras que las estrategias serían los modos de acción elegidos para alcanzar esos objetivos”. (p.67)

Tanto las políticas como las estrategias deben ser compatibles entre sí y diseñadas de la manera más amplia, a fin de cumplir con todos los objetivos empresariales del puerto.

#### **8.1.3.1. Causas de un estudio de reemplazo**

Según Estrada (2004). La necesidad o conveniencia de reemplazar un equipo puede deberse a: insuficiencia, mantenimiento excesivo y obsolescencia.

#### **8.1.3.2. Reemplazo por insuficiencia**

“Un equipo se vuelve inadecuado cuando al cambiar las necesidades de operación, resulta demasiado pequeño o demasiado grande para la función deseada. El costo de oportunidad de un equipo inadecuado puede estimarse comparando su costo de operación de un equipo adecuado”. (Estrada M., 2004, p. 27).

#### **8.1.3.3. Reemplazo por mantenimiento excesivo**

“El deterioro físico causado por el uso y por agentes externos se traduce en desventajas económicas tales como: mayor consumo de combustible,

incrementos progresivos de los costos de mantenimiento, pérdida de potencia o de eficiencia en la operación, tiempo perdidos y mano ocioso por fallas y como consecuencias una disminución de ingresos por operación”. (Estrada M., 2004, p. 28).

#### **8.1.3.4. Reemplazo por obsolescencia**

Surge como producto del desarrollo tecnológico continuo de los activos, es decir, en el mercado siempre existirán equipos con características técnicas más ventajosas que los activos actualmente utilizados. El costo de oportunidad asociado a la obsolescencia se obtiene al comparar el equipo en uso (suponiéndolo nuevo) con el modelo más reciente disponible en el mercado, apto para el mismo servicio. (Estrada M., 2004, p. 28).

#### **8.1.4. Gestión de activos**

Según la Norma Pass 55:2004 la integración de la estrategia en la definición del mantenimiento en función de la gestión de activos es: “un conjunto de actividades y practicas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización maneja optimizadamente sus activos y su valor agregado asociado, riesgos y gastos, a lo largo de su ciclo de vida con el fin de lograr sus objetivos estratégicos”.

##### **8.1.4.1. Norma ISO 55001-2014 gestión de activos**

Es un nuevo conjunto internacional de normas que ha sido creado para orientar en las mejores prácticas de gestión de activos. Se centra en desarrollar un sistema de gestión proactivo del ciclo de vida de activos. Admite la

optimización de los activos y reduce el costo total de propiedad mientras le ayuda a cumplir los requisitos de seguridad y rendimiento necesarios.

La norma ISO 55001:2014 busca gestionar todo el ciclo de vida de los activos físicos de una organización con el fin de maximizar su valor, utilizando un enfoque basado en el riesgo. La norma ISO 55002 proporciona una orientación adicional para la implementación de los requisitos dentro de la norma ISO 55001.

## **8.2. El Transporte intermodal**

La creación en 1980 del transporte intermodal consiste en la utilización del contenedor como medio y medida de carga; cuyo patrón es el TEU unidad equivalente a un contenedor normalizado de 20 pies (6,1m) y una altura de 8 pies (2,44 m) y se refiere al traslado del contenedor en más de una modalidad de transporte, siendo en camión, ferrocarril, marítimo otras vías navegables o la combinación de varios medios (El transporte intermodal, 2015).

Según la información de la norma ISO-6346 (2017), proporciona un sistema internacional para la identificación y presentación de los datos y códigos relativos a los contenedores para el transporte de mercancías. La norma ISO 668 contenedores serie I determina la clasificación dimensiones y masas brutas máximas y la norma ISO 1496, contenedores serie I determinan las especificaciones y ensayos para contenedores de uso general de mercancías diversas.

### 8.2.1. Carretilla pórtico elevadora apiladora

Un portacontenedor es un equipo de movilización portuaria diseñado especialmente para la elevación y apilamiento de contenedores normalizados ISO en sus diferentes dimensiones.

El equipo consiste en una estructura en forma de pórtico y un sistema hidráulico de levante; durante el desplazamiento el contenedor va alojado en el pórtico de la estructura. Puede levantar hasta 60 toneladas, además puede apilar contenedores hasta cuatro alturas, alcanzando un máximo de 30 km/h cuando trasladan contenedores cargados.

