



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MONITOREO DE
CONDICIÓN PARA LA FLOTA DE MANEJADORAS DE CONTENEDORES DE APM
TERMINALS QUETZAL**

Lester Alfonso Valle Orellana

Asesorado por el Mtro. Ing. William Giovanni Colíndres Velasquez

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MONITOREO DE
CONDICIÓN PARA LA FLOTA DE MANEJADORAS DE CONTENEDORES DE APM
TERMINALS QUETZAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LESTER ALFONSO VALLE ORELLANA

ASESORADO POR EL MTRO. ING. WILLIAM GIOVANNI COLÍNDRES
VELASQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| EXAMINADOR | Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Eduardo Coronado NoJ |
| EXAMINADOR | Ing. Julio César Molina Zaldaña |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA LA FLOTA DE MANEJADORAS DE CONTENEDORES DE APM TERMINALS QUETZAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 10 de marzo de 2021.

Lester Alfonso Valle Orellana

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por concederme salud y la fortaleza necesaria cuando la meta solía desvanecerse, por lo que pongo este trabajo en tus manos y que sea de bendición para quien lo necesite.
- Mis padres** Por inculcarme los valores que me han formado como persona y aprender de ustedes a ser mejor cada día.
- Mi familia** Por ser parte principal en mi formación como persona y cada uno ser un ejemplo de vida y superación profesional.
- Mi asesor** Mtro. Ing. William Colíndres, por su amistad y contribución con su experiencia y tiempo en la realización de esta investigación.
- Mis catedráticos** Quienes con su ejemplo, sabiduría y arduo trabajo me brindaron la preparación académica para mi formación como profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una casa de estudios que siempre recordaré y representaré con orgullo.

Facultad de Ingeniería

Al personal administrativo y docente por su labor diario en mejorar y comprometerse con la educación de buenos profesionales.

**Mis amigos de Escuela
de Estudios de Postgrado**

Quienes en equipo fuimos creciendo como profesionales superando todos los obstáculos.

Mis amigos

Por su apoyo incondicional y estar presentes dando apoyo en todo logro alcanzado.

Mi novia

Por apoyarme y creer en mí a lo largo de este proceso.

ÍNDICE GENERAL

_Toc82456867

| | |
|----------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 2. ANTECEDENTES | 5 |
| | |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 7 |
| 3.1. Descripción y delimitación del problema..... | 7 |
| 3.2. Pregunta central | 8 |
| 3.3. Preguntas auxiliares de investigación | 9 |
| | |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 11 |
| | |
| 5. OBJETIVOS | 13 |
| 5.1. General..... | 13 |
| 5.2. Específicos | 13 |
| | |
| 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN..... | 15 |
| | |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 7.1. Diseño | 19 |
| 7.2. Plan de Gestión | 19 |

| | | |
|--------|-----------------------------------------------|----|
| 7.3. | Apiladoras de contenedores..... | 20 |
| 7.4. | Terminales portuarias..... | 21 |
| 7.5. | Mantenimiento..... | 22 |
| 7.5.1. | Mantenimiento centrado en confiabilidad | 23 |
| 7.5.2. | Monitoreo de condición | 25 |
| 7.5.3. | Análisis de vibraciones..... | 26 |
| 7.5.4. | Termografía..... | 26 |
| 7.5.5. | Análisis de aceite | 27 |
| 7.6. | Ensayos No Destructivos | 28 |
| 7.6.1. | Inspección visual y técnica VOSO..... | 28 |
| 7.6.2. | Líquidos penetrantes..... | 29 |
| 7.6.3. | Partículas magnéticas | 29 |
| 7.6.4. | Radiografía industrial | 30 |
| 7.6.5. | Ultrasonido | 30 |
| 7.7. | Metodología de resolución de problemas..... | 31 |
| 7.7.1. | Análisis de causa raíz | 31 |
| 7.7.2. | Diagrama causa y efecto..... | 32 |
| 7.8. | Indicadores clave de desempeño (KPIs)..... | 32 |
| 8. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS | 33 |
| 9. | METODOLOGÍA | 35 |
| 9.1. | Ruta de investigación | 35 |
| 9.2. | Alcance de investigación..... | 35 |
| 9.3. | Tipo de investigación..... | 35 |
| 9.4. | Variables | 35 |
| 9.5. | Fases de investigación..... | 36 |
| 9.6. | Población y muestra..... | 37 |

| | | |
|-----|------------------------------------------|----|
| 10. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN..... | 39 |
| 11. | CRONOGRAMA..... | 41 |
| 12. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 43 |
| 13. | REFERENCIAS..... | 45 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---------------------------------|----|
| 1. | Esquema de solución | 15 |
| 2. | Cronograma de actividades | 41 |

TABLAS

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| I. | Operativización de variables | 36 |
| II. | Presupuesto de la investigación..... | 44 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|----------------------|
| \$ | Dólar estadounidense |
| E | Este |
| °C | Grados Celsius |
| = | Igual que |
| % | Porcentaje |

GLOSARIO

| | |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APM | Empresa miembro del grupo A.P.Moller-Maersk. |
| ATF | <i>Automatic Transmission Fluid</i> (Líquido de transmisión). |
| Existencia mínima | Cantidad mínima de unidades de cierto repuesto o insumo que debe haber en existencia. |
| KPIs | Son conocidos como indicadores de calidad o indicadores clave de negocio que pueden ser utilizados y aplicables en cualquier área de negocio y sector productivo, aunque son utilizados de una forma muy habitual en el marketing online. |
| OEM | <i>Original Equipment Manufacturer</i> (Fabricante Original del Equipo). |
| Procedimiento | Conjunto de acciones que se tienen que realizar todas igualmente para obtener el mismo resultado bajo las mismas condiciones. |
| RCM | <i>Reliability Centered Maintenance</i> (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). |

| | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Repuesto | Pieza de un mecanismo o aparato que es igual a otra y puede sustituirla en caso de necesidad. |
| Repuesto crítico | Repuesto de elevada importancia para el proceso operativo, tal que su falla provocará una parada en la operación del equipo. |
| SOP | Standard Operating Procedure. |
| SPCM | <i>Spare parts cost per move</i> (Costo de repuesto por movimiento). |
| TEU | Unidad equivalente a un contenedor de veinte pies, por sus siglas en ingles. |

RESUMEN

La crisis de contenedores que se vive a nivel global sumado a las condiciones climáticas estacionales que enfrentan los puertos asiáticos, generan alta demanda de almacenamiento en la terminal especializada en contenedores ubicada en puerto Quetzal, aunque esta cuenta con grúas especializadas, al encontrarse a tope la ocupación del patio de almacenamiento es necesario utilizar patios de tierra provisionales donde estas grúas no pueden operar, para estos casos se utiliza una flota de manejadoras de contenedores que ofrecen estas ventajas. Esta flota no cuenta con un plan de monitoreo de condición que permita establecer indicadores del estado de sistemas críticos.

Para realizar la propuesta de este plan se identificarán parámetros representativos del estado de estos sistemas y se iniciará la toma de datos para analizar el comportamiento de los mismos.

