



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROPUESTA DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN
LA MAQUINARIA AGRÍCOLA Y DE TRANSFERENCIA DE CARGA Y
DESCARGA DE CONTENEDORES PROPIEDAD DE LA EMPRESA
PORTUARIA QUETZAL**

LUIS MANUEL PIVARAL DE LA VEGA

ASESORADO POR: ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN
LA MAQUINARIA AGRÍCOLA Y DE TRANSFERENCIA DE CARGA Y
DESCARGA DE CONTENEDORES PROPIEDAD DE LA EMPRESA
PORTUARIA QUETZAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR
LUIS MANUEL PIVARAL DE LA VEGA

ASESORADO POR: ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V: Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR: Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR: Ing. Ludwin Raymond Taylor Cruz
EXAMINADOR: Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIO: Inga. Gilda Mari na Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN LA MAQUINARIA AGRÍCOLA Y DE TRANSFERENCIA DE CARGA Y DESCARGA DE CONTENEDORES PROPIEDAD DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica con fecha 3 de febrero de 2005.

Luis Manuel Pivaral de la Vega

AGRADECIMIENTO

A mi asesor:

Ing. Edwin Estuardo Sarceño

A mis padrinos:

Al Ing. Juan Eduardo Garrido Valdéz

Al Ing. Carlos Humberto Gómez Chavarría

Al Dr. Juan Carlos Pivaral de la Vega

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

Oscar René Pivaral Quinteros
Elvia de la Vega Molina de Pivaral

A MI ESPOSA

Karina Morales Delgado de Pivaral

A MIS HIJOS

Luis Guillermo Pivaral Morales
Karen Lucía Pivaral Morales
Juan José Morales Delgado

A MIS HERMANOS

Oscar Ricardo Pivaral de la Vega (†)
Juan Carlos Pivaral de la Vega

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VIII |
| GLOSARIO | X |
| RESUMEN..... | XV |
| INTRODUCCIÓN..... | XVII |
| | |
| 1. EL MANTENIMIENTO Y SUS APLICACIONES EN LA MAQUINARIA PESADA | 1 |
| 1.1. MAQUINARIA PESADA DE TRANSFERENCIA DE CARGA (PORTA CONTENEDORES) | 1 |
| 1.1.1. Sistemas de maquinaria (de transferencia de carga) | 1 |
| 1.1.2. Aplicaciones de la maquinaria | 5 |
| 1.1.3. Vida útil de la maquinaria | 9 |
| 1.2. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO..... | 13 |
| 1.2.1. Mantenimiento correctivo | 16 |
| 1.2.2. Mantenimiento rutinario | 16 |
| 1.2.3. Mantenimiento periódico | 19 |
| 1.2.4. Mantenimiento preventivo | 19 |
| 1.2.5. Mantenimiento y su evolución..... | 25 |
| 1.3. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO..... | 29 |
| 1.3.1. Inspección visual de la maquinaria..... | 36 |
| 1.3.2. Prueba de comparación de rendimiento..... | 37 |
| 1.3.3. Prueba funcional de los diferentes sistemas | 38 |
| 1.3.4. Análisis de aceite de los diferentes compartimientos | 39 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.3.5. | Prueba de compresión de cilindros | 46 |
| 2. | ANÁLISIS DEL ÁREA DE ENSAYO | 49 |
| 2.1. | DESCRIPCIÓN DEL RECINTO PORTUARIO Y TALLERES DE MANTENIMIENTO..... | 49 |
| 2.1.1. | Área de muelles | 49 |
| 2.1.2. | Patio de maquinaria | 49 |
| 2.1.3. | Taller de maquinaria pesada | 50 |
| 2.1.4. | Oficinas administrativas de talleres | 50 |
| 2.2. | DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO ACTUALMENTE..... | 50 |
| 2.2.1. | Mantenimiento correctivo de la maquinaria | 51 |
| 2.2.2. | Mantenimiento rutinario de la maquinaria..... | 51 |
| 2.2.3. | Mantenimiento periódico de la maquinaria | 52 |
| 2.2.4. | Generación de solicitudes de compra | 52 |
| 2.3. | ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA EN LA ACTUALIDAD..... | 52 |
| 2.3.1. | Costo de horas/hombre operador..... | 53 |
| 2.3.2. | Costo de mantenimiento correctivo | 54 |
| 2.3.3. | Costo de mantenimiento periódico..... | 55 |
| 2.3.4. | Costo de horas/hombre mantenimiento | 55 |
| 2.4. | VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO VERSUS EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO.... | 56 |
| 3. | PRÁCTICA DE APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MAQUINARIA PESADA..... | 59 |
| 3.1. | ELABORACIÓN DE INVENTARIO FÍSICO DE MAQUINARIA Y SU ACTUAL ESTATUS | 59 |
| 3.2. | ELABORACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS DE MAQUINARIA | 61 |
| 3.2.1. | Inspección física de la maquinaria de transferencia de carga para diagnosticar (check list)..... | 62 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.2. | Diagnóstico en base a resultados obtenidos | 64 |
| 3.2.3. | Elaboración de un plan de mantenimiento específico para aplicación en maquinaria de Empresa Portuaria Quetzal | 66 |
| 3.2.4. | Elaboración de inventario sugerido de repuestos para mantenimiento preventivo. | 69 |
| 3.2.5. | Resultados obtenidos..... | 73 |
| 3.3. | INSTRUIR SOBRE EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO A OPERADORES Y MECÁNICOS DE EMPRESA PORTUARIA QUETZAL..... | 75 |
| | CONCLUSIONES | 77 |
| | RECOMENDACIONES | 79 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 81 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. Grúa pórtico | 6 |
| 2. Grúa <i>transtainer</i> | 7 |
| 3. Motoelevador | 8 |
| 4. Tractor de arrastre | 9 |
| 5. Gráfica costo/tiempo de reparaciones mayores. | 11 |
| 6. Mantenimiento rutinario, parte 1 | 18 |
| 7. Mantenimiento rutinario, parte 2 | 18 |
| 8. Plan de engrasado..... | 24 |
| 9. Toma de muestra de aceite. | 43 |
| 10. Análisis de una muestra de aceite mediante espectrofotómetro de absorción atómica..... | 44 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| 1. Dinero que genera la maquinaria pesada por hora | 53 |
| 2. Dinero que pierde por día la maquinaria mientras está en reparación en Taller..... | 53 |
| 3. Costos de filtros que lleva la diferente maquinaria | 53 |
| 4. Costos de mantenimiento correctivo condensado promedio en los últimos 3 meses. | 54 |
| 5. Costos de mantenimiento periódico en los últimos 3 meses..... | 55 |
| 6. Inventario físico..... | 59 |
| 7. Modelo de ficha técnica de maquinaria..... | 61 |
| 8. Revisión diaria por el operador | 62 |
| 9. Formato de revisión preventiva mensual | 65 |

GLOSARIO

| | |
|-------------------------------|--|
| Aeración | Inclusión de aire o gases de escape en el sistema de enfriamiento que a menudo resultan en la producción de espuma en el refrigerante. |
| Alcalinidad | Es el contenido de acidez o Ph de una sustancia y puede variar entre 1 y 14. Se toma como alcalino cuando está arriba de 11. |
| Alternador | Componente del motor cuya función es generar corriente alterna rectificarla , luego, a corriente continua pulsante y cargar el acumulador. |
| Amperio | Unidad de medida de la intensidad de corriente que se designa con la letra A. |
| Análisis de aceite | Serie de pruebas destinadas a identificar y medir la contaminación y degradación de una muestra de aceite. |
| Analizador de gases de escape | Equipo de diagnóstico por medio del cual se puede determinar la calidad de combustión en motores diesel y gasolina, a través de los gases de escape. |
| Azufre | Elemento químico que es necesario neutralizar en el combustible diesel para reducir la alcalinidad del mismo. |
| Bastidor | Elemento estructural metálico que sostiene los componentes de la maquinaria. |
| Bobinas | Carrete en donde se devana lámina ó papel para facilitar su transporte. |
| Bufa | Compartimiento que alberga los cojinetes, sellos y grasa del eje delantero de la máquina. |

| | |
|-------------------------|--|
| Buque | Barco destinado al transporte de mercancías de carácter comercial. |
| Cabezal | Automotor destinado a halar plataformas con mercancías para el traslado de las mismas. |
| Calibración | Medir un dispositivo y dejarlo con las medidas especificadas. |
| Carga cíclica | Fuerza repetitiva aplicada a una pieza en un período de tiempo. |
| Cargador del motor | Dispositivo cuya finalidad es amortiguar las vibraciones del motor hacia el bastidor de la máquina. |
| Celdas galvánicas | Se da cuando hay un intercambio de iones entre dos elementos: ánodo y cátodo. El ánodo es el que cede sus iones como sucede con el metal y el agua (el cloruro de sodio con el agua hacen de electrolito) como resultado tenemos la corrosión. |
| Cilindro actuador | Cilindro hidráulico que ejerce un movimiento para mover algún componente o mecanismo. |
| Cilindro hidráulico | Dispositivo hidráulico empleado para convertir la presión hidráulica en movimientos lineales de gran fuerza. |
| <i>Clutch</i> | Embrague que acciona los cambios de la caja de velocidades. |
| Concentrador de tensión | Puntos localizados en donde se amplifican las tensiones del material por discontinuidades abruptas. |
| Corrosión electrolítica | Intercambio iónico que produce corrosión a través de un medio electrolítico. |
| Cuerpo de válvulas | Conjunto de válvulas hidráulicas que direccionan el flujo hidráulico hacia un dispositivo hidráulico final como puede ser un cilindro hidráulico. |

| | |
|-------------------------|--|
| Culata | Componente del motor que alberga las válvulas y las galerías de refrigerante y complementa la cámara de combustión. |
| Desleimiento del aceite | Alteración de la viscosidad del aceite lubricante del motor debido al aumento de la temperatura de operación del motor se determina a través del índice de viscosidad. |
| Electrolito | Medio líquido a través del cual se desplazan los iones en un proceso electrolítico o galvánico. |
| Endoscopía | Introducción de una cámara endoscópica dentro de un motor o componente de maquinaria sin desarmar el mismo, para efectos de diagnóstico. |
| Estetoscopio | Aparato que amplifica las vibraciones y/o sonidos que focalizados dan parámetros de diagnóstico. |
| Falla por fatiga | Falla por ruptura de una pieza sometida a esfuerzo repetitivo o cíclico. |
| <i>Fittings</i> | Pequeña válvula de paso que permite el ingreso de grasa en un solo sentido a las partes móviles o sometidas a fricción. |
| Helicoidal | De forma helicoidal o en espiral, se utiliza para dar suavidad y silencio en el contacto entre engranajes de un mecanismo. |
| Higroscópicos | Capacidad de un elemento o sustancia de absorber agua. |
| Implosión | Efecto de colapsado de burbujas de aire dentro de un fluido y cuya onda de choque produce picaduras en los metales a donde se adhiere. |
| Inyector | Dispositivo utilizado para la dosificación y atomización del combustible en los motores diesel. |
| <i>Leasing</i> | Alquiler de maquinaria con opción a compra. |

| | |
|-------------------------------------|--|
| Líquidos penetrantes | Método de ensayo no destructivo que se basa en el uso de un líquido penetrante y un revelador así como la aplicación de luz negra para determinar si hay o no fisuras o grietas no muy profundas en diferentes piezas. |
| <i>Manifold</i> | Puertos o tuberías de distribución de gases o fluidos. |
| Mantenimiento predictivo | Mantenimiento que se basa en la predicción de las potenciales fallas por la frecuencia de la repetición de las mismas. |
| <i>Overhaul</i> | Reacondicionamiento o reconstrucción de un motor. |
| Piezoeléctrico | Material como el cuarzo que sujeto a compresión mecánica produce pulsaciones eléctricas. |
| Porta contenedores | Máquina que eleva los contenedores del suelo, los traslada y los estiba. |
| Ppm | Partes por millón. |
| Pruebas no destructivas | Pruebas externas que se realizan a las piezas sin destruirlas para evaluar sus características internas y evaluar su resistencia y potencial falla. |
| Escáner para diagnóstico de motores | Equipo computarizado que interactúa con la computadora de la máquina la que envía los distintos parámetros de funcionamiento del motor teniendo la opción de alterar los mismos. |
| Solenoides | Dispositivo eléctrico de arrollamiento en que se aprovecha el campo magnético generado para mover una pieza por inducción en su interior. |
| <i>Starter</i> | Motor eléctrico que sirve para girar el volante y arrancar el motor. |
| <i>Twist lock</i> | Dispositivos del <i>spreader</i> que giran y traban las esquinas superiores del contenedor sujetándolo para su manipulación. |

| | |
|--------------|---|
| Ultrasonidos | Sonidos de ultra alta frecuencia que profundizan en los metales y generan ciertos patrones que nos indican las discontinuidades o inclusiones dentro de las piezas. |
| Viscosidad | Resistencia al movimiento uniforme de su masa que presenta un líquido a fluir. |

RESUMEN

El presente trabajo es un acercamiento a la maquinaria de transferencia de carga y descarga de contenedores de Empresa Portuaria Quetzal. Se hace alusión a su aplicación en las actividades portuarias así como a sus componentes y vida útil.

Posteriormente, se enfoca la problemática a la cual dicha maquinaria se ve sometida la cual consiste en tiempos extensos de reparación y espera de compra de repuestos en el Taller de maquinaria pesada.

Se hace un análisis del mantenimiento correctivo actual, el cual es notoriamente deficiente según denotan las observaciones efectuadas así como el análisis de costos. Esto lo soportan talleres mensualmente por lo que es muy oneroso para la empresa y el Estado, pues, la maquinaria no está disponible cuando se le requiere.

Para enfrentar esta problemática se plantea un método de mantenimiento preventivo, el cual es más eficiente que el correctivo, se sugiere un plan de trabajo que reducirá ostensiblemente el tiempo muerto de la maquinaria y se obtendrán los consiguientes beneficios económicos para la empresa.

OBJETIVOS

Objetivos del presente trabajo.

- Actualizar los métodos de diagnóstico de la maquinaria pesada volviéndolos más modernos y en mayor consonancia con el mantenimiento que se utiliza en otros países.
- Promover la transición del método correctivo de mantenimiento al método preventivo.
- Generar desde la alta gerencia una cultura de mantenimiento preventivo para que se involucre a toda la empresa.
- Lograr que la alta inversión en maquinaria sea recuperada a través de una disponibilidad continua y de manera eficiente de la maquinaria.
- Hacer que la maquinaria genere ganancias para la portuaria por medio de su operación ininterrumpida.
- Elevar el nivel de tecnificación, eficiencia y credibilidad del taller por medio de métodos más modernos y eficaces.
- Pasar el nivel de mantenimiento a una tercera generación donde se interviene la máquina por medio de inspecciones periódicas.
- Lograr que la maquinaria tenga una vida útil más larga y generar mayores dividendos a la empresa.
- Proporcionar más seguridad al operador así como a las instalaciones portuarias, a las mercancías transferidas y a la maquinaria a través de un mantenimiento minucioso.
- Generar más utilidades a Empresa Portuaria Quetzal a través de una carga de transferencia más eficiente, con lo que se podría, incluso, reducir tarifas portuarias y atraer más comercio marítimo con mayores beneficios al país.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de E.P.S. trata sobre la propuesta de implementación de mantenimiento preventivo para la maquinaria de transferencia de carga de Puerto Quetzal.

Se derivó del hecho de que existe una problemática en cuanto a la disponibilidad de la maquinaria de transferencia de carga. La problemática se ha dado porque en el momento en que la maquinaria es más necesaria, ésta se encuentra con problemas mecánicos en el área de talleres de maquinaria pesada. Esto conlleva problemas con la transferencia de la carga desde el muelle a bodega y viceversa, trae atrasos y crea la necesidad de arrendar maquinaria de fuentes externas a Empresa Portuaria Quetzal. Esto hace la operación más cara y, por ende, menos rentable, repercutiendo en la economía del país y generando un impacto socioeconómico.