Figura 2. Carretilla pórtico elevadora apiladora



Fuente: NAUTICEXPO. (2017). Recuperado de: [www.nauticexpo.es](http://www.nauticexpo.es).

### **8.3. Definición de mantenimiento**

Inicialmente se define el concepto de mantenimiento como “el control constante de las instalaciones o de los componentes, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema general” (Muñoz, 2007 p.5).

Es decir, el mantenimiento busca garantizar la vida útil de un activo fijo o móvil: equipos, maquinaria, vehículos, instalaciones enfocados a la producción de bienes y servicios para la empresa o usuario. Según Muñoz, (2007). El objetivo final del mantenimiento industrial se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, reparar los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

### **8.4. Indicadores de gestión del mantenimiento**

Zegarra M. (2016). Indica que “la manera de saber si la gestión del mantenimiento es llevada adecuadamente es midiéndola y obteniendo valores que indiquen si los resultados se encuentran dentro de los parámetros esperados para la gestión”. (p.55) siendo estos los índices KPI. Su elección

dependerá del nivel en que se encuentren los procesos de la gestión del mantenimiento y dentro de los principales están los siguientes:

#### **8.4.1. Tiempo medio entre paradas**

Este es un indicador que muestra el tiempo promedio que la máquina trabaja antes de parar por algún motivo mecánico. Proporciona información sobre la adecuada gestión del mantenimiento ya que una adecuada gestión del planeamiento proporcionará un adecuado MTBS.

$$MTBS = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Número de paradas}}$$

#### **8.4.2. Tiempo medio para reparar**

Este indicador muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Es el tiempo que la máquina se encuentra bajo el estado de reparación (inoperativa para el trabajo). Proporciona información sobre la adecuada gestión del planeamiento y del taller, incluyendo al área logística y otras áreas de la empresa involucradas con la atención de los recursos necesarios para la ejecución de los servicios.

$$T_o = \frac{T_r}{m} \text{ horas / fallo}$$

Donde:

- Tf: tiempo de parada por fallas en el periodo analizado, hora
- m: cantidad de fallos de la maquina durante el periodo de observación.

### **8.4.3. Disponibilidad mecánica**

La disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación. Para un período determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas.

### **8.4.4. Tiempo medio entre fallas**

El indicador MTBF por definición es tiempo medio entre fallas (mean time between failures), por lo tanto, es el tiempo medio o promedio que la máquina trabaja sin presentar alguna falla. El indicador se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

Donde:

- Tr: Tiempo real de trabajado en el período analizado, hora
- m: cantidad de fallos de la maquina durante el periodo de observación.

### **8.4.5. Tiempo medio entre paradas por fallas**

El tiempo medio que la máquina trabaja entre paradas por fallas debe ser entendido de manera diferente y por esta razón es conveniente definir el indicador MTBFS (*mean time between failures shutdowns*) o tiempo medio entre paradas por fallas, diferenciándolo del indicador MTBF.

## **8.5. Estimación de costos**

El trabajo se basará en el análisis del historial de costos de mantenimiento y operación del portacontenedor en estudio. MIDEPLAN, (2005). considera que los costos a estimar son los siguientes:

### **8.5.1. Costos privados**

Según los costos que deben considerarse corresponden a los desembolsos que requeriría la alternativa seleccionada en relación con la situación base optimizada. En el caso de bienes y servicios, su valor debe excluir el impuesto al valor agregado (IVA), e incluir los aranceles de importación; además, de todas las erogaciones necesarias para tenerlos disponibles en la institución o empresa. En el caso del personal, el costo se mide por las remuneraciones que deben pagarse. (MIDEPLAN, 2005. p. 68).

### **8.5.2. Costos de inversión**

También indica que el costo de inversión corresponde a la adquisición de equipos, considerando la inversión total de la compra del equipo nuevo hasta su puesta en funcionamiento; incluyen, también, las modificaciones y adaptaciones de infraestructura y edificios que se pudieran necesitar. (MIDEPLAN, 2005. p. 68).

Corresponde asignar este gasto en el momento inicial del proyecto (llamado momento cero). Si la inversión durara más de un año, se asignará a cada año la parte que corresponda de la inversión total. Las bases para la estimación de la inversión serán las cotizaciones obtenidas de una o más

empresas proveedoras. Es importante conocer el plazo en que pudiese necesitarse un mantenimiento mayor; es decir, dentro de cuántos años a partir del año cero, habría que hacer una inversión importante en mantenimiento y a cuánto ascendería dicho mantenimiento mayor.