Los resultados del análisis permitirán establecer rangos y definir criterios de operación y mantenimiento que permitirán el desarrollo del plan de monitoreo de condición, con esto será posible mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte en contenedores es responsable de mover el 95 % de los productos manufacturados en el mundo, según una publicación del *Wall Street Journal*, en el 2017 más de 4 trillones de dólares en productos fueron transportados vía marítima, por lo que es importante entender la labor de esta industria que apuntala la economía mundial.

La idea del transporte marítimo inició en el siglo III a.C. cuando los comerciantes se dieron cuenta que transportar productos vía marítima era menos costoso y más rápido que por tierra, se cargaban los productos acomodándose bajo las cubiertas de los navíos. Esta labor era ejecutada por cuadrillas de trabajadores, provocando que los navíos pasaban más tiempo en el puerto que navegando pero eso cambió en 1956, es ahí cuando Malcom McLean, un camionero estadounidense decidió embarcar 58 cajas metálicas en un barco que se dirigía de Nueva Jersey a Houston, una idea que revolucionaría la industria por completo, estas cajas metálicas o contenedores no solamente protegían los productos sino que el transbordo podía ser efectuado sin desempacar los productos individuales y colocarlos directamente en trenes.

A partir de este momento, vinieron una oleada de innovaciones y el tamaño de los contenedores fue estandarizado, es aquí donde surgió el contenedor de 20 pies del cual surge el término TEU que se refiere a una medida de capacidad de carga que se utiliza para describir la capacidad de un barco mercante y las terminales de contenedores.

La evolución de los servicios navieros sufrió una aceleración sin precedentes. En 1966 la línea naviera Moor-McCormack inició la primera línea de servicios transatlánticos entre América y Europa, para 1968 uno de los primeros portacontenedores modernos inició operaciones, el buque japonés Hakone Maru con capacidad de 752 contenedores de 20 pies, ahora los contenedores podrían ser transportados y transbordados a vías férreas en volúmenes masivos y con alta eficiencia, reduciendo el costo de transporte de manera drástica lo que llevó al surgimiento de gigantes del transporte como la Danesa Maersk Line, CMA CGM de Francia y la línea china COSCO.

Con la explosión de la globalización surgió la necesidad de mejorar la infraestructura encargada de recibir los portacontenedores, las expansiones del canal de Panamá y el canal de Suez permiten el tránsito de buques más grandes y en mayores cantidades lo que ha llevado a la industria naviera a experimentar grandes desafíos. Existen demasiados barcos en los mares, esto ha llevado a una guerra de precios que a su vez ha hundido a muchas líneas navieras en los números rojos y ha hecho naufragar a muchas otras repercutiendo en una ola de consolidaciones y fusiones, haciendo que las 20 principales líneas navieras se reduzcan a 11, número que se espera decrezca en el futuro.

Este futuro muy probablemente traerá la creación de buques aún más grandes para poder abaratar el costo de transporte y cumplir con emisiones de gases invernadero.

Los tiempos de transporte, citas y compromisos que las navieras tienen con los clientes ejercen una gran presión en las terminales portuarias, siendo un jugador clave en la industria debido a su importancia estratégica en la logística del comercio internacional de los países.

La eficiencia de los puertos se mide en movimientos por hora, un movimiento incluye el tomar un contenedor del buque y colocarlo en el patio de almacenamiento o viceversa, independientemente de las medidas del contenedor, 20, 40 o 45 pies.

Para lograr esta eficiencia entran en juego una gran cantidad de factores, entre los más importantes, la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria especializada que se utiliza para apilar los contenedores.

La importancia del desarrollo de esta investigación se centra en garantizar la disponibilidad de esta maquinaria, específicamente, la flota de apiladoras de contenedores de una terminal portuaria especializada en contenedores y de esta manera influir positivamente en la eficiencia global de la terminal.

Los resultados esperados es establecer un plan de monitoreo de condición que permita la recopilación y análisis de datos de las principales condiciones operativas de la maquinaria.

El principal beneficio que se esperan son cumplir con los tiempos pactados con los clientes, navieras y empresas de transporte terrestre, cumplir con las programaciones de inspección de mercadería por parte de las autoridades pertinentes e incrementar los indicadores claves de desempeño como disponibilidad, confiabilidad y el tiempo de permanencia de contenedores en la terminal.

En el capítulo I, se desarrollará el marco teórico con información del funcionamiento de los puertos y estadísticas del comercio nacional y de la región. Se incluye información acerca de la maquinaria que conforma la flota de apiladoras de contenedores de la terminal. También se incluye información

sobre la gestión de mantenimiento, activos y las técnicas utilizadas para desarrollar el plan de monitoreo. También se complementa con información de técnicas secundarias de resolución de problemas y análisis de información.

En el capítulo II, se realizará la investigación y visitas de campo donde se recolectarán los datos, se efectuarán las inspecciones y los ensayos no destructivos que ayudarán a determinar los parámetros a monitorear.

En el capítulo III se realizará la presentación y el análisis de datos obtenidos en el primer capítulo.

En el capítulo IV se hará la discusión de resultados obtenidos para la elaboración de conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

García y Martín (2017) realizaron una investigación sobre la planificación de repuestos del ejército de tierra con el objetivo de asegurar la disponibilidad operativa de sus numerosas flotas. Utilizaron el método de disponibilidad basada en escasez (RBS). Las conclusiones de investigación indican que en primer lugar, al desplazar la orientación de abastecimiento propia de métodos basados en la previsión de demanda a otra propia de mantenimiento, el repuesto queda relegado a un segundo plano, cobrando el sistema o la familia un papel principal en el cálculo y en segundo lugar, aunque está claro que el método no fue el único factor que influyó en los resultados positivos, sí fue el de mayor aporte al aumentar la disponibilidad de las flotas y al mismo tiempo disminuir el crédito necesario. El aporte metodológico de la investigación es el enfoque en la descripción del método y su aplicación en el caso de estudio.

Morales, Vázquez y Mota (2015) realizaron una investigación de la optimización del stock de piezas de repuesto para equipos médicos, presentaron un algoritmo que permite la optimización del *stock* de repuestos utilizando técnicas estadísticas de estimación.

Las conclusiones de investigación indican que, en primer lugar, las soluciones consultadas se enfocaron en el pronóstico de la demanda de inventarios de manera general, no considerando particularidades asociadas a la predicción de *stock* de piezas, en segundo lugar, no satisfacen las necesidades que se tienen en cuanto a aplicación para la tecnología sanitaria dado a que presentan características propias del sector para el cual fueron diseñados y en tercer lugar, por todo lo expuesto anteriormente, se hizo necesaria la realización

de un algoritmo que aumente la exactitud de las estimaciones de stock y que permitan la optimización de los pedidos según la demanda proyectada. El aporte metodológico de la investigación es el proceso de comparación entre los métodos de estimación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción y delimitación del problema

En una terminal portuaria especializada en contenedores con estándares internacionales, se debe mantener un alto nivel de productividad para poder mantenerse competitivos, entre los diferentes factores que influyen en esta productividad tiene, como uno de los que más influyen, el equipo especializado en mover contenedores y la alta disponibilidad que se demanda de estos, en especial las manejadoras de contenedores que cubren gran parte de las necesidades operativas debido a su versatilidad.