En este trabajo se verá lo que es la maquinaria de puertos, sus componentes, su aplicación en el ambiente portuario que, dicho sea de paso, es severo por la temperatura y salinidad. Se hace un análisis de los diferentes mantenimientos, haciendo énfasis en el correctivo y preventivo, explicando la evaluación del mantenimiento y los saltos generacionales del mismo ubicándonos en la actualidad en la cuarta generación.

Se explican los diferentes métodos de diagnóstico como los convencionales directos que dan los manuales de mantenimiento del fabricante, así como análisis de aceite, análisis de fallas, pruebas no destructivas (ultrasonidos, líquidos penetrantes).

Luego se hace una descripción del área de muelles y talleres y se describe el mantenimiento utilizado en la actualidad, se calculan los costos de operación y mantenimiento por hora. Se levanta un inventario físico de la maquinaria, así como su actual estatus. Se emite un diagnóstico y se propone un plan de mantenimiento específico para la maquinaria de Empresa Portuaria Quetzal. Se propone un inventario mínimo de repuestos para su puesta en marcha.

Por último, se dio una charla introductoria del plan propuesto a mecánicos y operadores para que tengan un conocimiento preliminar con miras de su potencial puesta en marcha.

CAPÍTULO 1

EL MANTENIMIENTO Y SUS APLICACIONES EN LA MAQUINARIA PESADA

1.1. Maquinaria pesada de transferencia de carga (porta contenedores)

Esta maquinaria se utiliza en la transferencia y apilamiento de contenedores de diversas medidas, generalmente, poseen un *spreader* o bastidor que puede ajustarse, automáticamente, a los distintos tamaños de contenedores. Son flexibles y de larga duración, pueden utilizarse en la carga o descarga del transporte terrestre, así como en la transferencia, estiba o desestiba. Se le llama también grúa *reach-stacker*, entre sus funciones principales están: cargar y transferir contenedores de 20', 40' y 45', carga y descarga de plataformas, reparto de contenedores por la terminal. Hay *reach-staker* de 18 toneladas (contenedores vacíos) y de 45 toneladas (contenedores llenos)

1.1.1. Sistemas de maquinaria (de transferencia de carga)

Los diferentes tipos de maquinaria cuentan con diferentes sistemas, cada cual cumple con una función particular que hace que toda la máquina trabaje en total sincronía y con efectividad, según su diseño.

Sistema de lubricación del motor. La bomba succiona el aceite desde la aceitera y lo fuerza a través del sistema de lubricación (galería de lubricación). La válvula reguladora de presión controla la presión del aceite. La válvula de paso del filtro asegura un abastecimiento de aceite en el caso de que el filtro se tape. El sistema incluye una bomba de aceite, una válvula reguladora de presión, un enfriador de aceite, una válvula de paso del filtro, el filtro de aceite y la aceitera. Se debe tener cuidado especial en el tipo de aceite a utilizar, grado y viscosidad.

Sistema de combustible del motor. El sistema de combustible consiste de un tanque de combustible, bomba de combustible, separador de agua del combustible (trampa de agua), filtro de combustible, bomba de inyección, *manifold* de combustible, inyectores y líneas de combustible. El combustible es trasladado desde el tanque por la bomba de combustible. El combustible es luego forzado a través de la trampa de agua, el filtro de combustible y a través del sistema hacia los inyectores y cilindros.

Sistema de admisión de aire. El aire de admisión entra al depurador de aire, cuando el aire alcanza el elemento depurador, una trampa helicoidal imparte un movimiento circular a alta velocidad al aire de admisión. Esta acción separa una gran porción del polvo del aire por acción centrífuga. El polvo es barrido fuera a través del evacuador.

Sistema eléctrico. El sistema eléctrico consiste en una batería o acumulador, un interruptor de desconexión de la batería, un alternador de carga de la batería con regulador de voltaje, un interruptor de ignición, *starter* y solenoide. El remanente del sistema eléctrico consiste de instrumentos, interruptores, unidades para enviar señales, cableado, corta circuitos, etcétera, necesarios todos para la operación del sistema eléctrico.

Transmisión. La transmisión en la maquinaria de transferencia de carga por lo regular tiene 3 velocidades hacia delante y 3 velocidades en reversa. El rango de velocidad y la dirección están controlados por una palanca giratoria acoplada a la columna de dirección. La transmisión consiste en una serie de engranes y ejes inmersos en aceite que, por lo general, se emplean para reducir la velocidad y aumentar la potencia, por medio de diferentes relaciones de engranes.

Sistema de frenos. El sistema de freno de aire consiste de un compresor de aire, un tanque de aire con válvula de drenado automático y una válvula de seguridad. La presión de aire del tanque es controlada por una válvula de control de pie (pedal) para aplicar y liberar los frenos de servicio.

Sistema hidráulico. El sistema hidráulico consiste, básicamente, en un reservorio hidráulico, bombas principales y de accesorios, válvulas de control, cilindros actuadores, mangueras, líneas y *fittings*. La válvula de dirección recibe el fluido hidráulico bajo presión desde la válvula sensora de demanda. El cilindro de dirección es actuado por la válvula de dirección cuando el

operador gira el timón. Los sistemas hidráulicos del tipo dinámico o de flujo dependen del hecho de que los líquidos no se pueden comprimir excepto en condiciones extremas en un laboratorio, por lo cual la presión aplicada en cualquier parte de un líquido confinado se aplicará sin cambio en la superficie de confinamiento. El mástil o torre y el *spreader* con los *twists lock* para sujetar contenedores no son un sistema sino más bien accesorios de la máquina que actúan hidráulicamente y necesitan estar bien lubricados.

Sistema de enfriamiento del motor. Mantiene el motor a un nivel adecuado de temperatura según el rango para el cual fue diseñado. El fin último es evitar sobrecalentamientos que pueden dañar la culata y hasta fundirlo. Consta de una bomba de refrigerante de aspas, un termostato que sirve como válvula de paso graduado a un rango determinado según el diseño de la máquina, un radiador el cual es un intercambiador de calor y sirve para enfriar el líquido de refrigeración.

Sistema de lubricación centralizado. Este sistema lubrica pines y chumaceras en los puntos de articulación o movimiento con fricción. Este sistema consta de un reservorio de grasa, impulsión por medio de aire comprimido, conductos de grasa, *fittings* o graseras en el punto de engrase y una válvula dosificadora que puede incluir *timer* para programar la aplicación.

1.1.2. Aplicaciones de la maquinaria

Montacargas. Los podemos definir como vehículos autopropulsados que se utilizan para estibar o desestibar las cargas y para trasladarlas en transferencias cortas (no mayor de 80 metros). El tamaño de los montacargas varía de acuerdo a su capacidad de levante al igual que los otros equipos mecánicos. En el caso de los montacargas, los encontramos desde los que operan dentro de los contenedores con capacidades de 2,000 libras (904 kgs.) hasta mayores de 80,000 libras (36,160 kgs.) o sea montacargas con capacidad de menos de una tonelada hasta los gigantes con capacidad de 42 toneladas. En Empresa Portuaria Quetzal se tienen con capacidades de 2.5 toneladas, 5 toneladas, 15 toneladas. Todos estos son con motores de combustión interna diesel. Son equipos bastante útiles para la prestación de servicios portuarios, sobre todo en transferencias cortas, en la carga o descarga de vehículos de mercadería general y en las estibas en bodegas. Se utilizan especialmente en los buques con mercadería general, la transferencia corta de bobinas, paletas, sacos, etcétera.

Grúas. Es un equipo que eleva, suspende o descarga mercancías por medio de una “pluma” o “brazo” y sus accesorios. Las grúas son un gran aliado para cualquier maniobra de carga y descarga, especialmente para mercadería pesada y voluminosa.

Tipos de grúas. Son tantos los modelos de grúas que, únicamente, se describirán las más usuales y comunes en Guatemala como son las móviles que se utilizan para descargar

mercadería general, piezas de hierro, bobinas de buques convencionales. Las grúas suelen clasificarse por su capacidad de levante así:

- grúas de mediano tonelaje, de 10 a 100 toneladas,
- grúas de gran tonelaje, desde 100 hasta 300 toneladas (aunque existen de hasta 500 toneladas)

También se clasifican por su forma de tracción o traslado. Existen grúas montadas, sobre neumáticos, orugas o rieles.

Carretillas pórtico. (*Straddle carrier*) Este equipo, bastante sofisticado por sus componentes mecánicos, hidráulicos y electrónicos, es de bastante flexibilidad y eficacia, dada su movilidad y que pueden trasladar y apilar contenedores vacíos o llenos, pudiendo operar contenedores de diferentes tamaños, ajustando el *spreader* dependiendo del tamaño del contenedor. Están montadas sobre neumáticos llantas.

Figura No. 1. Grúa pórtico



Fuente: Instituto de Robótica, Universidad de Valencia. La simulación como medio de aprendizaje. Página 4

Grúas pórtico de patio. (*Transtainer*) Las *transtrainer* están diseñadas para apilar los contenedores en varias filas, pudiendo estibar hasta cinco de alto, pueden estar montadas sobre rieles o sobre llantas, su campo de operación es exclusivo al patio de contenedores, es decir, no pueden por su diseño ir al muelle a traer contenedores.

Figura No. 2. Grúa *transtainer*



Fuente: Instituto de Robótica, Universidad de Valencia. La simulación como medio de aprendizaje. Página 5

Motoelevadores. Se utilizan en la transferencia y apilamiento de contenedores de diversas medidas, generalmente, poseen un *spreader* o bastidor que puede ajustarse automáticamente a los distintos tamaños de contenedores. Son flexibles y de larga duración, pueden utilizarse en la carga o descarga del transporte terrestre, así como en la transferencia, estiba o desestiba. Su desventaja radica en que necesitan demasiado espacio para sus movimientos y por su gran peso, las áreas en que circulan deben tener un constante mantenimiento.

Figura No. 3. Motoelevador



Fuente: Instituto de Robótica, Universidad de Valencia. La simulación como medio de aprendizaje. Página 7

Equipo de arrastre. Con esta denominación existe aquel equipo portuario, cuya función esencial y específica es la de trasladar la mercadería de un punto a otro.

El tractor de arrastre. (Remolque) es un vehículo capaz de “halar” un convoy de plataformas. El tractor de arrastre, tiene dentro sus componentes, uno que le es característico y que se denomina “barra de tiro” que consiste en una pieza firmemente unida al chasis, en donde se enganchan las plataformas. En su parte frontal tiene una placa de acero perforada (que permite el paso de aire al radiador), unida también al chasis y que se utiliza como refuerzo cuando se tiene que empujar ciertas cargas o realizar determinados trabajos.

Figura No. 4. Tractor de arrastre



Fuente: Instituto de Robótica, Universidad de Valencia. La simulación como medio de aprendizaje. Página 8

Cabezales y *trackmobile*. Ambos son vehículos automotores que se utilizan para transportar mercaderías en plataformas, generalmente contenedores o furgones. En los puertos a los *trackmobiles* se les llama “toritos”, por lo robusto. El cabezal viene siendo un *trackmobile* en cuanto su uso, pero en su construcción puede ser utilizado como vehículo de carretera o transferencia bastante larga.

1.1.3. Vida útil de la maquinaria

En principio, una máquina de transferencia de carga si tuviera un mantenimiento preventivo intensivo y adecuado podría durar por siempre. Esto, evidentemente, incluiría cada cierto tiempo reparaciones mayores como podría ser un *overhaul* o reconstrucción de la máquina.

Hay algunos parámetros que es bueno considerar a la hora de tomar una decisión sobre si se repara una máquina o se reemplaza por una nueva:

- el costo de la adquisición de la unidad existente,
- el costo estimado de reconstrucción de la unidad existente,
- el costo de la unidad nueva propuesta para reemplazo,
- el registro de los costos de operación y mantenimiento durante la vida de la unidad existente,
- el costo anual estimado de operación y mantenimiento para la unidad nueva y una unidad reconstruida,
- el valor de rescate de la unidad existente,
- información técnica de la unidad existente y de la unidad nueva propuesta para reemplazo.

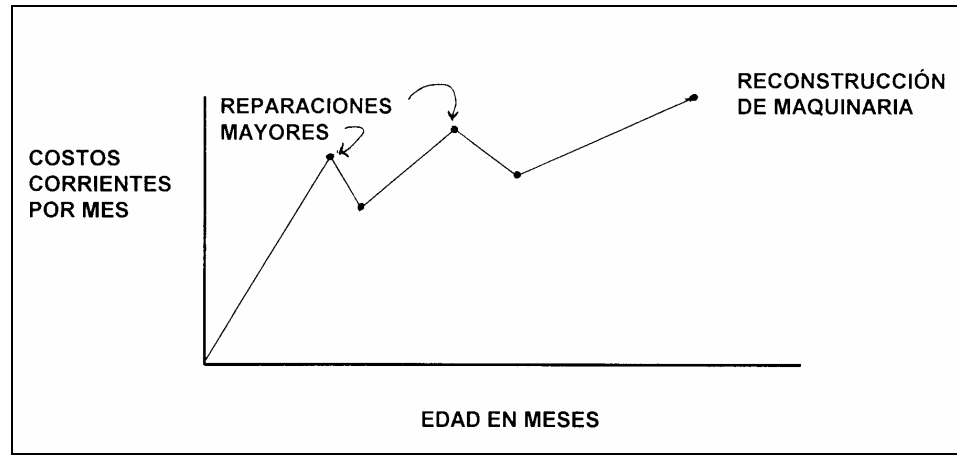
Vida útil: se define como el período de tiempo en que la maquinaria o equipo mantienen fiabilidad de funcionamiento alta y estable.

Vida económica: Se define como el período de tiempo en el cual es pagable operar un equipo.

Otros eventos que pueden variar la vida económica pueden ser:

- políticas gubernamentales,
- cambios tecnológicos en la maquinaria,
- sustitutos más productivos y económicos,
- adquisición de diseños obsoletos.

Figura No. 5. Gráfica costo/tiempo de reparaciones mayores.



Fuente: Comisión Portuaria Nacional. Guía Práctica de Mantenimiento. Capítulo 4, página No. 20

En Puerto Quetzal la vida de una máquina desde que ingresa a la portuaria hasta que queda inactiva oscila entre 2 hasta 12 años, más o menos, dependiendo del uso. Según el departamento de inventarios la expectativa de vida de la maquinaria debe ser de 10,000 horas de operación. Según los manuales de los fabricantes las máquinas se operan semanalmente 50 horas, mensualmente 200 horas, cada tres meses 600 horas, cada 6 meses 1,200 horas y cada año 2,400 horas.

Expectativa: 10,000 horas = 4.16 ~ 4 años

Según fabricante 2,400 horas/año

Antes de una restauración, no obstante con un mantenimiento preventivo riguroso la vida de la máquina en óptimas condiciones se podría extender 6 ó 8 años más, según el fabricante y hasta 16 años operativa en Empresa Portuaria Quetzal.

Salinidad: el progresivo deterioro de estructuras de acero expuestas a la acción de la atmósfera marina constituye un oneroso proceso industrial. En efecto estructuras portuarias como pueden ser grúas de carga y descarga requieren un constante mantenimiento para conservarlas en buen estado. Esto se debe a la incidencia de las sales disueltas en el agua de mar y ambientes marinos. En forma predominante encontramos en el agua de mar cloruros de sodio y de magnesio.

El cloruro de sodio se encuentra en agua de mar en una solución de 35,000 mg/lit que lo sitúa en su máximo nivel corrosivo. La solución de NaCl (cloruro de sodio o sal) mejora además las propiedades conductoras del electrolito posibilitando una reacción electroquímica más intensa. Actualmente se debe considerar, además, el efecto de contaminación del agua de mar, especialmente en puertos. En efecto, en dichas aguas existen importantes concentraciones de elementos oxidantes y orgánicos, producto de desechos industriales que son vertidos directamente en el mar o llegan a él a través de desembocaduras de ríos.