### **8.5.3. Costos de operación**

Según MIDEPLAN, (2005). Dice que los costos de operación ocurrirán durante todos los años de vida del proyecto a partir del momento cuando el equipo (nuevo o reparado) quede listo para entrar en funcionamiento. El costo total de operación será igual a los costos fijos, que no dependen de los niveles de producción, más el costo unitario variable multiplicado por el nivel de producción o prestación de servicios..

### **8.5.4. Costos de mantenimiento**

Para la situación base optimizada y para la alternativa seleccionada deberán estimarse los costos de mantenimiento. La información generalmente es proporcionada por las empresas que reparan o venden los equipos. Pueden aparecer como un porcentaje del valor inicial del equipo y generalmente los gastos de mantenimiento crecen a medida que el equipo se hace más antiguo.

## **8.6. Análisis de costo de ciclo de vida**

El análisis Costo del Ciclo de Vida asegura la combinación óptima de los costos de capital, costos operativos y de mantenimiento, así como los riesgos al establecer un sistema para identificar, evaluar, corregir y documentar las distintas alternativas en el tiempo esperado de vida.

## **8.7. Enfoques utilizados en economía**

Para el enfoque económico y financiero es posible realizar el análisis de reemplazo antes o después de la vida útil esperada. Básicamente, consiste en determinar si ya se alcanzó el final de la vida útil y cuál será la alternativa que puede aceptarse para su reemplazo. Con la finalidad de utilizar los términos aplicados en economía, se aplican los conceptos de defensor y retador: defensor es el activo que la empresa posee y retador es el que lo reemplazará.

El costo total del ciclo de vida permite comparar todas aquellas inversiones a través de la operación y del mantenimiento y tomar la decisión técnica óptima y económicamente viable de restaurar o reemplazar.

## **8.8. Modelos de reemplazo**

Consideran que para encontrar solución al problema de reemplazo han surgido diferentes enfoques que, a través de modelos, tratan de establecer el momento óptimo del reemplazo, y que se han abordado desde distintas perspectivas y bajo diferentes ambientes, algunos con mayor rigor práctico-teórico que otros y los han clasificado según sus características en tres grandes grupos: comparaciones antiguo-nuevo, los modelos de optimización y los modelos de límites. (García M.; Ulloa M.; Belete O, 2013. p. 83).

### **8.8.1. Modelos de comparación antiguo-nuevo**

Determinan el momento de reemplazo a través de un balance entre el equipo en uso y el equipo nuevo, basado en las ventajas económicas de operar

uno u otro. La comparación se realiza con datos estimados para el equipo nuevo y con la data histórica de comportamiento del equipo en uso.

#### **8.8.1.1. Modelo del valor presente neto (VPN)**

El método del VPN es uno de los criterios económicos frecuentemente utilizados en la evaluación de proyectos de reemplazo del equipo en uso, sirve como parámetro para determinar el momento de reemplazo del equipo en uso, lo cual sucede cuando sus costos de operación y mantenimiento superan el VPN calculado. (Estrada G., 2004. p. 45).

#### **8.8.1.2. Costo anual uniforme equivalente (CAUE)**

Se calcula para el equipo antiguo o para el equipo nuevo y se tome la decisión de reemplazo frente a la confrontación de los datos, escogiendo el de menor CAUE.

#### **8.8.2. Modelos de optimización**

Los modelos tratan de encontrar un valor óptimo para una función predeterminada, ya sea el mínimo, para funciones de costos o gastos asociados con la utilización del equipo, o el máximo, para funciones de rentabilidad o utilidad esperada por la operación del equipo. (Viveros A, González G y Rodríguez R, 2004. p. 65).

### **8.8.3. Modelos de límite**

“Buscan encontrar el instante de tiempo en el cual se alcanza un parámetro previamente establecido, estos son: modelo de renovación de equipos en grupo y modelos de costos acumulados de mantenimiento, los cuales son resueltos a través de programación dinámica”. (Viveros A, González G y Rodríguez R, 2004. p. 55).