Debido a esta alta demanda de trabajo y disponibilidad es que la necesidad de escoger un plan de mantenimiento adecuado se hace más evidente, no solamente deben suplir la demanda, también lo deben hacer cumpliendo con los estándares más altos de seguridad y eficiencia.

En la terminal de contenedores APM *terminals* quetzal se cuenta con una flota de 4 manejadoras de contenedores que deben cubrir las necesidades de manejo de todo tipo de contenedores y cargas sobredimensionadas, es por eso que se ha tomado la decisión de implementar un modelo de mantenimiento de alta disponibilidad basado en monitoreo de condición, el cual ayudará a mantener la disponibilidad, confiabilidad y por consiguiente, el servicio que estos prestan.

Las causas principales son: falta de un modelo adecuado de mantenimiento y falta de procedimientos establecidos y herramientas para el

monitoreo de condición. A partir de la falta de un modelo adecuado de mantenimiento se de estos equipos se origina la falta de procedimientos establecidos para la gestión adecuada del mantenimiento y falta de indicadores de desempeño que indiquen la efectividad del mantenimiento. Sus efectos principales son: Ineficiencia en la gestión de recursos utilizados para el mantenimiento, aumento de reprocesos y carga de trabajo debido a que los esfuerzos no son guiados por un procedimiento alineado al plan estratégico y objetivos de la compañía. A partir de la falta de procedimientos establecidos y herramientas para el monitoreo de condición se origina la falta de adecuación de los planes de mantenimiento a las necesidades de la empresa, la falta de estrategias de gestión de estos activos y la deficiencia en la gestión de repuestos críticos debido a la falta de información y análisis de datos derivados de las inspecciones y análisis de fallas.

La importancia de implementar un modelo adecuado de mantenimiento toma mayor importancia si se considera que la mayoría de los repuestos originales del equipo provienen de Europa, lo que significa 3 meses de importación, en algunos casos, se debe tomar en cuenta los tiempos de fabricación al ser repuestos especiales. También es importante tomar en cuenta que, al ser equipos especializados, no se tiene el soporte adecuado de parte de los fabricantes y se debe realizar una inversión considerable en entrenamiento del personal del departamento de mantenimiento.

3.2. Pregunta central

¿Cuáles son los parámetros principales a medir para el diseño de un plan de monitoreo de condición para una flota de manejadoras de contenedores?

3.3. Preguntas auxiliares de investigación

- ¿Cuáles son los procedimientos que a la fecha rigen los programas de mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores?
- ¿Cuáles son los problemas más repetitivos en la ejecución del mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores?
- ¿Cuáles son los parámetros que deben establecerse para alcanzar los estándares de la empresa y cumplir con los indicadores de desempeño?

4. JUSTIFICACIÓN

Las terminales portuarias son una parte crítica para la logística comercial de un país, su importancia estratégica es de alta relevancia para la capacidad de competir en mercados internacionales por lo que es importante mantener la eficiencia operacional de las mismas, es aquí donde la maquinaria especializada entra en juego ya que está diseñada específicamente para el manejo efectivo de carga contenerizada pero, la utilización de esta maquinaria especializada representa un reto adicional debido a la falta de soporte técnico, mano de obra especializada y poca disponibilidad de repuestos y consumibles disponibles en el mercado local.

Los procedimientos existentes que se poseen actualmente están elaborados de manera general y aunque son de mucha ayuda, no toman en cuenta aspectos específicos de la demanda operativa o de la región donde se encuentra la terminal, la falta de especificidad y tropicalización de estos procedimientos, aunada a la falta de un plan de monitoreo de condición, pone en evidencia puntos ciegos que se deben atacar y por los cuales no se logra mitigar el impacto en la disponibilidad de la maquinaria y los tiempos de respuesta por parte del área de mantenimiento, esto también dificulta la correcta evolución del plan de mantenimiento al no brindar la base necesaria para desarrollar un estratégico alineado con los intereses de la terminal.

El atacar estos puntos ciegos y la brecha entre los procedimientos y las necesidades locales representa una mejora en el área de mantenimiento y la terminal portuaria y se cuenta con la información adecuada que permitirá calibrar los planes de acción, lo que a su vez ayudará a incrementar la

disponibilidad, e incluso aspectos operativos como como el confort del personal operativo y la productividad de la terminal en general.

Los beneficios de un plan adecuado de monitoreo de condición se expanden en diferentes áreas, siendo uno de ellos contar con la información adecuada para afinar la gestión de insumos y repuestos críticos en el departamento de mantenimiento.

El aporte que el presente trabajo representa para la industria portuaria guatemalteca es poder adaptar las estrategias de mantenimiento a la realidad del mercado global y las necesidades del comercio internacional, logrando reforzar la importancia que el país tiene en la región como punto estratégico para la logística del comercio en la región.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar una propuesta del plan de monitoreo de condición para la flota de manejadoras de contenedores de una terminal portuaria.

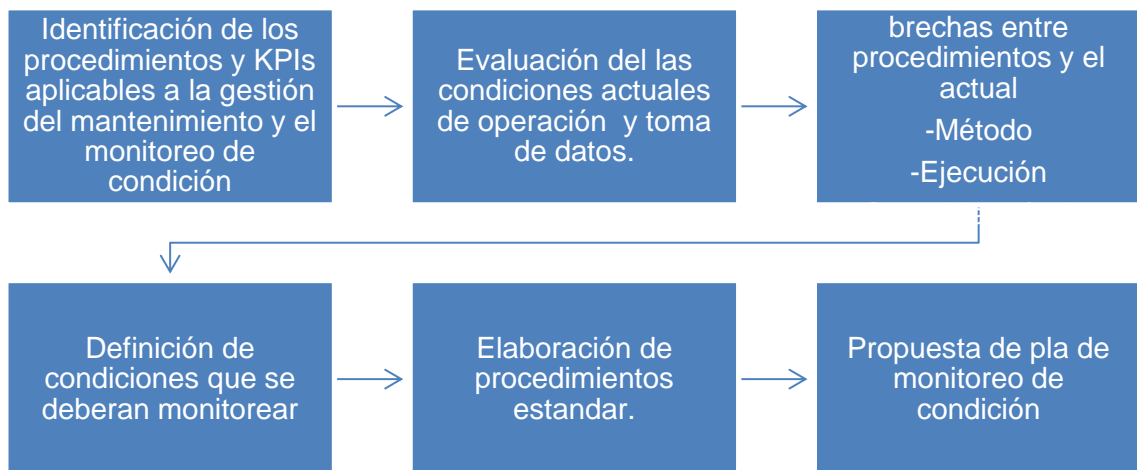
5.2. Específicos

- Identificar las deficiencias del plan de mantenimiento actual utilizado en la gestión de mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores.
- Identificar los problemas más repetitivos y de mayor impacto para la ejecución y desarrollo de los planes de mantenimiento.
- Establecer los parámetros y condiciones necesarias para que el área de mantenimiento cumpla con los estándares y requerimientos de la empresa.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El trabajo de investigación pretende que, mediante la implementación de un plan de monitoreo de condición a la flota de manejadora de contenedores de una terminal portuaria, se puedan reducir los tiempos de paro por fallos del equipo, optimizar los recursos limitados relacionados con la ejecución del mantenimiento, especialmente las horas hombre al hacer mejor uso del recurso humano, aumentar la disponibilidad reduciendo el MTTR y aumentando el MTBF, ampliar el alcance de la matriz de priorización y la categorización de repuestos críticos y modificar los mínimos de *stock* de acuerdo a las necesidades específica de la operación.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

Como primera parte del esquema de solución se debe identificar los procedimientos aplicables y los KPIs que influyen en la ejecución de mantenimiento de las manejadoras de contenedores, aunque existe información suficiente y muchos procedimientos y estándares en común, se deberá establecer cuáles son los más adecuados a las necesidades de la empresa y el área de mantenimiento.