Aquellas estructuras expuestas al rocío marino sufren también los efectos corrosivos de la solución de cloruros, los cuales son arrastrados por los vientos y depositados en el acero, ciclos alternos de humedad (los cloruros son además higroscópicos) posibilitan la formación de celdas galvánicas. La rigurosidad del ataque, producto del rociado marino depende de la cercanía de la estructura al mar. Se recomiendan los recubrimientos en base Zn (Zinc) para la protección del hierro y

el acero, al/zn en diversas proporciones y Al (Aluminio) puro dependiendo de la particularidades de cada aplicación.

1.2. Descripción del mantenimiento

El mantenimiento es la acción emprendida para reparar o reemplazar componentes a fin de restaurarlas a sus condiciones operativas normales. En el caso de la maquinaria, el mantenimiento tiene la función de lograr que las máquinas se mantengan funcionando con una eficiencia óptima; prolongar el tiempo de funcionamiento evitando paradas innecesarias y evitar las paradas no programadas.

Los beneficios del mantenimiento. Un programa efectivo de mantenimiento brinda una serie de ventajas:

- menos paradas forzosas,
- operación más eficiente de los equipos,
- más tiempo de servicio de la maquinaria,
- mejor servicio a los clientes y mayor calidad,
- mayor productividad general,
- uso más eficiente de los recursos,
- menor necesidad de dinero invertido en repuestos,
- más seguridad para el personal, máquina e instalaciones.

Un programa de mantenimiento que sea económico y sostenible a lo largo del tiempo debe reflejar el apoyo explícito de la Gerencia General y Junta Directiva. La mejor forma de lograr esto es mediante la declaración expresa de una política de mantenimiento, emitida por la Gerencia a todo el personal, en la cual se manifieste claramente el compromiso de todas

las autoridades de la empresa con un programa formal de mantenimiento que fije responsabilidades y deberes. Habrá que establecer normas escritas en lo referente a prácticas y procedimientos, dando prioridad a la maquinaria crítica que pueda afectar la capacidad de la empresa para sostener la continuidad de sus servicios.

El elemento humano. El mantenimiento es algo que depende de la gente. La Alta Gerencia debería lograr que las personas dedicadas al mantenimiento tengan una clara y sólida noción de su misión, su importancia y su responsabilidad. Tanto los supervisores como los mecánicos y operarios de mantenimiento deberían saber que, en caso de emergencia, la empresa entera descansa sobre ellos. Los demás operarios y empleados deberían tener claro el impacto que un buen mantenimiento tiene sobre la continuidad de las operaciones, la satisfacción del cliente y, por lo tanto, sobre la solidez de la fuente de trabajo.

En la economía actual es frecuente encontrar reducciones de personal y una mayor eficiencia operativa con menos gente. El mantenimiento no puede ser reducido más allá de límites muy estrechos sin hacer peligrar la continuidad de todas las operaciones. En gran medida, el mantenimiento es y seguirá siendo artesanal, una de las pocas actividades de esas características que quedan.

La relación entre el personal de mantenimiento y el resto de operadores es algo que hay que cultivar cuidadosamente. Cada uno debe tener respeto por las responsabilidades del otro. Los operadores deben estar entrenados para detectar síntomas de operación anormal (ruidos, signos visibles, olores, vibraciones) y comprender el funcionamiento y la

misión de aparatos detectores tales como tacómetros, indicadores de presión y temperatura. Los operadores deben tener autorización para informar inmediatamente cualquier aparente síntoma de necesidad de mantenimiento y hasta para detener las máquinas si detectan síntomas de una falla inminente.

El personal de mantenimiento, a su vez, debe comprender los principios básicos de la operación de las máquinas y el proceso.

Hay situaciones en donde tiene sentido contratar en forma externa el mantenimiento que va más allá de las simples reparaciones de rutina. Un equipo muy sofisticado probablemente requerirá que sea mantenido por el distribuidor del mismo. Hay que asegurarse que los contratos de mantenimiento sean claramente formulados por escrito. Siempre se deben seguir las especificaciones del fabricante. Cualquier contratista externo debe trabajar según las normas de la empresa.

Uno de los aspectos importantes de todo programa de mantenimiento es la planificación de contingencias. Se trata en esto de definir una estrategia para minimizar el tiempo, el esfuerzo, los gastos y el nerviosismo que requiere realizar una reparación de emergencia. Hay varias preguntas a hacer y a contestar en relación con este aspecto: ¿Qué disponibilidad hay en cuanto a repuestos? O, dado el caso, en cuanto al reemplazo íntegro de la máquina ¿Hay posibilidad de solucionar la contingencia a través del alquiler o el *leasing* de otro equipo similar? ¿Cuánto tiempo llevaría conseguir repuestos?, ¿Cuánto tiempo y cómo se llevarían los distintos componentes a algún taller especializado?

1.2.1. Mantenimiento correctivo

Representa la filosofía de “si no está roto no lo arregle”. En estos casos, los equipos simplemente se usan hasta que se rompen. El enfoque puede tener sentido para equipos de escaso valor, que no tienen un efecto significativo sobre la marcha de la empresa y que pueden ser fácilmente reemplazados. Por el contrario, la parada no programada de una máquina o un sistema crítico, tendrá efectos catastróficos en nueve de cada diez ocasiones. Las probabilidades son de que este tipo de paradas le harán perder a la empresa mucho más dinero que el que se tendría que haber invertido en un buen monitoreo y en una reparación menor y programada. Si se opta por reaccionar ante las roturas y los daños hay que tener en cuenta que, además de la crisis representada por el desperfecto, se tendrá que manejar una seria crisis por el paro.

1.2.2. Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario es un conjunto de actividades realizadas con el propósito de conservar el buen funcionamiento operacional de la maquinaria, el equipo y los bienes físicos de una empresa. Este tipo de mantenimiento cubre aquellas actividades menores, tan importantes como:

- limpieza,
- lubricación (inspección y suministro en caso necesario),
- abastecimiento de lubricantes y grasas,

- inspecciones ligeras y otras actividades similares que se realizan periódicamente y no necesariamente por falla, por ejemplo, el nivel del agua en el sistema de refrigeración, el nivel del líquido de la batería, la presión de llantas, etcétera.

Las características de este tipo de mantenimiento se definen así:

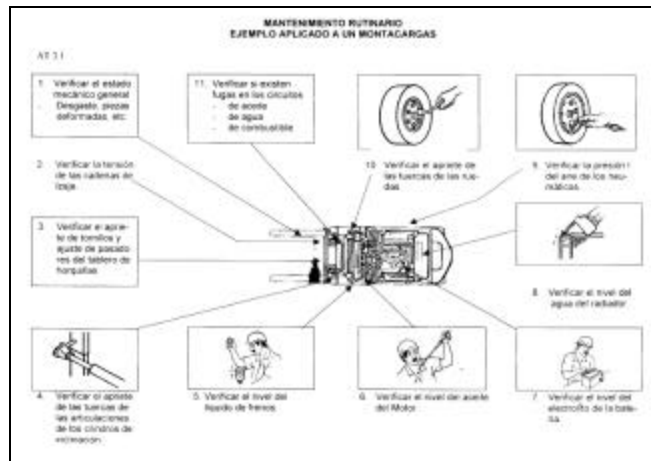
- se debe efectuar cotidianamente, antes de comenzar una jornada de trabajo;
- este tipo de mantenimiento lo realiza generalmente el operador del equipo o un supervisor de maquinaria;
- la ejecución de este tipo de mantenimiento suspende momentáneamente la operación de una máquina o equipo;
- por lo general, no requiere de herramienta y equipos muy especializados para su ejecución y, por ende, no requiere de personal muy calificado

Para determinar cuáles son las actividades de mantenimiento rutinario en una empresa, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- las necesidades propias de la empresa,
- las recomendaciones que se dan en el manual del fabricante del equipo,
- la experiencia de los operadores de equipo,
- la experiencia personal (del encargado de mantenimiento)

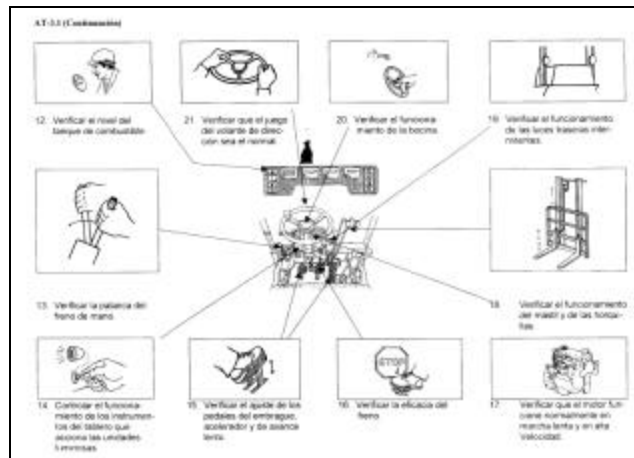
Después de haberse observado los factores habrá de definir una serie de instrucciones condensadas en una ficha de mantenimiento rutinario para cada clase de equipo y sistema.

Figura No. 6. Mantenimiento rutinario, parte 1



Fuente: Comisión Portuaria Nacional. Guía Práctica de Mantenimiento. Capítulo 3

Figura No. 7. Mantenimiento rutinario, parte 2



Fuente: Comisión Portuaria Nacional. Guía Práctica de Mantenimiento. Capítulo 3

1.2.3. Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico es un conjunto de actividades que incluyen inspecciones y trabajos programados, los cuales se realizan periódicamente con el propósito de evitar fallas imprevistas en equipos, maquinaria e instalaciones.

Este tipo de mantenimiento cubre las siguientes actividades:

- engrase y lubricación del equipo,
- limpieza y reemplazo de elementos y piezas de recambio que agotaron su vida útil,
- verificación, ajuste y calibración de mecanismos,
- inspecciones de equipo.

Las características de este tipo de mantenimiento son:

- se efectúa, periódicamente, durante toda la vida útil de la maquinaria, equipos o instalaciones, de acuerdo a una lista prescrita de instrucciones:
- se requiere una organización eficiente y personal calificado para llevar a cabo las actividades

1.2.4. Mantenimiento preventivo

Ha sido durante mucho tiempo la estrategia tradicionalmente utilizada. Consiste en un cronograma de operaciones en virtud del cual los equipos se inspeccionan y se mantienen de acuerdo con fechas especificadas u horas determinadas de funcionamiento,

haciendo abstracción de si han – o no – funcionado satisfactoriamente. El problema con esta estrategia es que puede llegar a haber equipo que recibe mantenimiento innecesariamente. Además, las periódicas paradas y desarmes pueden también introducir desgastes o daños que resultan del innecesario desarme y rearme de los componentes. Las intervenciones periódicas también traen consigo el fantasma del error humano, con problemas tales como equipos mal ensamblados o herramientas olvidadas en el interior de una máquina. A veces un re-acondicionamiento lleva a la necesidad de reparar lo que se reacondicionó.

Importancia de los registros. Toda la maquinaria debe estar inventariada. Llevar un registro y fichas adecuadas para consignar datos básicos tales como información sobre el fabricante, antigüedad, modificaciones importantes que se hayan realizado, parámetros de operación, proveedores de repuestos, especialistas que pueden ser llamados para una reparación, etcétera. El detalle de los procedimientos recomendados de mantenimiento, los diagramas varios y manuales deberían también quedar registrados junto con la ficha. Se deben incluir también posibles herramientas especiales que pueden ser necesarias, equipo de pruebas, materiales y otros documentos de referencia. Una ficha que registre, para cada máquina, la historia de las inspecciones periódicas y las reparaciones o recambios. Hay que registrar quién y cuándo se hizo la reparación, el costo y los comentarios que sean del caso. Una vez completada la reparación, se necesita hacer una prueba intensiva del equipo o máquina. Registrar cualquier cambio en sus parámetros

operativos, instruir adecuadamente al personal, si hay modificaciones.

El pasado puede ayudar al futuro. Un buen resultado del programa de mantenimiento dará impulso para profundizarlo y hacerlo más eficiente desde el punto de vista de los costos. Teniendo fichas y registros de las operaciones de mantenimiento realizadas en el pasado, se tendrá no solamente el historial operativo de la empresa claramente en las manos sino que, además, se podrá prevenir con resultados razonablemente satisfactorios al menos los peores inconvenientes. Una actividad relacionada con lo mencionado es el análisis de fallas. Por medio del mismo se pueden investigar las causas de las roturas o desperfectos que han tenido lugar en el pasado.

Monitoreo. Una vez implementado el plan de mantenimiento es muy importante revisarlo y auditarlo periódicamente. Investigar por lo menos una vez al año tanto su efectividad (en qué medida realmente solucionó los problemas) como su eficiencia (qué relación costo beneficio ha demostrado tener). ¿Se observa una tendencia a menor tiempo de paradas forzosas? ¿Revelan las encuestas una mayor satisfacción por parte del cliente?

En el altamente competitivo y cambiante mundo actual, todas las empresas tienen que lograr un buen equilibrio económico entre prestación de servicios y mantenimiento. Aún cuando la eliminación total de fallas y roturas seguirá siendo en cierta medida algo imposible, un buen programa de mantenimiento siempre permitirá un empleo más intensivo y prolongado del

equipamiento existente, una menor proporción de paradas forzosas y consecuentemente, un mejor servicio a los clientes de la empresa.

Engrase y lubricación del equipo. El engrase y lubricación de las máquinas constituye una fase importante y primordial de todos los programas de mantenimiento preventivo. La organización del engrase y lubricación, su ejecución y su control constituye una tarea de capital importancia para el servicio de mantenimiento.

Organización. La organización del engrasado y lubricación consiste en:

- reunir todos los documentos relativos a:
 - documentos editados por los fabricantes del equipo,
 - notas técnicas relativas a los tipos de engrasado y lubricantes comercializados en el país,
- estandarizar en forma interna las grasas y lubricantes, tomar en cuenta las recomendaciones de los fabricantes del equipo y características de los productos de lubricación comercializados en el país.

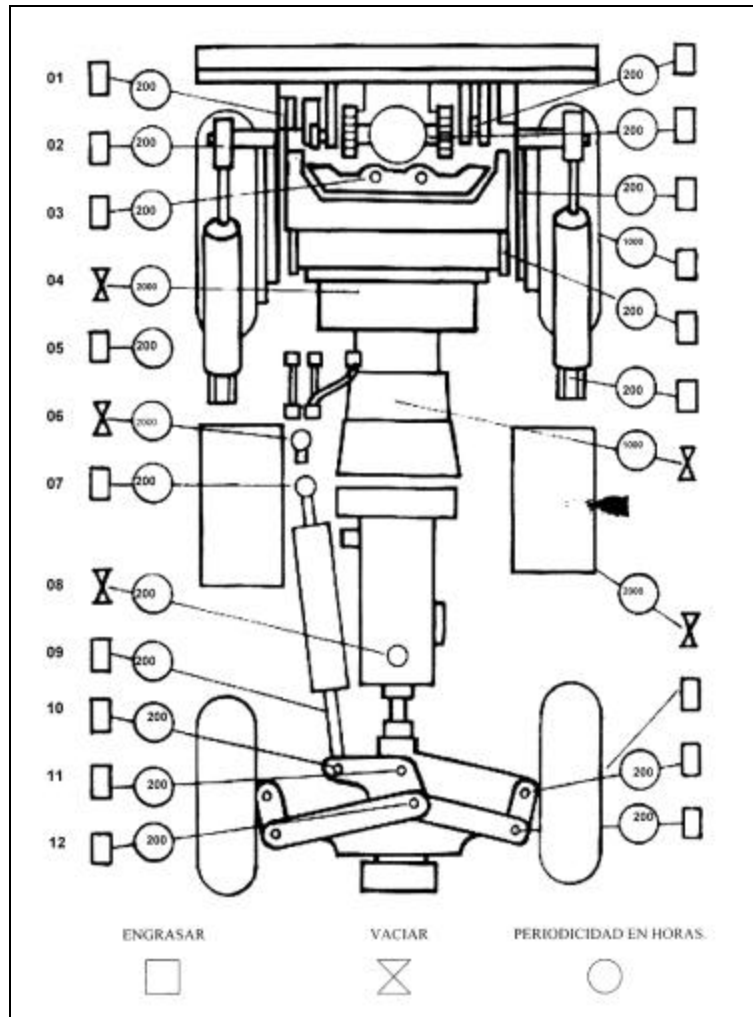
Esta selección se realiza tomando en cuenta la experiencia del jefe de mantenimiento de equipo y las observaciones del jefe de taller mecánico. El escoger los tipos de lubricantes y/o grasas convenientes es un aspecto muy importante como para dejarlo a personas inexpertas, el costo será mucho menos elevado que el

riesgo de llevar a cabo una utilización inapropiada que pueda causar una avería o una descompostura debido a la compra de lubricantes o grasas de pésima calidad.