## **9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO TEÓRICO**

- 1.1. Importancia de reemplazo de equipo portuario
- 1.2. Reseña histórica y antecedentes de Empresa Portuaria Nacional Santo Tomás de Castilla
- 1.3. El sistema de carga intermodal
- 1.4. Descripción de las Normas ISO 668 y 1496 contenedores serie I y norma ISO 6346 codificación de contenedores
- 1.5. Descripción de operaciones y equipos portuarios
- 1.6. La carretilla portacontenedor
- 1.7. La gestión de mantenimiento del equipo portuario y su implementación
- 1.8. Fuentes de datos y manejo de información de la gestión de mantenimiento
- 1.9. Causas que originan un estudio de reemplazo

### **2. DESARROLLO DE LA GESTIÓN DE REEMPLAZO**

- 2.1. Aplicación de normas ISO 55001:2014 del sistema de gestión de activos
  - 2.2. Determinación de indicadores de rendimiento (índices KPI de mantenimiento)
  - 2.3. Indicadores de tiempo medio entre fallas
  - 2.4. Indicadores de tiempo medio para la reparación
  - 2.5. Indicadores de tiempo medio para la falla
  - 2.6. Integración de costos de operación y mantenimiento
  - 2.7. costos totales de ciclo de vida
  - 2.8. Aplicación de modelos de reemplazo
  - 2.9. Modelo de comparación antiguo-nuevo
  - 2.10. Modelo de optimización
  - 2.11. Modelo de límite
  - 2.12. Enfoque de investigación de operaciones
  - 2.13. Enfoque de investigación de economía
3. ANALISIS TECNICOS PARA EL DIAGNOSTICO DEL REEMPLAZO
    - 3.1. Fundamentos de análisis del reemplazo y métodos aplicados
    - 3.2. Análisis de costo de los ciclos de vida económica y física
    - 3.3. Gestión de activos y la vida de los equipos según NORMA ISO 55001:2014
    - 3.4. Cálculo de vida remanente
    - 3.5. Conservación del equipo en uso
    - 3.6. Condición de reemplazo inmediato
4. PROPUESTAS PARA DETERMINAR LAS ESTRATEGIAS DE ADQUISICIÓN DE EQUIPOS
    - 4.1. Propuestas económicas y administrativas
    - 4.2. Especificaciones técnicas

4.3. Especificaciones de ingeniería

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Diseño**

La investigación es de tipo no experimental descriptiva, que consistirá en optimizar la vida económica y física a través del estudio su ciclo de vida, basado en el historial de mantenimiento y operaciones, aplicando un modelo de reemplazo.

### **10.2. Tipo de estudio**

El presente es un estudio cuantitativo-cualitativo, porque al procesar los datos y la información proveniente del historial de mantenimiento y operaciones generara los parámetros en la determinación del ciclo de vida. cualitativo porque mediante la determinación de los índices KPI de mantenimiento y sus criterios de aceptación; con la aplicación de las norma ISO 55001:2014 se establecerán las condiciones del equipo para determinar las estrategias de reemplazo.

### **10.3. Alcance**

Es la realización de una investigación con el propósito de determinar el reemplazo de equipos portuarios con base en el historial de mantenimiento. En Guatemala no existen trabajos publicados sobre esta temática. La revisión bibliográfica se orientó en dos direcciones: la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del reemplazo y los trabajos sobre el tema desde la perspectiva técnica y práctica que se han realizado.

#### **10.4. Variables e indicadores**

Las variables por estudiar serán los Índices KPI de mantenimiento y los indicadores de rentabilidad que proporcionen a través del análisis de costo de ciclo de vida el horizonte de evaluación y momento óptimo de reemplazo.

#### **10.5. Fases de la investigación**

A continuación, se presentan las fases que se llevaron a cabo en la investigación.

##### **10.5.1. Fase 1: recopilación de datos**

Consiste en la recopilación de datos del historial de mantenimiento de operaciones y suministros correspondientes al equipo desde su puesta en marcha en el año 2010 hasta el momento de realización del estudio.

##### **10.5.2. Fase 2: proceso de información**

En la fase se realizará el proceso de la información para determinar los Índices KPI de calidad de mantenimiento y rentabilidad para fundamentar el cálculo del ciclo de vida.

##### **10.5.3. Fase 3: aplicación de la norma ISO 55001:2014**

Mediante su aplicación se obtendrá un análisis del modelo de gestión que determine el reemplazo óptimo del portacontenedor como un activo importante y de alta criticidad en la empresa.