Es necesario, como siguiente paso, evaluar las condiciones actuales en las que opera el departamento de mantenimiento, ambiente, limitaciones, procedimientos y KPIs utilizados, en esta etapa, también se propone una entrevista con el personal del almacén como medio de establecer las limitaciones del equipo de trabajo.

En la siguiente etapa, se procede a establecer las brechas entre los procedimientos y estándares en uso a la fecha y el estado actual de la gestión, para esto se utilizará una tabla comparativa que tomará en cuenta los siguientes criterios.

- Historial de fallas
- MTBF
- MTTR
- Análisis de causa raíz
- KPIs

Con la información recabada en los pasos anteriores se podrán definir las condiciones principales que se deben monitorear para garantizar la disponibilidad de la maquinaria:

- Estado del lubricante
- Parámetros del motor
 - compresiones
 - vacío
 - gases de escape.
 - Análisis de aceite
 - consumo de combustible

- Sistema hidráulico
 - Presiones
 - Análisis de aceite

- Transmisión
 - Presiones
 - Análisis de aceite

Como siguiente paso, se procede a elaborar procedimientos estándar para la ejecución del monitoreo y el registro de los datos y del análisis de estos se podrá actualizar la estrategia y rutinas de mantenimiento de la flota.

Como paso final se elaborará la propuesta del plan de monitoreo de condición de la flota de manejadoras de contenedores de la terminal portuaria.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Diseño

El diseño de un sistema es parte importante de la efectividad de las acciones a seguir para la obtención de los resultados esperados. De acuerdo con Forero y Ospina (2013), el diseño debe entenderse como la creación de una experiencia y por lo tanto el diseñador asume responsabilidad completa y libre de la idea recurrente de que el producto o los servicios tienen un carácter determinado por solicitud del usuario.

Hualpa y Suarez (2017) plantea que “el diseño del almacén es un factor clave en la configuración de los sistemas logísticos, pues facilita la gestión oportuna de materiales, productos intermedios o finales, mejorando el tiempo, costo y nivel de servicio al cliente” (p. 4).

7.2. Plan de Gestión

Morales, Silva y Mota (2015) argumentan que:

Uno de los problemas más comunes durante la gestión de almacenes es la planificación de *stock* de piezas de repuesto para la satisfacción de las necesidades de reparación o mantenimiento. (p. 7)

Actualmente el criterio de los expertos y la información que se almacena, no son suficientes para realizar una planificación satisfactoria que permita suministrar las piezas o repuestos en las cantidades requeridas por la operación

y el tiempo adecuado. De acuerdo con Morales *et al.* (2015) es por esto que se debe generar un algoritmo que permita optimizar el *stock* de las piezas o repuestos para equipos críticos.

Los inventarios han representado históricamente cerca de un tercio de los activos de una empresa típica, extendiendo esta praxis a todo tipo de negocio, sea industria o servicio parece ser que es un patrón altamente repetido. De hecho, el modelo de costes más extendido y validado es que en mantenimiento, el 70 % del presupuesto es mano de obra y el 30 % son repuestos. (Galar, Berges, Lambán y Tormos, 2014, p. 5)

7.3. Apiladoras de contenedores

En la década de los 30, una empresa de camiones originaria de Suecia se propuso crear máquinas especializadas para soportar la industria maderera, para la década de los 70, esta empresa se encontraba haciendo negocios en todo el territorio europeo, esta empresa se convertiría en Kone *Cranes lift trucks*, que se especializa en camiones de izaje.

Actualmente cuentan con una amplia gama de opciones entre las que se puede encontrar las manejadoras de contenedores vacíos (*Empty Container Handler*) y apiladoras de alcance (*Reach Stacker*), para los fines de este trabajo de investigación se propondrán dos modelos específicos que conforman la flota de manejadoras de contenedores de una terminal portuaria, a continuación, se describen las especificaciones de cada modelo.

- Apiladora de contenedores SMV4531 es una máquina capaz de apilar contenedores llenos a 5 alturas

- Modelo: SMV
 - Capacidad
 - 45ton en primera línea
 - 31ton en segunda línea
 - Altura máxima: 6ta
 - Motor: Cummins QSM11
 - Transmisión DANA TE27/32
- Manejadora de contenedores SMV3-7 ECB es un elevador de contenedores vacíos que puede apilar hasta sexta altura.
 - Modelo SMV 7/8
 - Capacidad: 7 Ton
 - Altura Máxima: 7ma
 - Motor: Cummins QSB6.7
 - Transmisión:

7.4. Terminales portuarias

El desarrollo económico a finales del siglo pasado estuvo inmerso en dinámicas de cooperación que permitieron la apertura a nivel global; esto contribuyó a que los países generaran estrategias con el fin de superar las devastaciones de la segunda guerra mundial y el comercio se convirtió en la solución más diplomática e incluyente para alcanzar este objetivo. (Castro, Soler, Umaña y Yepes, 2016, p. 89)

La logística y el comercio internacional se han convertido prácticamente en sinónimos, para que esta logística sea efectiva y práctica se necesita de gran infraestructura en la cual se llevan las operaciones necesarias para el comercio y en este caso, las terminales portuarias son el punto clave para el

comercio internacional. De acuerdo con Castro *et al.* (2005), el gran éxito de la reestructuración portuaria que se inició en la década de los noventa ha sido la mejora sustancial en el rendimiento del personal operacional, en otras palabras, el movimiento de mercadería del buque hacia las zonas de almacenamiento y viceversa.

El beneficio de contar con puertos eficientes va más allá de aumentar el volumen de tráfico, tiene efectos directos e indirectos sobre otras actividades relacionadas, como aseguradoras, finanzas y servicios logísticos, debido a su posición estratégica en la cadena de transporte. (Delfín y Navarro, 2017, párr. 3)

Según datos de la comisión portuaria nacional (CPN) en el año 2019 se movieron un total de 13,485,170 toneladas métricas de carga solamente en la costa sur, Puerto Quetzal, lo que equivale a un 48 % del total de movimientos de todo el país, de estas 10,132,540 toneladas fueron transportadas por contenedor, lo que equivale a un 36 % del total de carga movida a nivel nacional, de aquí, se puede rescatar la necesidad de una terminal especializada en contenedores y la importancia que la eficiencia operativa de estas terminales toma para el comercio internacional.