Después de haber seleccionado los lubricantes y grasas para los diferentes equipos y maquinaria de la empresa, se deberá hacer una estandarización interna de lubricantes y grasas para facilitar al personal de mantenimiento el manejo de estos elementos, diferenciándolos fácilmente evitando que se cometan errores en la utilización de estos,

- establecer un plan de lubricación y engrasado para cada tipo de maquinaria y equipo. La forma más adecuada para presentar las instrucciones de lubricación y engrasado, es un esquema de la maquinaria con las siguientes indicaciones:
 - parte o sistema de la maquinaria sujeta a engrase o cambio de aceite,
 - símbolo de lubricante que se utilizará,
 - periodicidad de lubricación.

Figura No. 8. Plan de engrasado



Fuente: Comisión Portuaria Nacional. Guía Práctica de Mantenimiento. Capítulo 3, página No. 3.4

- La ejecución. El personal encargado de las actividades de lubricación y engrasado deberá contar con:
 - una copia del programa de mantenimiento de equipo,
 - los diversos planes de lubricación y engrasado,
 - los materiales y equipo para dicha operación.

1.2.5. Mantenimiento y su evolución

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben, principalmente, al importante aumento en número y variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas y actuar como ingenieros y como gerentes. Desde la década de los '30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones.

La primera generación. La primera generación cubre el período que se extiende hasta la segunda guerra mundial. En esos días la industria no estaba totalmente mecanizada por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de fallas en los equipos no era una prioridad. A su vez, la mayor parte de los equipos era simple, y, una gran cantidad era sobredimensionada. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación.

La segunda generación. Durante la segunda guerra mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de los trabajadores. Esto llevó a

un aumento en la mecanización. Ya en los años 50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas y la industria estaba empezando a depender de ellas. Al incrementarse esta dependencia, se centró la atención en el tiempo parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos deberían ser prevenidas, llegando al concepto de mantenimiento preventivo. En la década de los 60 esto consistió, principalmente, en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

El costo del mantenimiento comenzó a elevarse rápidamente en relación a otros costos operacionales. Esto llevó al crecimiento de sistemas de planeamiento y control del mantenimiento. Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

Por último, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo del capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos/bienes.

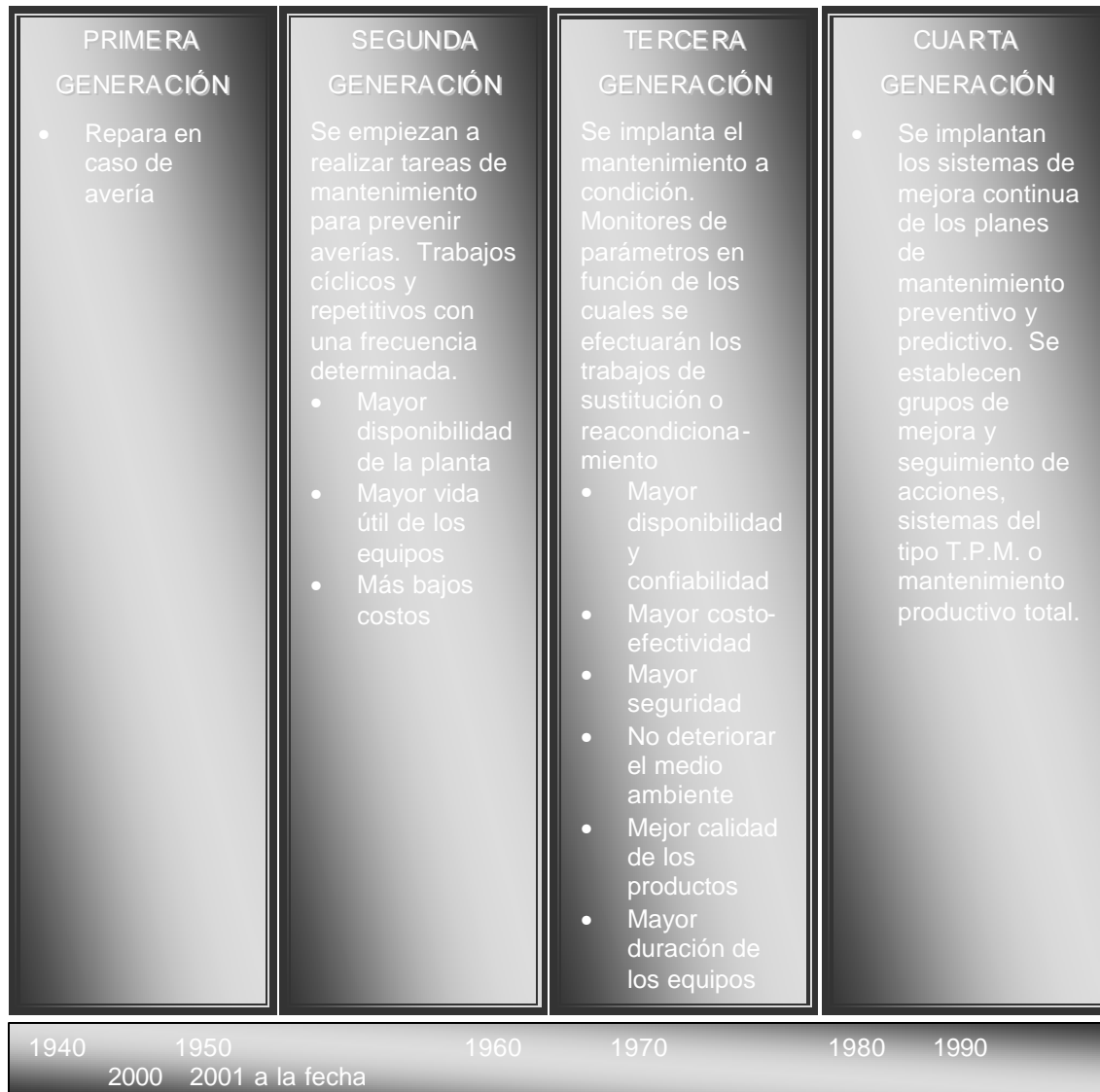
La tercera generación. Desde mediados de la década de los 70 el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

El tiempo parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, e interferir con el servicio al cliente. En las décadas de los '60 y '70 esto ya era una

preocupación en las áreas de minería, manufacturas y transporte. En la manufactura los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas “justo a tiempo” donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta.

La cuarta generación. La evolución posterior ha sido la creación de círculos de calidad y grupos de mejora continua con objetivos de alcanzar la calidad total e integración del personal (equivalente a los modelos de organización tipo T.P.M., o sea la cuarta generación de mantenimiento).

Nuevas técnicas. Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos 15 años, y emergen aún más cada semana.



Tareas Productivas. Estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo”o “preventivo”.

Tareas a condición. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o está en el proceso de ocurrir. Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y para poder actuar evitando las posibles consecuencias que surgirán si se transformasen en fallas funcionales. El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predicativo, mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición.

Rediseñar. Implica hacer cambios de única vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y cambios a los procedimientos.

1.3. Métodos de diagnóstico

Como métodos de diagnóstico sugerido para un mantenimiento preventivo a fondo y profesional se sugieren los que a continuación se describen.

Análisis de aceites. Estos análisis se deben realizar periódicamente para evaluar tanto el estado en sí del aceite y su contaminación como el estado y porcentaje de desgaste de los diferentes componentes, esto se hace como se mostrará más adelante por método infrarrojo para ver las ppm de los diferentes elementos en suspensión y, así, predecir el porcentaje de desgaste interno en un momento dado.

Método visual. Se pueden detectar fallas superficiales. En los años previos a 1920 el término “pruebas no destructivas” no había adquirido un significado en el lenguaje de ingeniería. Sólo existía la radiografía, pero sus aplicaciones industriales aún no se habían visualizado. Únicamente había pruebas de materiales, de donde se sacaban muestras del lote producido y se hacían pruebas de índole destructiva. Estas pruebas incluían análisis químico, pruebas de tensión, pruebas de compresión, pruebas de impacto. Todo esto le proporcionaba parámetros al ingeniero en cuanto a resistencia de los materiales, conservación de las propiedades de manufactura y diseño. Estas pruebas aseguraban la resistencia inicial de los materiales, pero no daban información de las expectativas de la puesta en servicio de las partes.

Como consecuencia no existía todavía la necesidad para pruebas no destructivas. La maquinaria era demasiado pesada, de movimientos muy lentos y se tenían que aplicar grandes factores de seguridad. Por tanto, se daban muchas fallas por fatiga en la búsqueda de resistencia en las piezas lo que hizo que las piezas se hicieran cada vez más grandes que de todos modos se quebraban frecuentemente. No se habían identificado aún las grietas iniciadoras de fallas por fatiga. Después de la primera guerra mundial la compañía *General Electric* mostró que los rayos X se podían utilizar para obtener fotos de artículos metálicos, revelando sus condiciones internas. El señor William E. Hoke descubrió el principio del uso de campos magnéticos y partículas ferro magnéticas para localizar rajaduras.

En 1922 el Dr. H. H. Lester montó un laboratorio con equipo de rayos X, que, prácticamente, comenzó la radiografía industrial. La práctica demostró que con la radiografía industrial se detectaban dentro del metal

cavidades, rajaduras, porosidad, inclusiones no metálicas. En la actualidad tras desarrollos y mejoras continuas, la radiografía industrial es uno de los métodos de ensayos no destructivos más confiables y sobresalientes.

El advenimiento de la segunda guerra mundial trajo un rápido incremento en la demanda de todos los métodos no destructivos. El método de partículas magnéticas fluorescentes estaba listo para encontrar innumerables nuevas aplicaciones. En 1942 entró en uso el Método de líquidos penetrantes para detectar rajaduras en los materiales ferrosos y no ferrosos. Luego, entró en uso el método de detección ultrasónico, por los métodos de resonancia y pulso-eco.

Líquidos penetrantes. La inspección con líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo para ubicar discontinuidades superficiales en objetos no porosos. Básicamente, consiste en la aplicación de un líquido penetrante en la superficie de la parte en ensayo, dejando transcurrir el tiempo necesario para que el líquido penetre en las aberturas, removiendo luego el exceso de penetrante y realizando entonces la inspección para ubicar las indicaciones superficiales.

Este método de ensayo no destructivo (E. N. D.) puede ser muy portátil y, en principio, de uso muy simple. Es también adaptable a sistemas automáticos de gran sofisticación, requiriendo controles muy precisos de tiempo, productos químicos y equipo. La dificultad de este método consiste en la selección de la técnica adecuada para la pieza a ensayar y el tipo de discontinuidad que se espera hallar y en la interpretación y evaluación de los resultados.

El principio físico que permite el trabajo de inspección por líquidos penetrantes es la capilaridad o fuerza capilar. Es esta fuerza la que provoca que el líquido que usamos en el proceso de inspección encuentre su camino en las aberturas finas y vuelva a salir de ellas para formar una indicación en la superficie de la pieza.

Clasificación de los penetrantes. Los penetrantes son clasificados por tipos y procesos de la siguiente manera:

- Tipo I – Fluorescentes
- Tipo II – Coloreados (llamados también “visibles”)

En otras palabras, el tipo nos dice qué tipo de pigmento se usa en el penetrante, ya sea fluorescente o coloreado y por lo tanto en qué condiciones deben observarse las indicaciones. Las indicaciones fluorescentes deben observarse en un área oscurecida usando luz negra. Las indicaciones coloreadas requieren ser observadas bajo luz blanca con suficiente intensidad.

Luz negra: energía luminosa justo debajo del intervalo visible de la luz violeta, entre 320 y 400 NM (Nanómetros) en el espectro electromagnético. Esta longitud de onda reacciona intensamente con ciertos pigmentos produciendo fluorescencia en un intervalo visible para el ojo.

Las seis etapas de la inspección con líquidos penetrantes son:

- a. limpieza previa: se pueden usar todos aquellos procesos que dejen la superficie limpia y seca, que no dañen al espécimen y que no empleen

productos que sean incompatibles con los que componen el penetrante. Los métodos de limpieza previa aceptables incluyen:

- limpieza con detergentes,
- limpieza con solventes,
- vapor desengrasante,
- limpieza con vapor de agua,
- ataque químico (decapado o ataque metalográfico),
- limpieza con ultrasonidos,
- uso de removedores y decapantes,
- removedores de pintura.

- b. Aplicación del penetrante: existen algunas propiedades de los penetrantes que deben ser conocidas antes de aprender “cómo” se hace la aplicación del penetrante.
- c. Tiempo de penetración: es el tiempo total que se deja el penetrante en la superficie de la pieza, en este tiempo el penetrante realiza su camino para penetrar en cualquier discontinuidad posible. En general, cuanto más fina y pequeña sea la discontinuidad mayor será el tiempo de penetración.
- d. Secado: el secado de las piezas se realiza luego de la remoción con agua o de la aplicación de revelador húmedo acuoso. El mejor método es aplicar aire caliente o un secador con recirculación de aire. Cuando se usa penetrante removible con solvente no es necesario secar la pieza. El solvente se evapora muy rápido dejando la superficie seca y lista para la próxima etapa.

- e. Revelado: revelador es un material finamente dividido aplicado sobre la superficie para ayudar a extraer el penetrante de las discontinuidades y formar las indicaciones. En ciertos casos provee un fondo de contraste contra el cual se observan las indicaciones. El penetrante está formulado para volver a salir de la discontinuidad y formar una indicación en la superficie de la pieza. El revelador ayuda al penetrante a extenderse en la superficie de la pieza aumentando la visibilidad de la indicación.
- f. Inspección: el proceso de inspección se compone de tres etapas:
- inspección: es el proceso de mirar la superficie de la pieza para ubicar las indicaciones. La inspección de indicaciones con líquidos penetrantes fluorescentes debe llevarse a cabo en un área oscurecida y bajo luz negra de suficiente intensidad. Los inspectores deben esperar al menos 5 minutos en el área oscurecida y bajo luz negra de suficiente intensidad para permitir la adaptación de la vista a la máxima visión. Esto se conoce como adaptación a la oscuridad,
 - interpretación: es el proceso de juzgar sobre cuales son las causas de la indicación y la naturaleza de la discontinuidad,
 - evaluación: es el proceso de decidir sobre la severidad de la indicación una vez que se ha hecho la interpretación. La evaluación conduce a la decisión sobre si la pieza debe ser aceptada, rechazada o reparada. Las indicaciones pueden ser:

- relevantes: cuando constituye un defecto la pieza se rechazará;
 - no relevante: son discontinuidades de diseño, como roscas o agujeros ciegos, la pieza se vuelve a utilizar;
 - indicaciones falsas: pueden ser debidas a contaminación del penetrante o del revelador por mal manejo de los químicos.
- análisis de vibraciones: este análisis puede caer dentro del mantenimiento preventivo y predictivo. Es una prueba no destructiva y no invasiva que mediante sensores piezoeléctricos o transductores trasladan la vibración mecánica de los cojinetes y componentes, en una señal eléctrica que es registrada en un equipo especial que la interpreta y grafica, esta información es bajada luego a una computadora personal para su impresión. De esta manera se pueden registrar fallas funcionales según parámetros preestablecidos con suficiente antelación para hacer las reparaciones del caso, antes de una falla,
 - análisis de fallas metalúrgico: este es un método de diagnóstico post falla cuya finalidad es determinar que fue lo que provocó la ruptura de determinada pieza. Como equipo auxiliar se emplea un microscopio con graduación en micrones (millonésima de metro). Las fallas que se pueden detectar nos indican si hubo sobrecargas, temperaturas extremas que pudieran haber fundido el metal, fallas por fatiga en el metal debido a carga cíclica. Se puede detectar si hubo elevadores de tensión debido a irregularidades en la pieza que concentran las cargas aplicadas. Los concentradores de tensión pueden ser:

- por su geometría: filetes, agujeros, marcas de fabricación;
- por defecto del material: inclusiones, vacíos en la fundición, rajaduras;
- por su fabricación: mala forja, rajaduras provocadas por torneado y pulido, ralladuras, picaduras.