#### **10.5.4. Fase 4: aplicación del modelo de reemplazo y su análisis técnico**

En la fase se aplican los modelos para determinar el ciclo de vida económico y técnico, la vida remanente para establecer la condición de reemplazo o no reemplazo.

#### **10.6. Resultados esperados**

Los resultados esperados de la investigación consisten en determinar el momento óptimo de reemplazo del portacontenedor a través del análisis de su ciclo de vida y conocer los fundamentos de criterio necesarios para tomar la decisión de adquirir equipos nuevos, reemplazar los equipos usados o las reparaciones requeridas para que el activo mantenga su capacidad de servicio eficiente y rentable.

Se establecerán las estrategias de sustitución de equipos y las políticas para impulsar la gestión de activos, creando una herramienta para la toma de decisiones en la selección de la mejor alternativa para invertir sus recursos.

Mediante la aplicación de la norma ISO 55001:2014, se logra la gestión del portacontenedor maximizando su valor y optimizando su ciclo de vida alcanzando sus objetivos estratégicos.



## **11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

Fundamentalmente, se aplican los modelos de estudio a través del análisis cuantitativo a los datos que conforman la información proveniente del registro histórico del programa de mantenimiento de equipos de la Empornac que son determinantes del ciclo de vida.

Utiliza los datos históricos del sistema de gestión de mantenimiento portuario y convertirlos en índices KPI para hacer inferencias estadísticas en los métodos y procedimientos bajo la regulación de las normas ISO 55001:2014 sistema de gestión de activos.

### **11.1. Análisis de costo de ciclo de vida**

El análisis de costo de ciclo de vida asegura la combinación óptima de los costos de capital, costos operativos, así como los riesgos al establecer un sistema para identificar, evaluar, corregir y documentar, las distintas alternativas en el tiempo esperado de vida.

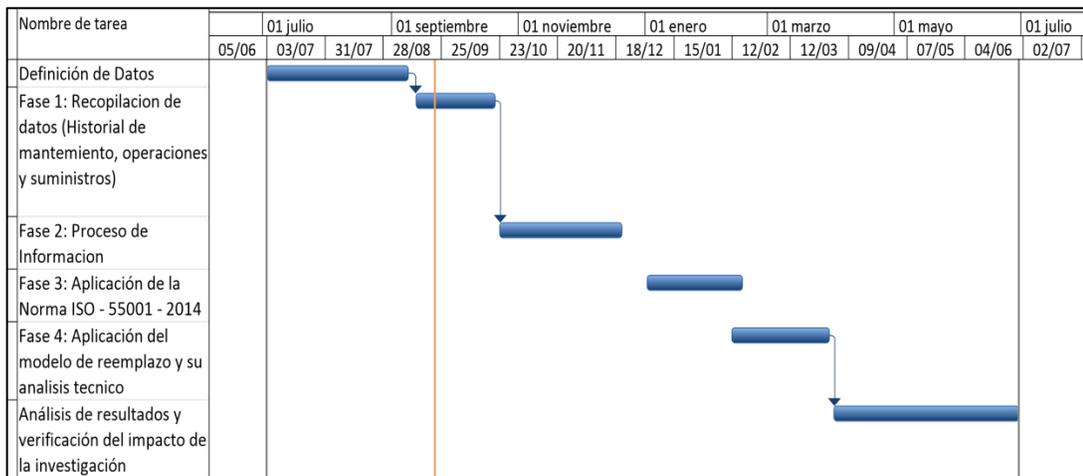
### **11.2. Modelos de reemplazo**

En la literatura existen diversos modelos que pretenden resolver la incógnita del momento óptimo de reemplazo, abordando el problema desde diferentes perspectivas y bajo diferentes ambientes, algunos con un rigor teórico-práctico mayor que otros. Los estudios de reemplazo pueden ser clasificados según sus características en tres grandes grupos:

comparaciones antiguo-nuevo, los modelos de optimización y los modelos de límites (Viveros A.; González G.; Rodríguez R., 2004. p. 182).

## 12. CRONOGRAMA

Figura 3. Cronograma del trabajo de investigación



Fuente: elaboración propia.



## **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **13.1. Factibilidad operativa**

El desarrollo de la investigación es posible porque la información contenida está en los registros de mantenimiento, operaciones, repuestos y otros consumibles que conforman el registro histórico del equipo para poder establecer el costo de ciclo de vida. El posterior procesamiento de datos es necesario para determinar los modelos y métodos de análisis aplicables para lograr los objetivos planteados. Es necesario agregar que por ser Empornac una empresa pública se tiene un libre acceso a la información.