7.5. Mantenimiento

El mantenimiento en la actualidad está rompiendo con los preconceptos del pasado, en las empresas modernas se debe establecer la idea de que el mantenimiento no es solamente un gasto más sino una inversión que aporta a la continuidad del negocio y la eficiencia operativa.

El mantenimiento ha sido considerado como un proceso de apoyo a la producción, y como tal, consumidor voraz de recursos, al que se ha tendido a minimizar y en los últimos años a subcontratar, de modo que las pymes deben asumir directamente la gestión de mantenimiento. La planificación de mantenimiento debe estar ligada a la planificación y programación de la producción, de una planificación a largo plazo; para con esta base elaborar el presupuesto anual en el que se incorporan tanto los recursos humanos necesarios, como los materiales, los suministros y los servicios externos. (Ortiz, Rodríguez e Izquierdo, 2013, p. 87)

La función del área de mantenimiento tiene como misión la conservación de la maquinaria y equipos en buen estado y buenas condiciones operativas al costo más bajo o razonable posible, en otras palabras, la eficiencia requerida con la eficacia fijada. De acuerdo con Galar *et al.* (2014) es necesario analizar esto desde los puntos de vista de equipo y maquinaria.

El mantenimiento ha evolucionado al mismo paso que la economía mundial y es por eso por lo que se han desarrollado variedad de tendencias, a continuación, se estudiarán las más relevantes para esta investigación y su desarrollo.

7.5.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

La filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad *Reliability Centered Maintenance* por sus siglas en inglés (RCM), presenta como criterio general el mantenimiento prioritario de los componentes críticos para que la maquinaria o equipo siga prestando el servicio para el que fueron diseñados.

Montilla, Arroyave y Silva (2007), comentan que “a diferencia del MP, el objetivo del RCM, no es conservar la condición operativa de los equipos, sino garantizar que el equipo cumpla la función o funciones para las cuales ha sido introducido en un proceso productivo” (p 2).

De la misma manera López y Eslava (2019), indican que “el RCM es una técnica de organización de actividades de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos” (p 3).

El RCM es un proceso de gran ayuda para determinar las acciones a seguir para asegurar que un activo continúe prestando la función para la que fue diseñado y en el contexto de la demanda operacional. De acuerdo con Campos Tolentino, Toledo y Tolentino (2019), el RCM también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento y detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos.

Entre las herramientas del RCM se pueden citar, equipo de trabajo de mejora continua, definición de sistemas, funciones y contextos operacionales, establecimiento y diferenciación de la criticidad, análisis de causa raíz, documentación de hojas de decisión para las tareas de planificación. (Díaz, Villar, Cabrera, Gil, Mata y Rodríguez, 2016, p. 138)

El RCM cuenta con 7 etapas que se presentan en los siguientes conceptos

- Definir las funciones y estándares operativos y de desempeño del activo según su contexto operacional actual.

- Definir de qué manera se está fallando en satisfacer estas funciones.
- Definir la causa de cada falla funcional.
- Identificar los efectos causados por la falla.
- Identificar las consecuencias de la falla.
- Identificar las tareas predictivas o preventivas necesarias para que prevenir la falla.
- Definir las acciones a seguir en caso no se encuentra una tarea o actividad proactiva adecuada para prevenir la falla.

7.5.2. Monitoreo de condición

“Una de las formas de reducir los costos de mantenimiento lo constituye la implementación del monitoreo por condición de la maquinaria (*Condition Monitoring System*), el cual es un componente esencial para poder efectuar un programa de mantenimiento efectivo” (Hernández, Ruiz, Rodríguez y Guerges, 2011, p. 63).

Un plan de monitoreo de condición de la maquinaria genera información importante para diagnóstico acerca del estado de diferentes subsistemas de los equipos. De acuerdo con Hernández, *et al.* (2011), esta información puede ser empleada para programar las tareas de mantenimiento o proceder a reparar averías antes que el problema se agrave y genere una interrupción del funcionamiento de la maquinaria.

Las técnicas VOSO son de gran ayuda para inspecciones rutinarias, pero, muchos necesitan información específica que ayude a tomar decisiones objetivas. De acuerdo con Hidalgo y Robles (2016), vale la pena señalar que los métodos de control como la observación y experiencia individual tienen un

carácter subjetivo y no son los más adecuados para controlar el estado del motor.

7.5.3. Análisis de vibraciones

Esta técnica es utilizada principalmente en máquinas rotativas ya que toda máquina presenta cierto nivel de vibración, aun si se encuentra operando con normalidad, para esto, se emplea equipo especializado para el análisis de vibraciones, a continuación, algunos problemas detectables por medio de análisis de vibraciones.

- Desbalanceo
- Desalineación
- Resonancia
- Daño en los rodamientos
- Cavitación en bombas
- Problemas eléctricos asociados a motores

7.5.4. Termografía

“La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar” (Reyna, Rodney y González, 2011, p. 6).

La termografía se basa en la captación de radiación infrarroja del espectro electromagnético a través de cámaras termográficas. Según Reyna *et al.* (2011), estas cámaras permiten convertir la energía irradiada en información sobre temperatura y emisividad.

Las áreas en las que se puede utilizar cámaras termográficas son las siguientes.

- Equipamientos mecánicos
- Instalaciones eléctricas
- Intercambiadores de calor

7.5.5. Análisis de aceite

Es una técnica que tiene como objetivo determinar un componente o máquina a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite.

La técnica de análisis de aceite permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando a cada de detenerse. (Olarte, Botero y Cañon, 2010, p. 225)

Los resultados del análisis de aceite se pueden dividir en cuatro áreas principales las cuales son:

- Metales de desgaste
- Contaminantes
- Aditivos
- Propiedades del lubricante

7.6. Ensayos No Destructivos

Los Ensayos no Destructivos (END) son métodos utilizados para analizar las propiedades de una pieza o equipo determinado sin causar daño al mismo o sin comprometer su integridad estructural y funcionamiento. De acuerdo con Ospina, Hernando y Parra (2011), en los últimos años, los END se han convertido en herramienta indispensable del mantenimiento industrial, siendo el medio principal para determinar el nivel de calidad alcanzado por los productos o las condiciones de operación de equipos o componentes de maquinaria.

También son muy útiles para identificar discontinuidades de piezas que pueden causar alguna falla prematura e impedir que la máquina o equipo desempeñen la labor para la que fue diseñado. Según Ospina et al. (2011), las etapas de inspección mediante END, pueden resumirse de la siguiente manera.

- Elección de técnicas y método idóneos
- Obtención de una indicación o una medida propia
- Interpretación de la indicación
- Evaluación de la indicación

7.6.1. Inspección visual y técnica VOSO

Es uno de los métodos más utilizados debido a la facilidad de aplicación, bajo nivel de entrenamiento del personal y a que produce resultados en corto tiempo y a bajo costo.