Las ranuras redondeadas alrededor de la pieza pueden incrementar la concentración de tensión en ocho veces, las ranuras en “V” pueden incrementar la tensión tres veces.

El análisis de fallas metalúrgico llega a ser muy profundo y considera una gran cantidad de fallas que además incluye hasta un análisis del grano del metal para llegar a la causa de la falla que puede ser provocada por un factor externo (transmisibilidad o transmisión de vibraciones).

1.3.1. Inspección visual de la maquinaria

La inspección visual de la maquinaria se recomienda hacerse diariamente o antes de cada turno de operación. Esto garantizará un turno exento de contratiempos en la mayoría de los casos. También ayuda a detectar potenciales fallas con la suficiente anticipación. Por lo regular esta inspección la tendrá que hacer el operador de la máquina. Entre otros pueden citarse como ítems de inspección indispensables: todos los reservorios de aceites, refrigerante del radiador, fajas rotas o flojas, nivel del líquido de frenos, fugas en mangueras y reservorios, vibraciones extrañas, falta de potencia, presión de llantas, etcétera.

1.3.2. Prueba de comparación de rendimiento

Esta prueba en el caso de accesorios hidráulicos se realiza con un manómetro de presiones de glicerina con una manguera y un acople roscado, con esto se logra medir la presión de aceite en diferentes puntos como a la salida de diferentes bombas, las de presión principal y de presión piloto. También se pueden medir las presiones en las diferentes posiciones de los cilindros hidráulicos. Después se compara con las presiones hidráulicas que aconseja el manual de mantenimiento o de taller. Con esto se logra determinar con gran exactitud si el rendimiento hidráulico se conserva o si ha decrecido con el tiempo. En este último caso es recomendable ver el “*troubleshooting*” (diagnóstico) del manual de mantenimiento en donde se recomienda tomar algunas acciones para corregir el problema o cambiar las partes que sean convenientes.

La prueba de comparación de rendimiento puede también hacerse en el motor pero en este caso se tendría que tener acceso a un dinamómetro de motores y medir potencia, H.P. (caballos de fuerza), torque (torsión) a diferentes revoluciones por minuto y esto confrontarlo con las curvas de rendimiento que proporciona el fabricante. Con esto se puede calcular el desgaste del motor y la expectativa de vida del mismo. También existe la prueba de compresión como se verá en otro capítulo.

1.3.3. Prueba funcional de los diferentes sistemas

La prueba funcional de los sistemas lo debe hacer como primera instancia el operador, quien antes que nada debe ser lo suficientemente capacitado y de ser posible tener un certificado de operador, tener un criterio muy amplio y ser un observador muy crítico, con un perfil de mecánico para identificar la procedencia de vibraciones o ruidos o la disminución de potencia en los diferentes movimientos de la operación.

Esta fase se debe empezar al terminar el mantenimiento rutinario de antes de cada turno al estar dentro de la cabina. Se puede empezar con ver el tablero de instrumentos, cualquier anomalía funcional deberá aparecer en el *display* (desplegado) del tablero pues en la actualidad cualquier anomalía es registrada en la computadora a través de los diferentes sensores dispuestos por toda la máquina y en los diferentes sistemas y, luego, enviar la señal a través de códigos y símbolos al tablero para su interpretación. Las señales pueden ser por ejemplo de servicio de motor, códigos de problemas de inyección alta temperatura del motor, elementos de admisión de aire obstruidos, poco flujo hidráulico, carga baja del alternador, etcétera. Para tener un mejor parámetro de funcionamiento se deben reproducir algunos movimientos que simulen la operación. Esto debe hacerse a la temperatura normal de operación. Vale la pena decir que la prueba funcional de los sistemas se debe hacer a través de todo el turno de operación en condiciones reales.

1.3.4. Análisis de aceite de los diferentes compartimientos

El aceite de motor realiza varias funciones básicas para proporcionar una lubricación adecuada: mantiene el motor limpio y libre de herrumbre y corrosión, actúa como refrigerante y sellante y proporciona una película de aceite que reduce el contacto de metal contra metal y, por lo tanto, la fricción y el desgaste.

La selección del aceite lubricante apropiado se debe basar en los requerimientos del motor, la aplicación en la que se va a utilizar y la calidad de combustible disponible. Por ejemplo, los motores diesel normalmente funcionan a velocidades más bajas pero a temperaturas más altas que los motores de gasolina y estas condiciones llevan a la oxidación del aceite, la formación de incrustaciones y la corrosión de los metales de los cojinetes. Para que en estas condiciones el aceite pueda ejercer sus propiedades de lubricación y protección, hay que considerar también los aditivos en el aceite, pues las características finales del rendimiento dependen del aceite base y de los aditivos que se utilizan. La cantidad o tipo de aditivos varía según las propiedades del aceite base y el ambiente en donde se utilizará el aceite.

Aditivos. Los aditivos fortalecen o modifican ciertas características del aceite base para permitir que alcance ciertos requerimientos que están más allá de sus propiedades básicas.

Los aditivos más comunes son: los detergentes, inhibidores de oxidación, dispersantes, agentes alcalinos, agentes anti-desgaste, dispersantes del punto de fluidez y mejoradores de la viscosidad.

Los detergentes ayudan a mantener limpio el motor mediante productos de oxidación que reaccionan químicamente para detener la formación e incrustaciones de compuestos insolubles.

Los inhibidores de oxidación ayudan a impedir el aumento de la viscosidad, el desarrollo de ácidos orgánicos y la formación de materia carbonácea.

Los dispersantes ayudan a impedir la formación de sedimentos diseminando los contaminantes y manteniéndolos en suspensión. Los agentes alcalinos ayudan a neutralizar los ácidos.

Los agentes anti-desgaste reducen la fricción formando una película sobre las superficies metálicas.

Los dispersantes del punto de fluidez mantienen al aceite fluente a bajas temperaturas impidiendo la progresión y aglomeración de cristales de cera.

Los mejoradores de viscosidad ayudan a impedir el desleimiento del aceite cuando se alcanzan altas temperaturas.

Número Base Total (TBN). Para entender el TBN hay que conocer primero qué es el contenido de azufre en el combustible. La mayoría de los combustibles diesel contienen azufre en algún grado. El contenido del azufre depende de la cantidad de azufre existente en el petróleo crudo con el que se produjo el combustible y la aptitud en las refinerías de poder disminuir o eliminar dicho contenido. Una de las funciones del aceite lubricante es neutralizar los subproductos del azufre, es decir, los ácidos sulfurosos y sulfúricos, para así dilatar los efectos de la corrosión en el motor. Los aditivos del aceite contienen compuestos alcalinos formulados para neutralizar dichos ácidos. La medida de esta reserva de alcalinidad del aceite se llama TBN. Generalmente, cuanto más alto es el valor TBN, mayor reserva de alcalinidad o capacidad de neutralización de ácidos tiene el aceite.

Análisis y diagnósticos. El análisis periódico de aceite consiste en una serie de pruebas destinadas a identificar y medir la contaminación y degradación de una muestra de aceite. Tres son las pruebas básicas:

- análisis de desgaste,
- pruebas químicas y físicas,
- análisis de las condiciones del aceite.

Análisis de desgaste. El análisis de desgaste se realiza mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. Esencialmente, la prueba controla la proporción de desgaste de un componente determinado identificando y midiendo la concentración de los elementos de desgaste que se encuentran

en el aceite. Basados en datos previos de concentraciones normales, se establecen los límites máximos de elementos de desgaste. Después de haber tomado tres muestras de aceite, se pueden establecer líneas de tendencia de los distintos elementos de desgaste de un motor determinado. A su vez se pueden identificar las posibles fallas cuando las líneas de tendencia se desvían del patrón establecido.

El análisis de desgaste se limita a detectar el desgaste de los componentes y la contaminación gradual con tierra. Las fallas debidas a fatiga del componente, pérdida imprevista de lubricación o ingestión imprevista de tierra, se producen demasiado rápidamente para poder predecir mediante este tipo de prueba.

Pruebas químicas y físicas. Las pruebas químicas y físicas detectan el agua, el combustible y el anticongelante en el aceite y determinan cuando su concentración excede los límites establecidos.

La presencia y la cantidad aproximada de agua se detectan mediante la “prueba de chisporroteo”. Se coloca una gota de aceite en una plancha caliente a una temperatura controlada de 110° C (230° F). La aparición de burbujas es una indicación positiva de agua en el aceite (es aceptable una presencia de agua entre el 0.1% al 0.5%).

Se determina la presencia de combustible mediante el probador de destello. Este probador está calibrado para determinar el porcentaje de combustible diluido.

La presencia de anticongelante se determina mediante una prueba química (cualquier indicación positiva es inaceptable).

Análisis de las condiciones del aceite. Las condiciones del aceite se determinan mediante el análisis infrarrojo. Esta prueba determina y mide la cantidad de contaminantes como hollín y azufre y productos de oxidación y nitración. Aunque también puede detectar agua y anticongelante en el aceite, para poder hacer un diagnóstico preciso el análisis infrarrojo debe ir acompañado siempre por el análisis de desgaste y las pruebas químicas y físicas.

Figura No. 9. Toma de muestra de aceite.



Fuente: El aceite lubricante y su motor, página No. 8

También se puede utilizar el análisis infrarrojo para reducir, mantener o prolongar los intervalos de cambio de aceite según las condiciones y aplicaciones en particular.

Figura No. 10. Análisis de una muestra de aceite mediante espectrofotómetro de absorción atómica.



Fuente: El aceite lubricante y su motor, página No. 8

Algunas consideraciones sobre el refrigerante y el motor.

Hay que preparar las mezclas de refrigerante de manera tal que reduzcan el riesgo de que se produzcan los siguientes problemas:

- erosión por cavitación y picaduras,
- herrumbre,
- relación inapropiada de acidez (alcalinidad)
- corrosión galvánica y electrolítica,
- escamilla y depósitos,
- aeración.

La corrosión es una acción química o electroquímica que, con el tiempo, desgasta las superficies metálicas de un sistema de enfriamiento. En algunos casos, la corrosión puede hasta destruir el motor. Todos los componentes del sistema de enfriamiento requieren protección contra la corrosión. Los aditivos cubren

estas superficies y neutralizan la contaminación que se produce en el refrigerante.

Entre los tipos de corrosión figuran: erosión por cavitación y picaduras, herrumbre, relación inapropiada de acidez/alcalinidad y corrosión galvánica y electrolítica. Otros efectos funcionales son la aeración y la formación de escamilla y depósitos.

Erosión por cavitación y picaduras. El flujo de electricidad en un punto determinado causa picaduras. Las picaduras dañan los componentes más que ningún otro tipo de corrosión. Cuando las picaduras se van ahondando durante un período prolongado, no hay ninguna manera práctica de detenerlas antes de que den lugar a perforaciones. Como un solo amperio de electricidad que fluye durante 30 horas puede eliminar una onza de hierro, el flujo de electricidad que se concentra en un área pequeña es muy destructivo.

La erosión es una combinación de acción mecánica y química o electroquímica que produce corrosión. La cavitación es un tipo particular de corrosión por erosión y es, frecuentemente, la causa de picaduras en las paredes de los cilindros.

La cavitación de la pared del cilindro se produce cuando burbujas de aire en la superficie de la misma le sacan su película protectora de óxido. Cuando explota la mezcla de combustible en la cámara de combustión, la pared del cilindro se flexiona y vibra, lo cual produce burbujas de aire en el refrigerante. La concentración de burbujas aumenta cuando la presión está baja

en el sistema de enfriamiento o cuando este tiene fugas. Además al aumentar las vibraciones, se aumenta también la cantidad de burbujas de aire en el refrigerante.

Cuando el motor funciona en frío, se aumentan las vibraciones a causa del mayor espacio libre entre pistón y cilindro. Las vibraciones aumentan también cuando el motor se sobrecarga.

Estas burbujas se producen en la superficie exterior de la pared del cilindro (perpendicular con respecto al pasador de articulación) y luego explotan hacia dentro, o implotan. Cuando las burbujas de aire siguen experimentando implosiones, se suelta suficiente energía para atacar físicamente la pared del cilindro y sacar la película de óxido lo cual produce corrosión y picaduras con gran rapidez que perforan la pared del cilindro y permiten fugas de refrigerante que contaminan el aceite lubricante.

1.3.5. Prueba de compresión de cilindros

La fuente de la potencia del motor es la presión de combustión. Si la cámara de combustión tiene escapes, el motor no produce la potencia y economía normales. La revisión de escapes de la cámara de combustión se puede hacer de varias maneras. La principal es la prueba de compresión. La compresión se debe realizar sólo en un motor caliente. En un motor en marcha la compresión de los cilindros es menor, entre más altas las RPM del motor pues hay menos tiempo para que el

aire entre a los cilindros por las altas revoluciones, esto redonda en menor compresión.

En los motores diesel la compresión se mide en el *carter* (reservorio de aceite del motor) con un compresímetro (aparato para medir compresiones) especial a diferencia de los motores a gasolina que es directamente en los cilindros.

Una forma bastante efectiva de medición de compresión es por medio del osciloscopio que es un detector de alta sensibilidad. Este exhibe diversos parámetros del motor como función del tiempo de ciclo del cigüeñal. Primero, se sincroniza el transductor rotatorio con las marcas en el volante para el punto muerto superior del cilindro No. 1 y se analiza cada cilindro por orden. Para ello, se ajusta el selector del transductor (dispositivo de cambio de señal mecánica a eléctrica) de acuerdo con los datos de ángulo de cigüeñal de motor. Con esto, el barrido horizontal del osciloscopio exhibe los 360° del cigüeñal. La energía ultrasónica liberada por la interacción de las moléculas del gas, que escapan por un anillo de compresión o una ralladura en la pared del cilindro, se convierte en una señal eléctrica en el detector del transductor ultrasónico. Esta señal de 10 milliwatts de la salida produce la exhibición vertical en el osciloscopio del analizador. Con la prueba de compresión de cilindros se puede determinar y/o predecir la vida que le queda al motor.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL ÁREA DE ENSAYO

2.1. Descripción del recinto portuario y talleres de mantenimiento

El recinto portuario es un área que ofrece seguridad para las operaciones relacionadas con el comercio, tránsito y trasbordo marítimo. Los talleres de mantenimiento son el área física que dispone de las facilidades para la reparación y mantenimiento de la maquinaria de tracción o agrícola y la de carga y descarga y transferencia de carga. Involucra: bodegas, tanques, silos, patios de contenedores, calles para equipo portuario, parqueo de maquinaria portuaria, talleres de mantenimiento.