### **13.2. Factibilidad técnica**

Es posible gracias a la diversidad de modelos de análisis que pueden aplicarse para el proceso de información y llegar a las conclusiones y resultados finales correspondientes.

### 13.3. Factibilidad económica

Tabla I. Estimación de costos

Transporte a Empornac	Q 2 400,00
Gastos en papelería	Q 500,00
Adquisición Norma ISO 55001:2014	Q 700,00
Adquisición Norma ISO 55002:2014	Q 1 300,00
Pago de asesoría	Q 2 500,00
Estimado de horas hombre	Q 7 500,00
<b>Total</b>	<b>Q 14 900,00</b>

Fuente: elaboración propia.

## 14. REFERENCIAS

1. Breal R. y Myers S. (2001). *Principios de Finanzas Corporativas*. Madrid, España: McGraw-Hill.
2. Cuatrecasas A. (2000). *Gestión Económico-Financiera de la Empresa*. México: Alfaomega.
3. Duane D. (2001). *Investigación en Administración para la toma de decisiones*. México: International Thomson Editores.
4. Duran J. y Sojo L. (2008). *Cuándo Reemplazar mis Equipo*. Recuperado de [www.gestionpas55.com](http://www.gestionpas55.com).
5. Enríquez F. (2001). *El plan estratégico, un instrumento para la Gestión Portuaria*. España: IPEC.
6. Espinoza J. (1990). *Reemplazo de equipos: un enfoque de mantenimiento*. Recuperado de [www.servic.cl/art\\_rm/rev.html/rev01.html](http://www.servic.cl/art_rm/rev.html/rev01.html).
7. Estrada G. (2004). *Evaluación económica del proyecto de sustitución de equipos de perforación en la cuenca de Burgos, (Tesis de Maestría)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

8. García M, Ulloa M. y Belete O. (2013). *El reemplazo de equipos mineros*. Recuperado de [www.redalyc.org/articulo.oa?id=2235287100004](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2235287100004).
9. Gómez G. (2002). *Análisis de reemplazo de activos físicos*, *Revista de ingeniería*. Recuperado de [www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.html](http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.html).
10. MIDEPLAN Ministerio de Planificación. (2005). *Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Reemplazo de Equipos*. Gobierno de Chile. Recuperado de <http://sitio.gorebiobio.cl/wp-content/uploads/2015/05/Metodologia-reemplazo-de-equipos.pdf>
11. Morales A, (2010). *Tiempo óptimo de reemplazo de equipos aplicado a flota de cargadores frontales LHD*, Tesis Maestría, Universidad de Valparaíso, Chile. Recuperado de <https://issuu.com/manuel-morales/docs/tesis-tiempo-optimo-reemplazo-equipos>.
12. Muñoz B. (2007). *Mantenimiento Industrial*, Madrid, España. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/106168606/Administracion-del-mantenimiento>
13. Berger V., Olazo C. y Oré J. (2003). *Problemas de reemplazo: enfoques de investigación de operaciones y economía*. Revista PESQUIMAT, Vol. VI, No.1, pp 49-60, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

14. Proveta G. (2002). *Óptimo Económico de Máquinas y Equipos*, Revista Facultad de Ingeniería No.27; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
15. Randin, R. (1998). *Optimización en investigación de operaciones*, New Jersey, USA: Prentice Hall.
16. Tavares, A. (2015). *Administración Moderna de Mantenimiento*, [versión electrónica], pp. 52-80, Brasil, Novo Polo Publicaciones
17. TRAIMAR Comisión Portuaria Nacional. (2000). Políticas de Gestión y Mantenimiento de Equipo Portuario, Guatemala.
18. Villaplana (1994). J.P. *Reemplazamiento de Equipos e Inflación*. Revista Investigación Operativa. ALIO. Volumen 4, Número 2. Recuperado de ([www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.html](http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.html)).
19. Viveros A. Gonzáles G. Rodríguez R. (2004). *Aproximación al reemplazo de equipo industrial*, Revista Scientia et Technica, vol. 2, No. 25, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Recuperado de [www.researchgate.net/4413124](http://www.researchgate.net/4413124).
20. Zegarra M. (2016). *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/355984163/Confiabilidad-pdf>.