Ospina, *et al*, indican que usualmente, una pieza antes de ser sometida a otros tipos de ensayos no destructivos debe ser inspeccionada visualmente.

7.6.2. Líquidos penetrantes

La inspección PT es un ensayo utilizado para detectar discontinuidades en las piezas y es considerado como una extensión o un apoyo a la inspección visual. De acuerdo con Ospina *et al.* (2011), muchas de las discontinuidades detectadas por medio de OT, no podrían detectarse por medio de inspección visual, aun siendo realizadas por un inspector con experiencia.

7.6.3. Partículas magnéticas

Es una técnica utilizada para localizar discontinuidades o defectos superficiales o subsuperficiales en materiales ferromagnéticos, esta técnica basa en que cuando se magnetiza la pieza examinada, las posibles discontinuidades presentes en ella producen un campo de fuga.

El método de partículas magnéticas presenta ciertas limitaciones que deben considerarse. De acuerdo con Ospina *et al.* (2011), entre estas limitaciones se presentan las siguientes.

- Películas o capas magnéticas como pintura o aceite sobre la pieza pueden dificultar la visibilidad de los resultados.
- El método se puede aplicar exclusivamente en piezas hechas de materiales de aleaciones ferrosas y materiales ferromagnéticos, con excepción de aceros inoxidables martensíticos.
- Debido a que, para obtener mejores resultados, el campo magnético debe interceptar el eje principal de la discontinuidad, normalmente es

necesario realizar dos o más secuencias de inspección en una misma región de la pieza y en direcciones diferentes.

- Al finalizar el ensayo, la pieza debe ser desmagnetizada.
- Debido a que la corriente que se debe utilizar es proporcional a las dimensiones de la pieza, la calibración del equipo tiene un límite práctico.

7.6.4. Radiografía industrial

La radiografía industrial es un método basado en la absorción de diferencial de radiación que penetra por la pieza que está siendo inspeccionada.

“Debido a diferencias en las características de absorción causada por las variaciones de masa, composición y estructura del material, diferentes regiones de una misma pieza absorberán cantidades diferentes de radiación penetrante” (Ospina, *et al.* 2011, p. 6).

7.6.5. Ultrasonido

El método de ultrasonido es ampliamente utilizado el mantenimiento y la ingeniería debido a que permite conocer una pieza o material desde su interior según la trayectoria de propagación de las ondas sonoras. De acuerdo con Santos, Cancino, Yanque, Ramirez y Palomino (2005), en el desarrollo de este método se utilizan instrumentos con cientos de intervalos de frecuencia o altas y se aplica para detectar imperfecciones como fisuras y poros.

7.7. Metodología de resolución de problemas

El método de resolución de problemas ayuda a disminuir la subjetividad del pensamiento individual y proporciona herramientas para tomar decisiones basadas en hechos y datos, para esto, según Viles (2007), se requiere promocionar la estadística, o, mejor dicho, el pensamiento estadístico como metodología válida para resolver problemas.

7.7.1. Análisis de causa raíz

Señalan Martínez y Barroso (2008), que en el proceso de análisis de causa raíz se identifican los eventos indeseables y sus detalles, asociados mediante hechos que lo respaldan. Los hechos se han logrado establecer mediante observación directa, documentación, análisis de laboratorio y conceptos científicos.

Los fallos que se originan en los elementos de máquinas son diversos y deben ser enfrentados en la ingeniería de mantenimiento. De acuerdo con Martínez y Barroso (2008) algunas de las causas contribuyentes a los fallos pueden ser por desgaste, fatiga, corrosión, erosión, distorsión, fluencia, fatiga térmica o desalineación.

“El análisis de causa raíz (RCA) es un proceso de gran importancia y rigor técnico para llegar a determinar las verdaderas causas de fallos en elementos de maquina” (Martínez y Barroso, 2008, p. 4).

7.7.2. Diagrama causa y efecto

El diagrama causa-efecto es también llamado *Diagramad de Ishikawa* es una herramienta muy utilizada en la identificación de los factores que contribuyen al mismo efecto, de acuerdo con Martínez, Grency y Pérez (2010) aunque no existen reglas definidas acerca de las causas que se deben utilizar, aunque las más comunes son las 5M para los procesos de fabricación, método, maquina, medida, mano de obra y materiales.

7.8. Indicadores clave de desempeño (KPIs)

“La medición del rendimiento en la función mantenimiento ha dado lugar a grandes baterías de indicadores que por su extensión y disparidad en criterios y objetivos han sido agrupados en diferentes bloques en los últimos tiempos” (Galar, *et al.* 2014, p 102).

Estos indicadores claves de desempeño se han convertido en una manera práctica de evaluar la eficacia de la gestión. Pero de acuerdo con Galar et al, 2014, para generar estos indicadores de manera adecuada y útil, es necesario disponer de datos de entrada precisos.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Diseño

1.2. Plan de Gestión

1.3. Apiladoras de contenedores

1.4. Terminales portuarias

1.5. Mantenimiento

1.5.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

1.5.2. Análisis de vibraciones

1.5.3. Termografía

1.5.4. Análisis de aceite

1.6. Ensayos no destructivos

1.6.1. Inspección visual y técnica VOSO

1.6.2. Líquidos penetrantes

1.6.3. Partículas magnéticas

1.6.4. Radiografía industrial

- 1.6.5. Ultrasonido
- 1.7. Metodología de resolución de problemas
 - 1.7.1. Análisis de causa raíz
 - 1.7.2. Diagrama causa y efecto
- 1.8. indicadores clave de desempeño (KPIs)

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 2.1 Toma de datos y muestras en campo
- 2.2 Análisis de aceite
- 2.3 Líquidos penetrantes
- 2.4 Ultrasonido

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Ruta de investigación

La ruta de investigación que se plantea es mixta. Se recabará información cuantitativa a partir de una visita de inspección a la terminal portuaria y el departamento de mantenimiento para determinar la efectividad de la estrategia de mantenimiento. Se recabará información cualitativa con la entrevista del personal operativo y de mantenimiento para tener un contexto del entorno de trabajo y las posibles deficiencias y limitaciones del área de mantenimiento.

9.2. Alcance de investigación

El alcance de la investigación es descriptivo. Tras la revisión documental y análisis de información, se generará una propuesta para un plan de monitoreo de condición de la flota de manejadoras de contenedores.

9.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación es no experimental. Se tomará la información recabada y se realizará un plan de monitoreo de condición de la flota de manejadoras de contenedores.

9.4. Variables

Se realiza el desglose de variables y su tabulación.

Tabla I. **Operativización de variables**

| No. | Objetivos específicos | Variables | Plan de tabulación |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Identificar las deficiencias del plan de mantenimiento actual utilizado en la gestión de mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores. | *Tiempo muerto de maquinaria *Método de recolección de datos *Método de análisis de datos *KPIs | *Tabla de identificación de áreas de oportunidad - Anexo 2 *Formato para entrevista con personal del área de mantenimiento -Anexo 3 |
| 2 | Identificar los problemas más repetitivos y de mayor impacto en la ejecución de los planes de mantenimiento. | *MTTR *MTBF *Disponibilidad *Confiabilidad | *Tabla - Anexo 4 (Resultados de análisis de causa raíz) *Tabla - Anexo 5 (comparativa) |
| 3 | Establecer los parámetros y condiciones necesarias para que el área de mantenimiento cumpla con los estándares y requerimientos de la empresa. | *MTTR *MTBF *Disponibilidad *Confiabilidad | *Procedimiento |

Fuente: elaboración propia.