2.1.1. Área de muelles

Involucran las áreas destinadas a la descarga y carga de buques, atraques. La explanada del muelle que es donde se da la actividad de carga y descarga de productos así como su transferencia respectiva. Es el lugar donde se dan todas las operaciones relacionadas con la mercancía del puerto.

2.1.2. Patio de maquinaria

Es el área física destinada para parquear la maquinaria de Empresa Portuaria Quetzal, es a la vez el área donde se

encuentra toda la maquinaria de transferencia que está operativa en espera de ser utilizada.

2.1.3. Taller de maquinaria pesada

Es el área destinada para reparar la maquinaria y darle mantenimiento periódico a la misma. Cuenta con 12 mecánicos de mediana experiencia con red de aire comprimido y herramienta general no específica para maquinaria pesada. Cuenta también con el soporte de los talleres de soldadura y torno, área de llantas, taller de refrigeración y aire acondicionado. Se hacen reparaciones mayores, corrección de fallas y reconstrucción de maquinaria. En esta área se genera la necesidad de repuestos y lubricantes.

2.1.4. Oficinas administrativas de talleres

Área que cuenta con un jefe de talleres, un subjefe, 2 secretarías, 2 personas de apoyo para trabajos especiales e informes, 1 mensajero, se cuenta además con 4 equipos de computación. Es el área donde se elaboran las solicitudes de compra y de donde emanan las órdenes para la ejecución de trabajos de todos los talleres y donde se canalizan las órdenes emanadas por Gerencia General.

2.2. Descripción del procedimiento utilizado actualmente

En la actualidad, el mantenimiento para la maquinaria pesada es una mezcla de mantenimiento correctivo en un 90% versus mantenimiento periódico en un 10%. Esto nos da un 90% de oportunidades de falla que por lo regular son inesperadas y presentan un cuadro en que incluso los

repuestos no se tienen a la mano, muchas veces inclusive hay que esperar a que vengan al país importados por empresas monopolizadas. Esto deja la maquinaria inactiva por varios meses.

2.2.1. Mantenimiento correctivo de la maquinaria

Este es el mantenimiento que prevalece en Empresa Portuaria Quetzal, en un 90% consiste en reparar la maquinaria según se vayan dando las fallas sin un orden establecido o previsible. En este mantenimiento se corrigen también las fallas repetitivas, no es planificado y se rige a la parte operacional del trabajo. Este mantenimiento requiere de mecánicos con mucha experiencia, un almacén con una gran reserva de repuestos, accesorios y materiales lo suficientemente amplio para resolver en cualquier momento toda clase de falla.

2.2.2. Mantenimiento rutinario de la maquinaria

Este tipo de mantenimiento se aplica en un 25% de las veces y de una manera incompleta pues consiste en efectuar cotidianamente, antes de comenzar la jornada de trabajo una inspección general del equipo, así como su lubricación respectiva y revisión de niveles. Esta actividad la realiza el operador por no necesitar herramienta especial. Por lo regular se hace en Empresa Portuaria Quetzal sólo una revisión y no una lubricación.

2.2.3. Mantenimiento periódico de la maquinaria

Este tipo de mantenimiento se hace en la Empresa Portuaria Quetzal sobre una base de horómetro (dispositivo de lectura de horas efectivas de operación) de la maquinaria, que incluye cambio de aceites y filtros así como lubricación. Estas prácticas de mantenimiento pueden ser o muy superficiales o muy profundas según lo que el fabricante indique. En Empresa Portuaria Quetzal se maneja un mantenimiento muy superficial. Si este se manejara a un nivel más profundo este involucraría pruebas no destructivas como líquidos penetrantes, partículas magnéticas, rayos X, endoscopía, etcétera.

2.2.4. Generación de solicitudes de compra

Se hace sobre la base de la necesidad de repuestos, los cuales ya tienen que estar registrados con un código en el sistema informático de almacén. Luego se pasa al departamento de compras para su trámite y potencial compra que a veces no es exitosa y la compra no se realiza y el o los repuestos no son adquiridos con lo que la máquina permanece parada. Las solicitudes de compra contienen la descripción del repuesto, su código, justificación y observaciones.

2.3. Elaboración de un estudio de costos de operación y mantenimiento de la maquinaria en la actualidad

Este estudio analítico detallado se hizo con el objeto de tener los suficientes parámetros de comparación entre los costos de tener la

maquinaria activa y los costos de tenerla inactiva en los talleres, se consideraran en detalle todos los costos.

Tabla I. Dinero que genera la maquinaria pesada por hora

| TIPO DE MAQUINA | TONS. | TARIFA * HR | T.C. | TARIFA Q. | IVA | TOTAL TARIFA |
|-----------------------|-------|-------------|------|-----------|---------|--------------|
| Apiladora de C/lleños | 45 | \$167.00 | 7.53 | Q1,257.51 | Q150.90 | Q1,408.41 |
| Apiladora de C/vacios | 18 | \$138.00 | 7.53 | Q1,039.14 | Q124.70 | Q1,163.84 |
| Montacarga | 15 | \$115.00 | 7.53 | Q865.95 | Q103.91 | Q969.86 |
| Montacarga | 10 | \$69.00 | 7.53 | Q519.57 | Q62.35 | Q581.92 |
| Montacarga | 5 | \$56.00 | 7.53 | Q421.68 | Q50.60 | Q472.28 |
| Montacarga | 2.5 | \$26.00 | 7.53 | Q195.78 | Q23.49 | Q219.27 |
| Cabezal | Cab. | \$52.00 | 7.53 | Q391.56 | Q46.99 | Q438.55 |

Fuente: Departamento de Facturación

Tabla II. Dinero que pierde por día la maquinaria mientras está en reparación en Taller

| TIPO DE MAQUINA | CANT. DE MAQUINAS | TONS. | TARIFA HORA Q. | IVA | TOTAL TARIFA | HRS/PROMEDIO DE TRABAJO POR MAQ/DIA | PROMEDIO ACUMULADO POR SERVICIO |
|-----------------------|-------------------|-------|----------------|---------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Apiladora de C/lleños | 1 | 45 | \$1,257.51 | Q150.90 | Q1,408.41 | 8 | 11,267.29 |
| Apiladora de C/vacios | 1 | 18 | \$1,039.14 | Q124.70 | Q1,163.84 | 8 | Q9,310.69 |
| Montacarga | 1 | 15 | \$865.91 | Q103.91 | Q969.82 | 8 | Q7,758.55 |
| Montacarga | 1 | 10 | \$519.57 | Q62.35 | Q581.92 | 8 | Q4,655.35 |
| Montacarga | 1 | 5 | \$421.68 | Q50.60 | Q472.28 | 8 | Q3,778.25 |
| Montacarga | 1 | 2.5 | \$195.78 | Q23.49 | Q219.27 | 8 | Q1,754.19 |
| Cabezal | 1 | Cab. | \$391.56 | Q46.99 | Q438.55 | 8 | Q3,508.38 |
| | | | | | | | Q42,032.70 |

Fuente: Departamento de Facturación

Tabla III. Costos de filtros que lleva la diferente maquinaria

| CANT. DE MAQUINAS | TONS. | FILTROS | | | | | | | | TOTAL COSTOS EN ELEMENTOS |
|-------------------|-------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|---------------------------|
| | | MOTOR | HIDRAULICO | AIRE P | AIRE S | DIESEL P | DIESEL S | TRANS. | AGUA | |
| 1 | 45 | Q407.00 | Q344.69 | Q598.97 | Q299.49 | Q258.77 | Q129.39 | Q265.52 | Q202.40 | Q2,506.23 |
| 2 | 18 | Q800.00 | Q671.00 | Q950.70 | Q475.36 | Q490.66 | Q245.44 | Q255.26 | Q310.48 | Q4,198.90 |
| 8 | 5 | Q1,754.08 | Q2,824.64 | Q2,840.40 | Q1,420.24 | Q1,525.84 | Q701.12 | Q2,014.24 | Q0.00 | Q13,080.56 |
| 2 | 15 | Q800.00 | Q671.00 | Q951.00 | Q475.36 | Q490.86 | Q245.44 | Q510.52 | Q0.00 | Q4,144.18 |
| 1 | 10 | Q219.26 | Q353.08 | Q355.05 | Q177.53 | Q190.73 | Q87.64 | Q251.78 | Q0.00 | Q1,635.07 |
| 5 | 2.5 | Q319.10 | Q427.50 | Q627.50 | N | Q461.00 | Q452.50 | Q627.50 | Q0.00 | Q2,915.10 |
| 5 | 2.5 | Q319.10 | Q427.50 | Q627.50 | N | Q461.00 | Q452.50 | Q627.50 | Q0.00 | Q2,915.10 |
| 11 | Cab. | Q2,750.00 | Q2,023.67 | Q5,779.40 | Q2,889.70 | Q346.94 | Q554.84 | Q1,658.80 | Q3,265.02 | Q19,268.37 |

Fuente: Almacén Empresa Portuaria Quetzal

2.3.1. Costo de horas/hombre operador

Salario promedio de operadores (calculado sobre los últimos 6 meses)

Cantidad de operadores por los 3 turnos: 22

a. Sueldo promedio con horas extras incluidas al mes: Q8,564.76

b. Costos promedio de servicios varios al mes: Q1,252.75

a + b = Q9,817.51

Horas promedio trabajadas al mes (22 días): 192 horas

$\frac{Q9,817.51}{192} = Q51.13 \text{ Hora Hombre}$

2.3.2. Costo de mantenimiento correctivo

Costo de mantenimiento correctivo promedio (mensual)

Repuestos al mes: Q61,236.76

Horas/Hombre al mes: Q7,539.09

Total Q68,775.85

Tabla IV. Costos de mantenimiento correctivo condensado promedio en los últimos 3 meses.

| CANT. DE MAQUINARIA | TIPOS DE MAQUINARIA | TIPOS DE SERVICIOS | COSTO DE MANO DE OBRA | ACCESORIOS Y REPUESTOS | TOTAL DE COSTOS |
|---------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
| 69 | TRANSFERENCIA DE CARGA | R/CORRECTIVAS | Q3,160.87 | Q43,398.81 | Q46,559.68 |

Fuente: Base de Datos Sistema Administración de Servicio

2.3.3. Costo de mantenimiento periódico

Tabla V. Costos de mantenimiento periódico en los últimos 3 meses.

| Servi- cios | Tipos de Maquinaria | Tipo de Servicio | Qué incluye el servicio | Costo de lubricantes | Costo de elementos | Hrs. hombre * serv. c/u | Costo de mano de obra | Otros Costos | Total de Costos |
|-----------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|
| 69 | Transf/de carga | 50 Hrs. | Lavado y engrase | Q5,563.67 | Q5,066.35 | Q207.00 | Q8,865.81 | Q377.43 | Q20,080.26 |
| 35 | Transf/de carga | 250 Hrs. | Cambio de aceite, elementos y otros | Q11,127.33 | Q10,132.70 | Q140.00 | Q5,996.20 | Q754.86 | Q28,151.09 |
| 23 | Transf/de carga | 500 Hrs. | Cambio de aceite, elementos y otros | Q16,691.00 | Q15,199.05 | Q138.00 | Q5,910.54 | Q1,132.29 | Q39,070.88 |
| 17 | Transf/de carga | 1000 Hrs. | Cambio de aceite, elementos y otros | Q22,254.67 | Q20,265.40 | Q136.00 | Q5,824.88 | Q1,509.72 | Q49,990.67 |
| GRAN TOTAL DE COSTOS | | | | Q55,636.67 | Q50,663.50 | Q621.00 | Q26,597.43 | Q3,774.30 | Q137,292.90 |

Fuente: Base de Datos Sistema Administración de Servicio

2.3.4. Costo de horas/hombre mantenimiento

Salario promedio en maquinaria pesada mantenimiento (Calculado sobre los últimos 6 meses)

Cantidad de mecánicos: 12

a. Sueldo promedio con horas extras incluidas al mes: Q7,247.74

b. Costos promedio de servicios varios al mes: Q291.35

(Teléfono, electricidad, combustible, transporte)

$$a + b = Q7,539.09 = \frac{Q}{\text{Hombre}}$$

Horas promedio trabajadas al mes (22 días): 176 horas

$$\frac{Q7,539.09}{176} = Q42.83 \frac{\text{Hora}}{\text{Hombre}}$$

2.4. Ventajas del mantenimiento preventivo versus el mantenimiento correctivo

El mantenimiento como se ha dicho es necesario para la conservación de la maquinaria pero actualmente, cualquier empresa que se dedique a la producción de bienes y servicios deberá realizarlos a través de un proceso en el que invierta un capital mínimo en instalaciones, equipos y mano de obra que asegure el máximo de beneficios. Será necesario entonces, alcanzar una alta productividad por medio del empleo racional y económico de los recursos humanos y materiales.

Ya que los servicios portuarios deben seguir un proceso que se caracteriza por una mecanización diseñada para reducir costos de mano de obra directa por unidad, se justifica entonces invertir en instalaciones, sistemas y equipos portuarios.

Por todo lo anterior puede decirse que el mantenimiento preventivo da las siguientes ventajas sobre el mantenimiento correctivo:

- proporciona continuidad en el proceso;
- da ventajas económicas por minimización de interrupciones;
- da la oportunidad de disponer de los bienes portuarios en todo momento y aumenta la productividad;
- se pueden planificar mejor las actividades portuarias por tener activa toda la maquinaria y así aumentar la eficiencia de la misma;

- se puede programar la actividad de mantenimiento preventivo antes de que se dé la falla en momentos en que la maquinaria se pueda sacar de operación. En cambio con el mantenimiento correctivo la máquina sale de circulación aunque esté en operación dando problemas de índole funcional/económica;
- la maquinaria da confianza de operación mientras que con el mantenimiento correctivo no hay certeza de finalizar el turno;
- cuando se considera que la maquinaria es ya obsoleta se puede vender a un precio razonable porque aún es operativa;
- se cambian las piezas que potencialmente van a fallar y esto protege las piezas aledañas, mientras que en el sistema correctivo se daña la pieza fallada y ésta puede dañar las aledañas, redundando en costos mayores de reparación;
- se llega a tener un mejor récord de la maquinaria, pues, se mantiene en continuo análisis de potenciales fallas, esto da un mejor índice de predictividad de las fallas;
- la maquinaria da mayor seguridad de operación, protegiendo al operador y a las mercancías en transferencia.