9.5. Fases de investigación

- Fase 1: revisión documental. Se realizará la revisión documental de la bibliografía base para la elaboración del trabajo.
- Fase 2: reconocimiento del área de mantenimiento. Se realizará una visita de inspección al departamento de mantenimiento, en la cual se recabará información de la efectividad de los procedimientos

relacionados con la gestión del mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores.

- Fase 3: entrevista. Se realizará una entrevista al personal del departamento de mantenimiento para determinar las condiciones de trabajo y las herramientas utilizadas para la ejecución de los procedimientos de gestión del mantenimiento de la flota de manejadoras de contenedores.
- Fase 4: brechas. Se realizará un reporte definiendo las brechas entre la gestión del mantenimiento y KPI relacionados con la efectividad de la estrategia de mantenimiento.
- Fase 5: propuesta. Se realizará un plan de monitoreo de condición para la eliminación de las brechas existentes. Con los datos recabados de las fases 2 y 3, se realizará un procedimiento operacional estándar para la ejecución del plan de monitoreo de condición de la flota de manejadora de contenedores.

9.6. Población y muestra

La población de estudio es la flota de manejadoras de contenedores y los procedimientos relacionados con la ejecución del mantenimiento.

Las categorías de procedimientos del almacén de repuestos son:

- Procedimientos operacionales.
- Procedimientos de control
- Procedimientos de KPIs.

La evaluación se realizará sobre la población total.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Dentro de las técnicas de análisis de la información que se utilizarán para realizar la investigación, se realizará una clasificación de datos recopilados en la evaluación de las condiciones actuales de operación y ejecución del mantenimiento, por medio del análisis de procedimientos operativos, historial de fallas y algunos otros documentos encontrados en el transcurso de la investigación.

Se identificarán cuáles son los procedimientos y estándares aplicables al modelo de mantenimiento elegido, como, por ejemplo, identificar si la estrategia de mantenimiento utilizada es la adecuada para garantizar el cumplimiento de las exigencias operativas, tomando en cuenta aspectos como método, ejecución y capacidad técnica del personal. Se establecerán las brechas que se deben cubrir para implementar el plan de monitoreo de condición de la flota, con lo que se podrán identificar los parámetros necesarios y las condiciones que deben ser monitoreadas.

Mediante el análisis de las tendencias de los diferentes parámetros, se realizarán análisis donde se definirán los parámetros aceptables de estos valores y se podrán realizar proyecciones que servirán para modificar los procedimientos, planes de acción y frecuencias de mantenimiento en el taller de mantenimiento de la terminal de contenedores.

11. CRONOGRAMA

Figura 2. Cronograma de actividades

| | | Nombre de tarea | Comienzo | Fin |
|----|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| 1 | | TPROPUESTA DE UN PLAN DE MONITOREO DE CONDICIÓN PARA LA FLOTA DE MANEJADORAS DE CONTENEDORES DE UNA TERMINAL PORTUARIA | lun. 9/11/20 | lun. 15/11/20 |
| 2 | | Fase 1: Revisión documental | lun. 9/11/20 | mié. 2/12/20 |
| 3 | | Revisión de bibliografía | lun. 9/11/20 | lun. 16/11/20 |
| 4 | | Revisión de normas aplicables | mar. 17/11/20 | lun. 23/11/20 |
| 5 | | Revisión de manuales | mar. 24/11/20 | lun. 30/11/20 |
| 6 | | Consolidación de información | mar. 1/12/20 | mié. 2/12/20 |
| 7 | | Fase 2 Reconocimiento del departamento de mantenimiento | mar. 1/12/20 | vie. 8/01/21 |
| 8 | | Reconocimiento del área operativa | mar. 1/12/20 | lun. 7/12/20 |
| 9 | | Recopilación de historial de carga operativa | mar. 8/12/20 | jue. 10/12/20 |
| 10 | | Reconocimiento del área de mantenimiento | vie. 11/12/20 | mar. 15/12/20 |
| 11 | | Recopilación de historial de fallas | mié. 16/12/20 | vie. 18/12/20 |
| 12 | | Recopilación de historial de consumos (repuestos) | lun. 21/12/20 | mié. 23/12/20 |
| 13 | | Recopilación de historial de consumos (insumos) | jue. 24/12/20 | lun. 28/12/20 |
| 14 | | Consolidación de información | mar. 29/12/20 | mar. 19/01/21 |
| 15 | | Fase 3: Entrevista | lun. 7/12/20 | vie. 8/01/21 |
| 16 | | Entrevista a personal técnico de mantenimiento | lun. 7/12/20 | mié. 9/12/20 |
| 17 | | Entrevista a personal administrativo (Mantenimiento) | jue. 10/12/20 | lun. 14/12/20 |
| 18 | | Entrevista operadores | mar. 15/12/20 | jue. 17/12/20 |
| 19 | | Entrevista personal administrativo (Operadores) | vie. 18/12/20 | mar. 22/12/20 |
| 20 | | Consolidación de información | mié. 23/12/20 | mié. 13/01/21 |
| 21 | | Fase 4: Brechas | mar. 5/01/21 | jue. 12/08/21 |
| 22 | | Prueba operativa del equipo | mar. 5/01/21 | mar. 2/03/21 |
| 23 | | Medición de condiciones | mié. 3/03/21 | mar. 13/04/21 |
| 24 | | Toma de muestras de aceite | mié. 14/04/21 | mar. 29/06/21 |
| 25 | | Consolidación de información | mié. 30/06/21 | mar. 21/09/21 |
| 26 | | Análisis de información | mié. 22/09/21 | mié. 13/10/21 |
| 27 | | Presentación de resultados. | jue. 14/10/21 | lun. 18/10/21 |
| 28 | | Fase 5: Propuesta | mar. 19/10/21 | lun. 15/11/21 |
| 29 | | Diseño de plan de monitoreo de condición | mar. 19/10/21 | mié. 3/11/21 |
| 30 | | Presentación de plan | jue. 4/11/21 | jue. 11/11/21 |
| 31 | | Discusión de resultados | vie. 12/11/21 | lun. 15/11/21 |

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El investigador tiene acceso a los equipos necesarios y a las instalaciones de la empresa, taller de mantenimiento, explanada y patio de contenedores y a las manejadoras de contenedores.

Para realizar la investigación, se cuenta con acceso y apoyo del personal de mantenimiento, soporte técnico del fabricante y proveedores externos que dan soporte en áreas especializadas del mantenimiento como lubricantes, neumáticos e hidráulica. Los recursos que se utilizaran son propios, en algunos casos y en casos como la compra de equipo y pago de proveedores externos se contará con el apoyo de la institución donde se realizará el estudio. Para realizar la investigación se utilizarán recursos tecnológicos como laptops, software de mantenimiento, gestión de repuestos y control de horas hombre, también se cuenta con los permisos y el interés de la terminal para poder realizar la investigación en las manejadoras de contenedores de su propiedad.

Actualmente, el investigador tiene acceso a la infraestructura de la terminal para poder realizar visitas en campo y entrevistas con el personal involucrado en la operación y ejecución del mantenimiento en las manejadoras de contenedores y también se cuenta con acceso a información como registros de mantenimientos, historial de fallas, historial de consumos de aceite, refrigerante y combustible.

A continuación, se presenta un detalle del presupuesto estimado para realizar la investigación.

Tabla II. **Presupuesto de la investigación**

| Descripción | Costo |
|-------------------------------|---------------------|
| Laptop | Q. 7,800.00 |
| Herramienta y equipo | |
| Juego de llaves | Q. 4,500.00 |
| Multímetro digital | Q. 4,000.00 |
| Cámara termográfica | Q. 32,000.00 |
| Medidor de presiones | Q. 39,000.00 |
| Asesoría proveedores externos | |
| Importaciones Navarra | Q. 4,500.00 |
| Laboratorio Polaris | Q. 6,800.00 |
| Kone Cranes | Q. 8,500.00 |
| Consumibles | |
| Aceite 15W40 | Q. 3,706.00 |
| Aceite 10W30 | Q. 16,072.00 |
| Aceite 85W140 | Q 5,514.00 |
| ATF | Q 7,256.00 |
| Gastos de movilización | |
| Combustible | Q 4,800.00 |
| Alimentación | Q 3,500.00 |
| | |
| Total | Q 147,948.00 |

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M. y Tolentino, R. (Junio, 2019). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. Científica, 23(1), 51-59. Recuperado de http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V23N1_051_059.pdf.
2. Castro, O., Soler, E., Umaña, R. y Yepes, C. (Julio, 2017). *Infraestructura portuaria en Colombia: asimetría entre el puerto de Buenaventura y el puerto de Cartagena para el año 2015*. Universidad y Empresa, 19(32), 87-106. Recuperado de <https://revistas.urosario.edu.co/xml/1872/187247578005/index.html>.
3. Comisión Portuaria Nacional. (2019). *Resumen movimiento de carga portuario*. Guatemala: Comisión Portuaria Nacional.
4. Delfin, O. y Navarro, J. (Abril, 2017). *La eficiencia de los puertos en la región APEC, 2005-2013: una medición a través del Análisis de la Frontera Estocástica (SFA)*. México y la Cuenca del Pacífico, 6(16), 19-50. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-53082017000100019.
5. Díaz, A., Villar, L., Cabrera, J., Gil, A., Mata, R. y Rodríguez, A. (Septiembre, 2016). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica*. Ingeniería Mecánica, 19(3), 137-142. Recuperado de <http://scielo.org.mx>.

sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-5944201600030003.

6. Ferero, A. y Ospina, D. (Julio, 2013). *El diseño de experiencias*. Revista de Arquitectura, 15(1), 78-83. Recuperado de <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/37>.
7. Galar, D., Berges, L., Lambán, P., y Tormos, B. (Abril, 2014). *La medición de la eficiencia de la función mantenimiento a través de KPIs financieros*. DYNA, 81(184), 102-109. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405014.pdf>.
8. García, J. y Martín, M. (2017). *La planificación de repuestos en el Ejército de Tierra*. Implantación del método disponibilidad basada en la escasez (RBS). *Dyna*, 92(1), 48-54.
9. Gil, I., Mollá, A., y Ruiz, M. (Enero, 2008). *Automatización del almacén y surtido en la distribución de producto duradero*. UNIVERSIA Business Review, 19, 120-133. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26543550_Automatizacion_del_almacen_y_surtido_en_la_distribucion_de_productos_de_uso_duradero.
10. Hernández, F., Ruiz, M., Rodríguez, J., y Guerges, S. (Enero, 2011). *Sistema de bajo costo para el monitoreo por condición a aplicar en parques eólicos*. Ingeniería Energética, XXXII(1), 62-71. Recuperado de file:///C:/Users/casa/Downloads/Sistema_de_bajo_costo_para_el_monitoreo_por_condic.pdf.

11. Hidalgo, E. y Robles, F. (Junio, 2016). *Condiciones de moitoreo para sistema de control de motores de combustión interna*. Ciencias Holguín, 22(3), 1-12. Recuperado de <http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/962/1060>.
12. Hualpa, A. y López, C. (2015). *Algoritmo de dimensionamiento de almacenes para empresas de edificación en el sector de la construcción*. Ingeniería, 20, 31-50. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4988/498850181003.pdf>.
13. Martínez , F. y Barroso, A. (Julio, 2008). *Aplicación de la tribología y el análisis de causa raíz (RCA) en motores de combustión interna*. Ingeniería Mecánica, 11(3), 53-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225115162008.pdf>.
14. Martínez, A., Grency, I., y Pérez, I. (Noviembre, 2010). *Las técnicas cuantitativas y su utilidad en el diagnóstico del servicio de asistencia técnica*. Ingeniería Industrial, 31(2), 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/49594737_LAS_TECNICAS_CUANTITATIVAS_Y_SU_UTILIDAD_EN_EL_DIAGNOSTICO_DEL_SERVICIO_DE_ASISTENCIA_TECNICA.
15. Montilla, C., Arroyave, J. y Silva, C. (Diciembre, 2007). *Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo*. Sientia Et Technica, 13(37), 273-278. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4077/2237>.

16. Morales, Z., Silva, E. y Mota, Y. C. (Junio, 2015). *Optimización de stock de piezas de repuesto para equipos médicos*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 9(2), 99-114. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992015000200007.
17. Oralte, W., Botero, M. y Cañon, B. (Agosto, 2010). *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria*. Scientia et Technica, 16(45), 223-226. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/355/117>.
18. Orjuela, J., Castro, O. y Suspes, E. (Junio, 2005). *Operadores y plataformas logísticas*. Tecnura, 8(16), 115-117. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257020406011.pdf>.
19. Ortiz, A., Rodríguez, C. y Izquierdo, H. (2013). *Gestión de mantenimiento de pymes industriales*. Revista Venezolana de Gerencia, 18(61), 86-104. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/290/29026161004.pdf>.
20. Ospina, R., Hernando, C., y Parra, H. (Agosto, 2011). *Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas*. Scientia Et Technica, 2(48), 196-201. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1283/855>.
21. Sánchez, J., Moras, C., Cortés, G., Hernández, D. y Ferrer, J. (Junio, 2013). *Análisis comparativo de modelos matemáticos para*

calcular los costos de almacén de refacciones de una empresa vidriera. Revista de la Ingeniería Industrial, 7(1), 37-50.

22. Santos, E., Cancino, N., Yanque, J., Ramirez, D. y Palomino, M. (Junio, 2005). *El ultrasonido y su aplicación*. Industrial Data, 8(1), 25-28. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6153>.