CAPÍTULO 3

PRÁCTICA DE APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MAQUINARIA PESADA

3.1. Elaboración de inventario físico de maquinaria y su actual estatus

Tabla VI. Inventario físico

| EQUIPO ADQUIRIDO | FECHA | INGRESO TALLER | DISPONIBLE | NO DISPONIBLE | OBSERVACIONES |
|----------------------------|------------|----------------|------------|---------------|---------------------------------------|
| Montacargas 2.5 tons. # 01 | 05/09/1986 | 16/07/2004 | | X | Rep. Cilindro central |
| Montacargas 2.5 tons. # 03 | 05/09/1986 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 04 | 05/09/1986 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 05 | 05/09/1986 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 06 | 30/11/1992 | 01/01/2001 | | X | Problema en el motor |
| Montacargas 2.5 tons. # 07 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 08 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 09 | 30/11/1992 | 01/01/2002 | | X | Rep. Sistema Hidráulico |
| Montacargas 2.5 tons. # 10 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 11 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 12 | 31/12/1995 | 04/11/2004 | | X | Problema tren trasero |
| Montacargas 2.5 tons. # 13 | 31/12/1995 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 14 | 31/12/1995 | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 15 | | 01/10/2004 | | X | Problema bomba de agua |
| Montacargas 2.5 tons. # 16 | | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 17 | | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 18 | | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 19 | | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 20 | | | X | | |
| Montacargas 2.5 tons. # 21 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 502 | 05/09/1986 | | | X | Cilindro central en mal estado |
| Montacargas 5 tons. # 503 | 05/09/1986 | 09/05/2004 | | | |
| Montacargas 5 tons. # 505 | 30/11/1992 | | | X | Se fue de baja |
| Montacargas 5 tons. # 506 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 507 | 30/11/1992 | 29/06/2004 | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 508 | 30/11/1992 | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 509 | 31/12/1995 | 04/03/2003 | | X | Cilindro de inclinación en mal estado |
| Montacargas 5 tons. # 510 | 31/12/1995 | 08/05/2004 | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 511 | 31/12/1995 | 10/03/2004 | | X | Cilindro central en mal estado |
| Montacargas 5 tons. # 512 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 513 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 514 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 515 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 516 | | 04/11/2004 | | X | Problema de frenos |
| Montacargas 5 tons. # 517 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 518 | | | X | | |
| Montacargas 5 tons. # 519 | | 04/11/2004 | | X | Problema en encarrilador de mangueras |
| Montacargas 10 tons. # 01 | | | X | | |

| | | | | | |
|---|------------|------------|----|---|---------------------------------------|
| Montacargas 10 tons. # 02 | | | X | | |
| Montacargas 15 tons. # 01 | | | X | | |
| Montacargas 15 tons. # 02 | | | X | | |
| Montacargas 18 tons. # 01 | | | X | | Sin vidrio en las 2 puertas |
| Apiladora vacíos SISU 18t 801 | 31/12/1995 | 22/11/2004 | | X | Problema en el motor |
| Apiladora vacíos Taylor 18t. #01 | | | X | | |
| Portacontenedores 36 tons. #01 | 05/09/1986 | 10/05/2003 | | X | Cilindro central en mal estado |
| Apiladora Valmet 45 tons. #01 | 31/12/1995 | | X | | Servicio |
| Cabezal Magnum # 03 | 30/11/1992 | 04/11/2004 | | X | Problema diafragma de frenos |
| Cabezal Magnum # 04 | 30/11/1992 | | | | |
| Cabezal Magnum # 05 | 30/11/1992 | 17/11/2004 | | X | Cojinete de bufa delantera |
| Cabezal Magnum # 06 | 30/11/1996 | 06/05/2004 | | X | Mala compresión en motor, sin llantas |
| Cabezal Magnum # 07 | 30/11/1996 | | X | | |
| Cabezal Magnum # 08 | 30/11/1996 | | X | | |
| Cabezal Magnum # 09 | 30/11/1996 | | X | | |
| Cabezal Magnum # 10 | | | X | | |
| Cabezal Magnum # 11 | | | X | | |
| Cabezal Magnum # 12 | | | X | | |
| Cabezal Magnum # 13 | | | X | | |
| Cabezal Magnum # 14 | | | X | | |
| Tractor de arrastre # 01 | 05/09/1996 | 20/01/2004 | | X | Motor de arranque |
| Tractor de arrastre # 02 | 05/09/1996 | 11/05/2004 | | X | Motor de arranque |
| Tractor de arrastre # 03 | 13/12/1995 | 06/08/2003 | | X | Sistema de dirección en mal estado |
| Tractor de arrastre # 04 | 13/12/1995 | | X | | |
| Grúa Grove 6 tons. | 26/07/1985 | 11/06/2004 | | X | Problema en el alternador |
| Grúa Grove 18 tons. | | | X | | |
| Grúa Caillar 400-41-04 | 31/08/1990 | | | X | Sistema eléctrico en mal estado |
| Grúa Caillar 1,120 | 31/08/1990 | | | X | Sistema eléctrico en mal estado |
| Transtainer Caillard | 31/08/1990 | | | X | Spreader en mal estado |
| Plataformas 40 tons. | 04/10/1987 | | 13 | 1 | Cojinete en mal estado |
| Vagonetas 13 tons. | 05/09/1986 | | 12 | | |
| Vagonetas 15 tons. | 05/09/1986 | | 5 | 1 | Cambio de llantas |
| Vagonetas 20 tons. | 05/09/1986 | | 4 | | |
| Clam Shell de 5 tons. P. Granos | 31/08/1990 | | 1 | 1 | |
| Clamshell de 5 tons. P. Fert. | 31/08/1990 | | 0 | 1 | |
| Spreader de 40 tons. | 31/08/1990 | | 3 | 1 | Reparaciones varias |
| Spreader de 20 tons. | 31/08/1990 | | 1 | 2 | Reparaciones varias |
| Observaciones: Grúa Grove de 5 tons.: Problemas en alternador, Sisu vacíos, problemas en motor, Apiladora Valmet 45 tons. está en el taller por servicio en el motor. | | | | | |

Fuente: Base de datos Gerencia de Operaciones

3.2. Elaboración de fichas técnicas de maquinaria

Tabla VII. Modelo de ficha técnica de maquinaria.

| FICHA TECNICA DE MAQUINARIA | | | |
|-----------------------------|------|-------------|-----------|
| DESIGNACIÓN | TIPO | DIMENSIONES | PROVEEDOR |
| Características técnicas | | Componentes | |
| Velocidad | | | |
| Potencia | | | |
| Rendimiento | | | |
| Temperatura | | | |
| Agua | | | |
| Presión | | | |
| Aceite | | | |
| Vacío | | | |
| Combustible | | | |
| Accesorios | | | |

Fuente: Comisión Portuaria Nacional

3.2.1. Inspección física de la maquinaria de transferencia de carga para diagnosticar (*check list*)

Tabla VIII. Revisión diaria por el operador

| REVISIÓN DIARIA POR EL OPERADOR | |
|---------------------------------|--|
| 1 MOTOR | |
| ✓ | _____ Faja de ventilador (fajas del compresor de aire) |
| ✓ | _____ Aceite de Motor |
| ✓ | _____ Fugas externas |
| ✓ | _____ Cargadores |
| ✓ | _____ Aceleración |
| 2 TRANSMISIÓN | |
| ✓ | _____ Temperatura |
| ✓ | _____ Presión |
| ✓ | _____ Nivel de aceite |
| ✓ | _____ Rendimiento |
| ✓ | _____ Freno de mano |
| ✓ | _____ Cargadores |
| 3 SISTEMA DE COMBUSTIBLE | |
| ✓ | _____ Tanque lleno |
| ✓ | _____ Fugas visibles |
| ✓ | _____ Tapón de tanque cerrado |
| 4 ADMISIÓN DE AIRE | |
| ✓ | _____ Revisar el indicador de filtro de aire |
| ✓ | _____ Revisar fugas visibles |
| 5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO | |
| ✓ | _____ Revisar el nivel de refrigerante |
| ✓ | _____ Revisar mangueras, abrazaderas y fugas de radiador |
| ✓ | _____ Revisar picaduras y suciedad del radiador |
| 6 SISTEMA ELÉCTRICO | |
| ✓ | _____ Revisar alarma de retroceso |
| ✓ | _____ Revisar claxon |
| ✓ | _____ Revisar todos los indicadores en el tablero |
| ✓ | _____ Revisar faja del alternador |

7 TRANSMISIÓN DE POTENCIA

- ✓ Revisar nivel de fluido de transmisión
- ✓ Revisar visualmente las fugas

8 EJE DE DIRECCIÓN

- ✓ Revisar apriete de tuercas de rueda
- ✓ Revisar fugas en bufas
- ✓ Revisar apriete de tuercas de varillaje de dirección

9 FRENOS DE SOL

- ✓ Revisar líquido en el reservorio remoto
- ✓ Drenar manualmente los tanques de aire
- ✓ Revisar presión de aire
- ✓ Drenar los tanques de aire

10 CHASIS

- ✓ Revisar pasamanos
- ✓ Revisar que el acceso a la cabina esté libre de aceite, grasa, combustible u otro material deslizante

11 SISTEMA HIDRÁULICO

- ✓ Revisar nivel de aceite
- ✓ Revisar visualmente las fugas
- ✓ Asegurarse que todas las funciones estén trabajando adecuadamente

12 MÁSTIL

- ✓ Revisar pervos de mástil
- ✓ Revisar visualmente rajaduras
- ✓ Revisar visualmente la cadena de levante

13 ACCESORIO PORTACONTENEDOR

- ✓ Inspeccionar visualmente las guías del *twistlock* que no tengan daño
- ✓ Inspeccionar mangueras de mástil, del accesorio y cables
- ✓ Revisar todos los movimientos y funciones

Fuente: Manual de mantenimiento Taylor

3.2.2. Diagnóstico en base a resultados obtenidos

Según el análisis de campo reflejado por los *check list* aplicado a la maquinaria de puerto se puede inferir que la maquinaria activa esta a un 53.57% de buen estado de sus distintos componentes y en un 46.43% de mal estado o de componentes con necesidad de reparación.

Los problemas se observan en fajas en mal estado, fugas de aceite en reservorios, mangueras, acoples y empaques, excesivas vibraciones debido a cargadores en mal estado. Problemas de encendido por bujías de precalentamiento en mal estado, mangueras de radiador rajadas, radiadores con fugas, bombas de agua con zumbido, rótulas o cabezales direccionales en mal estado, fugas en cilindros hidráulicos de giro, fugas en cuerpo de válvulas, fuga de líquido de frenos, juego de timón, luces y vidrios quebrados, alarma de retroceso en mal estado, medidor de temperatura de motor quebrado, cadenas de torre resacas y oxidadas, pintura en mal estado y metal con corrosión, carencia de engrase en graseras, tuercas de sujeción de ruedas incompletas, aros de rueda corroídos.

Tabla IX. Formato de revisión preventiva mensual

**EMPRESA PORTUARIA QUETZAL
GERENCIA DE INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO MECÁNICO
FORMATO DE REVISIÓN PREVENTIVA MENSUAL
EPS**

Fecha de revisión: _____
 Tipo de maquinaria: _____
 No. de máquina: _____
 Técnicos responsables: _____
 Nombre: _____ Código: _____
 Nombre: _____ Código: _____
 Nombre: _____ Código: _____
 Otros: _____ Código: _____
 _____ Código: _____

 Jefe de Sección de Maquinaria Pesada

 Responsable de la revisión:

| No. | Descripción | Estado | | % del estado |
|-----|---|--------|------|--------------|
| | | Bueno | Malo | |
| 1 | Aceitera (golpes, fugas, etc.) | | | |
| 2 | Inyectores (fugas, etc.) | | | |
| 3 | Culata(s) (fugas, recalentamientos) | | | |
| 4 | Filtro(s) de aire | | | |
| 5 | Filtro de aceite de motor | | | |
| 6 | Filtros de combustible | | | |
| 7 | Tuberías (s) de combustible (rotos, fugas, etc.) | | | |
| 8 | Cargadores (rotos, etc.) | | | |
| 9 | Tubo de escape | | | |
| 10 | Pedales (juego u otros) | | | |
| 11 | Radiador (fugas, nivel refrigerante, obstrucción del pana, etc.) | | | |
| 12 | Niveles de aceite (todos los reservorios) | | | |
| 13 | Color de gases de escape | | | |
| 14 | Compresión de motor (presión en <i>carter</i> , gases de retorno) | | | |
| 15 | Ruidos del motor y/o excesiva vibración | | | |
| 16 | Buñías de precalentamiento | | | |
| 17 | Funcionamiento del turbo (zumbido u otro) | | | |
| 18 | R.P.M. del motor en baja y alta potencia | | | |
| 19 | Mangueras del radiador | | | |
| 20 | Fajas en general (estao, tensión u otros) | | | |
| 21 | Ventilador del radiador | | | |
| 22 | Inspección visual del aceite (viscosidad, suciedad, etc.) | | | |
| 23 | Código de fallas (computadora e indicadores de tablero) | | | |
| 24 | Bomba de agua (fugas, ruidos, etc.) | | | |
| 25 | Mangueras de agua | | | |
| 26 | Bomba de inyección (fugas, dosificación) | | | |
| 27 | Cable del acelerador | | | |
| 28 | Observaciones | | | |

29 Sugerencias del operador: _____

El % del estado en que se encuentre lo antes descrito, se deberá tomar en un rango de 1% al 10%, el cual dará un margen de su deterioro (estado actual)

Fuente: Jefatura de Taller electromecánico.

3.2.3. Elaboración de un plan de mantenimiento específico para aplicación en maquinaria de Empresa Portuaria Quetzal

El plan de mantenimiento que se sugiere involucra todos los tipos de maquinaria que se maneja en Empresa Portuaria Quetzal. Deben involucrarse: la Junta Directiva, Gerencia General, Gerencia de Operaciones hasta personal de mantenimiento. Requiere una implementación programada y en un orden lógico. Es de recalcar que se debe crear una cultura global a nivel empresa de mantenimiento preventivo.

La propuesta formal es la siguiente:

- a) revisión rutinaria por parte del operador. Éste es un eslabón de mucha importancia ya que él tiene que hacer la inspección preliminar de la máquina antes de su turno de operación. Debe comunicar de una manera efectiva cualquier anomalía que detecte, por pequeña que sea, a la unidad de mantenimiento preventivo. El operador utilizará diariamente el formato de Revisión Diaria,
- b) la creación de un equipo de mantenimiento preventivo compuesto por 3 mecánicos con caja de herramientas. Deben poseer conocimiento y experiencia en maquinaria, con mucha iniciativa, muy analíticos y proactivos (previsores). El primero debe ser electromecánico. El segundo debe ser estudiante de ingeniería con perfil y conocimientos de mecánica, quien actuará y administrará la base de datos informática y en papel, manuales de taller y equipo especial de preventivo. Deberá

tramitar papelería para las compras. La base de datos deberá incluir información técnica de las máquinas, reparaciones por fecha, repuestos utilizados y observaciones. El tercero deberá ser un Ingeniero Mecánico o afín, con conocimientos de maquinaria, quien deberá hacer el presupuesto de repuestos, programar inventario de repuestos, planificar las inspecciones a las máquinas y reportar a Gerencia General,

- c) se contará con una oficina adecuada y funcional con teléfono, computadora, impresora, fax.
- d) se contará con manuales actualizados de maquinaria, equipo de diagnóstico mecánico que incluirá: estetoscopio con osciloscopio para motores, escáner con programas varios de maquinaria, analizador de gases, equipo de ultrasonido para detectar rajaduras y otras aplicaciones, equipo de líquidos penetrantes para detectar rajaduras superficiales, juego de manómetros para tomar presiones de aceite hidráulico,
- e) se tendrá un sistema fluido de compras para lo que se sugiere una caja chica de Q60,000.00 para hacer compras inmediatas con auditorías, de ser posible, diarias,
- f) los mecánicos tendrán que hacer inspecciones todos los días a las diferentes máquinas utilizando el *check list* propuesto, así como la lubricación en los diferentes puntos sugeridos una vez al mes a cada máquina. Debe hacer también muestreo de aceite de los diferentes compartimientos para determinar el desgaste interno y utilizar todo el equipo disponible para diagnóstico,
- g) alternamente y contando con el apoyo de repuestos se reparará toda la maquinaria que esté dañada en el Taller de

Maquinaria Pesada, la que posteriormente se incluirá en las inspecciones del mantenimiento preventivo,

- h) la interrelación del operador y la unidad de mantenimiento preventivo dará como resultado un control eficaz de la maquinaria y no permitirá dejar vacíos en el mantenimiento,
- i) es de hacer notar que el mantenimiento preventivo a la larga se convertirá en predictivo. Además siempre se seguirá llevando el mantenimiento periódico como complemento,
- j) es necesaria la capacitación constante para los mecánicos y para la dirección del mantenimiento en las diferentes marcas de maquinaria para estar actualizados con los diferentes sistemas, equipos de diagnóstico y para hacer las reparaciones según los lineamientos de los fabricantes,
- k) todo lo detectado por los mecánicos de mantenimiento preventivo debe ser trasladado al Taller de Maquinaria Pesada para proceder a las reparaciones y correcciones preventivas,
- l) cuando alguna falla ha sido muy repetitiva en algún sistema de alguna máquina el equipo preventivo podrá sugerir alguna modificación al sistema, la cual tendrá que analizar y autorizar el Ingeniero de Mantenimiento,
- m) el equipo preventivo puede hacer algunas reparaciones menores pero cuando haya que desmontar algún componente, se trasladará el problema a talleres.

CRONOGRAMA PARA LA IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

| ACCIÓN | TIEMPO | | | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 MES | 2 MES | 3 MES | 4 MES | 5 MES | 6 MES | 7 MES | 8 MES |
| Presentación de costos de reparación de maquinaria pesada y adquisición de repuestos mínimos para mantenimiento preventivo | █ | | | | | | | |
| Autorización de Junta Directiva y Gerencia General a los repuestos y caja chica de Q.60,000.00 | | █ | | | | | | |
| Reclutamiento del equipo de trabajo y creación de atribuciones y organigrama | | | █ | | | | | |
| Acondicionamiento de oficina | | | | █ | | | | |
| Adquisición de repuestos para reparación de maquinaria dañada en taller y para stock de preventivo | | | | █ | | | | |
| Impresión de formatos de mantenimiento preventivo | | | | █ | | | | |
| Creación de base de datos informática y en papel | | | | █ | | | | |
| Adquisición del equipo específico para mantenimiento preventivo | | | | █ | | | | |
| Adquisición de manuales de taller para maquinaria | | | | █ | | | | |
| Planificación inicial de mantenimiento preventivo | | | | █ | | | | |
| Desarrollo de mantenimiento preventivo | | | | █ | █ | █ | █ | █ |
| Análisis y evaluación de resultados | | | | | | | | █ |
| Presentación de resultados a Gerencia General | | | | | | | | █ |

3.2.4. Elaboración de inventario sugerido de repuestos para mantenimiento preventivo

El equipo de mantenimiento deberá tener en su área de trabajo que se les asigne, anaqueles con algunos repuestos que pueden ser cambiados sin emplear más allá de 1 hora. Por lo que son reparaciones menores, que se pueden hacer como parte de la inspección, cabe recalcar que esto involucra también tener en stock aceites para los diferentes reservorios, líquido de frenos, líquido refrigerante, grasa, *wipe*.

El presente inventario es general para toda la maquinaria y no individual por lo que no se incluyen números de parte, sólo las cantidades mínimas.

Inventario sugerido

| CANTIDAD | REPUESTO | QUETZALES |
|-----------------|--|------------------|
| 10 | Filtro de aire | 2,500.00 |
| 10 | Filtro de aceite | 4,500.00 |
| 10 | Filtro de combustible | 4,000.00 |
| 10 | Trampa de agua | 2,500.00 |
| 10 | Filtro de transmisión | 2,500.00 |
| 10 | Filtro hidráulico de retorno | 2,500.00 |
| 5 | Faja de alternador | 400.00 |
| 5 | Faja de compresor de A/C | 600.00 |
| 5 | Faja de bomba de dirección | 600.00 |
| 2 | Manguera de entrada al radiador | 160.00 |
| 2 | Manguera de salida del radiador | 250.00 |
| 2 | Manguera superior cilindro dirección | 500.00 |
| 2 | Manguera inferior cilindro direccion | 500.00 |
| 2 | Manguera superior cilindro levante | 900.00 |
| 2 | Manguera inferior cilindro levante | 900.00 |
| 2 | Manguera superior cilindro inclinación | 600.00 |
| 2 | Manguera inferior cilindro inclinación | 600.00 |
| 2 | Manguera superior cilindro accesorios | 700.00 |
| 2 | Manguera inferior cilindro accesorios | 700.00 |
| 2 | Empaque de aceitera | 350.00 |
| 8 | Candelas de precalentamiento | 640.00 |
| 2 | Bomba de agua | 700.00 |
| 2 | Cable de aceleración | 900.00 |
| 2 | Cable <i>clutch</i> (camiones) | 1,000.00 |
| 2 | Juego fricciones pastillas | 1,500.00 |
| 2 | Juego fricciones zapatas | 3,000.00 |
| 2 | Retenedores de bufa | 350.00 |
| 2 | Cojinetes de bufa | 750.00 |
| 8 | Fusibles | 16.00 |
| 2 | Medidor de temperatura | 90.00 |
| 2 | Medidor de carga | 90.00 |
| 2 | Medidor de combustible | 90.00 |

| | | |
|-----|--|-----------|
| 2 | Horómetro | 120.00 |
| 8 | Bombillas de 12 voltios | 20.00 |
| 8 | Bombillas de Halógeno | 320.00 |
| 2 | Juegos de sellos de bomba auxiliar de frenos | 200.00 |
| 2 | Kit de bomba central de frenos | 950.00 |
| 8 | Cargadores de escape | 200.00 |
| 8 | Terminales de batería de plomo | 64.00 |
| 8 | Juego plumillas para parabrisas | 360.00 |
| 350 | Tornillos (medidas varias) | 2,800.00 |
| 2 | Polea de alternador | 400.00 |
| 2 | Polea de cigüeñal | 800.00 |
| 2 | Faja de tiempo | 400.00 |
| 350 | Arandelas de presión | 350.00 |
| 350 | Tuercas | 525.00 |
| 2 | Cruces para transmisión | 700.00 |
| 2 | Tubos de paso de combustible | 900.00 |
| 25 | <i>Fitting</i> para grasera | 75.00 |
| 50 | O-ring (varias medidas) | 400.00 |
| | Total | 44,970.00 |

Lubricantes:

| CANTIDAD | REPUESTO | QUETZALES |
|-----------------|--|------------------|
| 3 | Cubeta de 5 galones de aceite de motor 20W40 | 1,875.00 |
| 3 | Cubeta de 5 galones de aceite de transmisión | 2,625.00 |
| 5 | Cubeta de 5 galones de aceite hidráulico | 3,500.00 |
| 5 | Litros líquido de frenos | 375.00 |
| 3 | Cubetas de 25 libras de grasa | 1,350.00 |
| 5 | Pomos de silicón rojo | 175.00 |
| 50 | Libras de <i>wipe</i> | 400.00 |
| | Total | 10,300.00 |

Total Repuestos y Lubricantes 55,270.00

3.2.5. Resultados obtenidos

Si se realiza un estimado de los gastos emanados del plan de mantenimiento preventivo se obtiene:

a. Personal de mantenimiento

| | | |
|-----------------------------|------------------------|------------|
| 2 mecánicos | Q3,500.00 c/u al mesx2 | Q7,000.00 |
| 1 electromecánico | Q3500.00 c/u al mes | Q3,500.00 |
| | | Q10,500.00 |
| | | |
| 1 estudiante de ingeniería | Q4,250.00 | Q4,250.00 |
| 1 ingeniero con experiencia | Q7,500.00 | Q7,500.00 |
| | Total | Q22,250.00 |

b. Equipo de oficina

| | |
|--|------------|
| 1 computadora nueva (clon) | Q6,500.00 |
| 1 impresora de matriz | Q650.00 |
| 1 anaquel para manuales | Q1,500.00 |
| 1 máquina de fax | Q2,500.00 |
| 1 software de mantenimiento con base de datos | Q15,000.00 |
| 1 archivo de 3 gavetas metálico | Q950.00 |
| 3 escritorios con su respectiva silla cada uno | Q2,500.00 |
| 1 aparato telefónico | Q450.00 |
| 10 manuales | Q15,500.00 |
| | Q45,600.00 |

c. Equipo de diagnóstico

| | | |
|--|------------|------------|
| 1 equipo de escáner | Q12,500.00 | |
| 1 analizador de gases | Q15,500.00 | |
| 1 equipo portátil de ultrasonido | Q7,000.00 | |
| 1 estetoscopio con osciloscopio | Q9,500.00 | |
| 1 juego de manómetros para pruebas hidráulicas | Q3,500.00 | |
| 1 manómetro para compresiones de motor | Q550.00 | |
| | Total | Q48,550.00 |

Total de costos de mantenimiento preventivo.

Personal de preventivo + equipo de oficina + equipo de diagnóstico + repuestos y lubricantes

$$Q22,250.00 + Q45,600.00 + 48,550.00 + 55,27'0 = Q171,670.00$$

Si comparamos los costos iniciales de mantenimiento preventivo con los costos promedio de mantenimiento periódico más el mantenimiento correctivo tenemos:

Mantenimiento periódico mensual +
Mantenimiento correctivo = costo total mensual taller de maquinaria pesada

$$Q132,897.61 + Q46,559.68 = Q 179,457.29$$

Costo total mensual Taller – total costos de mantenimiento preventivo

$$Q179,457.29 – Q171,670.00 = Q7,787.29$$

Este resultado denota que aún es más caro el mantenimiento correctivo y periódico que se está haciendo en la actualidad que la inversión inicial del mantenimiento preventivo.

3.3. Instruir sobre el sistema de mantenimiento a operadores y mecánicos de Empresa Portuaria Quetzal

Se le dio una plática inductiva de 8:00 a 12:00 a un grupo de operadores y a un grupo de mecánicos a quienes autorizaron considerando el hecho de que el turno no se puede quedar sin personal, por lo que se asignaron 8 mecánicos y 7 operadores. El efecto fue de cierta desconfianza al principio y, luego, fueron aceptando las evidencias. La plática fue encaminada hacia los beneficios a mediano plazo del mantenimiento preventivo, de cómo es importante una buena operación, que sea efectiva y del futuro del puerto en base a un buen servicio a las navieras y clientes. Los mecánicos aceptaron el hecho de que las máquinas requieren un mayor cuidado para estar activas.

Los nombres de los mecánicos y operadores que asistieron a la plática fueron los siguientes:

MAQUINARIA PESADA

| No. | Nombre | Código |
|------------|----------------------------------|---------------|
| 1. | Erick Eduardo Sijes | 1774 |
| 2. | Héctor René Gudiel Yanes | 1803 |
| 3. | Leonardo Marroquín Hernández | 1407 |
| 4. | Oscar Arturo Galindo Hurtarte | 1334 |
| 5. | Wilder Estib Marroquín Hernández | 1849 |
| 6. | Cristian Geovany Galindo Reyes | 1915 |
| 7. | Cristian Barrientos Paniagua | 1965 |
| 8. | Filiberto Aníbal Cristales | 1377 |

OPERADORES

| No. | Nombre | Código |
|------------|------------------------------------|---------------|
| 1. | Fredy Amilcar Boteo Fajardo | 1871 |
| 2. | Fredy Antonio Aguilar | 1752 |
| 3. | Guillermo Estuardo Morales Ramírez | 1726 |
| 4. | Hermenegildo Hernández López | 1345 |
| 5. | José Alfredo Flores Melgar | 1684 |
| 6. | José Humberto Guerra Chávez | 1593 |
| 7. | José Luis López Linares | 1929 |

CONCLUSIONES

1. Empresa Portuaria Quetzal posee gran debilidad en cuanto a la buena conservación de la maquinaria, pues, se podría extender mucho más la misma con una buena programación del mantenimiento, siempre y cuando se tenga la responsabilidad en el buen funcionamiento de la misma y los cuidados necesarios.
2. En la portuaria existe un mantenimiento correctivo deficiente, en principio por el hecho de una mala actitud del operador, que incurre en negligencia por una mala operación y maltrato de la maquinaria. Luego, los mecánicos muestran negligencia a la hora de las reparaciones sin tener el concepto de la urgencia. Además, el largo proceso burocrático, la inconciencia en la premura de la adquisición de repuestos y el desconocimiento del tema por parte de algunas personas involucradas en la autorización de las solicitudes y órdenes de compra lo que muchas veces no permite contar con los repuestos en un buen período de tiempo.
3. Muchas máquinas se dan de baja prematuramente por lo engorroso de la adquisición de repuestos. Luego se da un largo período de estancia en el taller, además, por el ambiente salino tan hostil se dañan otros componentes que no estaban dañados originalmente. Luego, se empiezan a canivalizar las máquinas para dotar de repuestos a otras máquinas que no tengan daños tan severos. Todo esto redundando en costos de reparación altísimos y fuera de presupuesto que hacen más viable el dar de baja las máquinas.

4. Con la propuesta de mantenimiento preventivo que se enuncia en este trabajo se pueden minimizar los tiempos muertos o de inactividad de la maquinaria, reduciendo costos inmensos de mantenimiento correctivo con lo que se pueden generar mayores dividendos a través de un servicio y atención eficiente a los buques y sus mercancías (cliente) siempre y cuando haya apoyo por parte de las autoridades de la portuaria.

5. Los métodos de diagnóstico actuales son empíricos, poco profesionales e imprácticos y no permiten llegar a fondo en la investigación de fallas, por lo que en las reparaciones muchas veces no se ataca la fuente u origen del problema.

RECOMENDACIONES

1. Al Gerente general.

- Crear una cultura de mantenimiento preventivo generada por Gerencia general, ésta deberá involucrar todas las áreas de la portuaria y, por supuesto, talleres y operaciones, esto garantizará que todas las áreas apoyen la buena conservación de la maquinaria.
- Crear un mecanismo que garantice la adquisición de repuestos de una calidad y precio aceptables para la maquinaria en un tiempo lógico, siempre que se justifique la adquisición de los mismos, esto para reparar y tener en buen funcionamiento la maquinaria.
- Apoyar en la creación de un equipo de mantenimiento preventivo para que éstos analicen y programen el mantenimiento que la maquinaria requiere, lo cual evitará el empirismo en el mantenimiento.

2. Al Jefe de Departamento de capacitación.

- Certificar a los operadores para que operen las máquinas con eficiencia, conocimiento de la máquina y seguridad, para que redunde en el buen uso y conservación de la maquinaria.
- Dar capacitación a los mecánicos sobre los sistemas específicos de la maquinaria para que la conozcan mejor y no la dañen por desconocimiento, inclusive, trayendo técnicos expertos de la fábrica de la diferente maquinaria desde el extranjero.

3. Al Jefe de talleres.

- Adquirir equipo de diagnóstico de líquidos penetrantes, ultrasonidos, manómetros hidráulicos, estetoscopio. Hacer pruebas de aceite de los diferentes compartimientos. Todo esto con el fin de hacer diagnósticos acertados, profesionales, esto dará los parámetros para comprar los repuestos acertados.

4. Al Jefe de compras.

- Comprar repuestos originales y/o equivalencias de buena calidad que satisfagan los requerimientos de operación y funcionamiento de la maquinaria, esto en el menor tiempo posible. Además, cuando surjan dudas, pedir apoyo al personal de talleres, para evitar comprar repuestos equivocados que, incluso, podrían dañar componentes completos.

BIBLIOGRAFÍA

Theodore Baumeister, Eugene A. Avallove, Theodore Baumeister III. **Marks manual del ingeniero mecánico**. México: Editorial Mc Graw Hill Interamericana de México, S. A. de C. V, 1992 P 5-75; P 6-106.

Fábrica de Motoelevadoras Taylor. **Manual de mantenimiento Taylor para máquina modelo tec.155H, serie 30969** Estados Unidos: Taylor *machine* Works, Inc, Rev. 1997 P 5,1-2; P 6, 1-2; P 22, 1-4

Comisión Portuaria Nacional, Centro Trainmar Guatemala. **Guía práctica de mantenimiento**. Guatemala: Comisión Portuaria Nacional Rev. 2004 P 1, 6-9; P2, 3 – 7 – 10 – 12, P 3, 1 – 2 – 4 – 6; P4, 6 – 9 – 14.

Comisión Portuaria Nacional. Centro Trainmar Guatemala. **Curso básico operativo portuario**. Guatemala: Comisión Portuaria Nacional, Rev. 2005 P 1, 4 – 5 – 6; P2, 8 – 12 – 15; P5, 9 – 11 – 10; P6, 4 – 10 – 12.

Prof. Giovanni Flaus Koenig. **Enciclopedia de la ciencia y de la técnica**. España: Ediciones Danae, S. A. Edición 1977 P1, 22 – 50 – 70; P2, 120 – 145 – 160; P3, 325 – 327 – 332.