

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**“Implementación de gestión de backlogs y estrategia de PM 8
pasos para mejorar la disponibilidad de una flota de 50
tractocamiones en un terminal portuario”**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título
profesional de Ingeniero Mecánico**

AUTOR

Luis Alberto Herrera Valero

ASESOR:

José Enrique Apaza Nina

Lima, febrero, 2021

RESUMEN

Los terminales portuarios cuentan con diferentes familias de máquinas para realizar el traslado de contenedores y otros bienes que se movilizan a través de buques de carga (aceites, granos, productos semiprocados, partes de maquinarias, etc.); es por ello que el mantenimiento de los equipos presentes en la instalación portuaria es fundamental para que las operaciones de carga y descarga no se vean afectadas y poder entregar a tiempo los bienes al cliente final.

Una de las principales actividades en un terminal portuario es la carga y descarga de contenedores, donde los equipos involucrados son grúas, elevadores de contenedores y tractocamiones para traslado interno de contenedores. El mayor número de equipos en esta familia son los tractocamiones debido a que su flexibilidad y velocidad de operación permite realizar más traslados de contenedores dentro del terminal.

En el presente trabajo se mostrará la aplicación de dos estrategias de mantenimiento para una flota de 50 tractocamiones en un terminal portuario con la finalidad de aumentar la disponibilidad de 89%. La primera estrategia es la implementación de registro de backlogs en las actividades de mantenimiento para presentar las actividades pendientes y constantes en los equipos; de esta manera se aplicaron mejoras, modificaciones y contramedidas en el plan de mantenimiento para reducir el número de fallas. La segunda estrategia es la aplicación de PM 8 pasos, para reducir los tiempos de las diferentes frecuencias de mantenimiento y mantener un tiempo de estándar de actividades preventivas con la finalidad de obtener un espacio dentro de la estadía del equipo en el taller para realizar actividades pendientes en el backlog del equipo.

Como resultado de aplicación de estas estrategias se obtuvo una mejora en la disponibilidad de los equipos, llegando a un mínimo de 90% en los meses posteriores a la aplicación de ambas estrategias. También se mejoró en los tiempos de atención de los equipos y se redujo el número de fallas semanales. Otro resultado que se pudo obtener fue una mejor gestión en los repuestos críticos de esta familia de equipos y un futuro cálculo de ciclo de vida de componentes y servicios de reparación.

DEDICATORIA



A mis padres, por su incondicional apoyo en mi formación profesional y ser el mayor motor para poder alcanzar mis metas. A mis profesores, compañeros, amigos y todos los que estuvieron alrededor desde el comienzo hasta hoy.

ÍNDICE

RESUMEN	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE.....	III
INDICE DE TABLAS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1. Presentación del entorno de aplicación del estudio	3
1.2. Clases de operación dentro de un terminal portuario	3
1.3. Equipos empleados para el traslado de contenedores en una instalación portuaria	5
1.4. Tractocamiones portacontenedores.....	9
1.4.1. Tipos de tractocamiones	9
1.4.2. Subsistemas presentes en un tractocamión de motor de combustión interna	9
1.4.3. Tractocamiones Kalmar modelo Ottawa	12
CAPÍTULO II: PRESENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.....	13
2.1. Definición de mantenimiento.....	13
2.1.1. Tipos de mantenimiento.....	13
2.1.2. Principales indicadores de mantenimiento	15
2.2. Estrategias de mantenimiento	17
2.3. Estrategia de gestión de backlogs.....	18
2.3.1. Definición de backlog	18
2.3.2. Clasificación y control de backlog.....	19
2.4. Gestión de mantenimiento con la estrategia de PM 8 pasos	20
2.4.1. Definición.....	20
2.4.2. Control de estrategia	21
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO EN LA GESTIÓN DE LA FLOTA DE EQUIPOS	22
3.1. Aplicación de gestión de backlog.....	22
3.1.1. Antecedentes.....	22

3.1.2.	Clasificación de la data	23
3.1.3.	Resultados	23
3.2.	Aplicación de PM 8 pasos	25
3.2.1.	Antecedentes.....	26
3.2.2.	Desarrollo de evaluación y selección de actividades.....	27
3.2.3.	Resultados	28
CONCLUSIONES		34
RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.....		35
BIBLIOGRAFÍA.....		36
ANEXO A.....		37
ANEXO B.....		48



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos técnicos de tractocamión	12
Tabla 2 Cuadro de niveles de integración de planeamiento.....	18
Tabla 3 Distribución de tiempos de mantenimiento.....	28
Tabla 4 Distribución de tiempos de actividades modificadas	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Instalación portuaria.....	3
Figura 2 Desembarque de contenedores	4
Figura 3 Desembarque de carga rodante.....	4
Figura 4 Descarga de bobinas de acero	5
Figura 5 Descarga de carga líquida	5
Figura 6 Grúas Pórtico.....	6
Figura 7 Grúas RTG	7
Figura 8 Apiladores de contenedores	7
Figura 9 Apiladores de contenedores de vacíos	8
Figura 10 Tractocamión y carreta acoplados	8
Figura 11 Transmisión y bomba PTO (en rojo) acopladas	10
Figura 12 Quinta rueda antes y luego de accionar cilindros hidráulicos	11
Figura 13 Sistema de alimentación neumática de asiento de operador	11
Figura 14 Tractocamión Ottawa T2.....	12
Figura 15 Rebobinado de motor eléctrico	13
Figura 16 Cambio de rodamientos.....	14
Figura 17 Toma de muestra de aceite para análisis.....	14
Figura 18 Niveles de mantenimiento.....	15
Figura 19 Distribución física del tiempo en un equipo	16
Figura 20 Diagrama de flujo de gestión de backlogs.....	20
Figura 21 Distribución tradicional vs distribución con 8 pasos.....	21
Figura 22 Registro en base de datos de backlogs	23
Figura 23 Backlogs durante primeras tres semanas	24
Figura 24 Resultad de aplicación de backlogs	25
Figura 25 Evolución de aplicación de backlogs.....	25
Figura 26 Disponibilidad de la flota antes de PM 8 pasos [Elaboración propia].....	26
Figura 27 Distribución de mantenimiento no modificado [Elaboración propia].....	27
Figura 28 Distribución de mantenimiento modificado [Elaboración propia].....	29
Figura 29 Disponibilidad de la flota luego de PM 8 pasos [Elaboración propia].....	29
Figura 30 Contraste entre ratio PM/CM 2019 vs 2020 [Elaboración propia].....	30
Figura 31 Evolución de ratio PM/CM desde la implementación de la gestión [Elaboración propia].....	30
Figura 32 Mejora en la precisión del mantenimiento de una muestra de equipos [Elaboración propia].....	30
Figura 33 Evolución de MTBF luego de aplicar PM 8 pasos [Elaboración propia].....	31
Figura 34 Comparación de la distribución lineal de costos de materiales en el período de enero-junio [Elaboración propia]	32
Figura 35 Comparación de la distribución acumulada de costos en el período de enero- junio [Elaboración propia]	32
Figura 36 Reducción del costo de mantenimiento por movimiento de contenedor durante Octubre (2019) - Agosto (2020)	33

INTRODUCCIÓN

Una de las numerosas ventajas de la globalidad para los países en pleno desarrollo económico es que su flujo comercial se ve incrementado y el transporte de mercancías es el principal medio de intercambio monetario. Las distintas formas de transportar las mercancías se pueden dar de forma terrestre, aérea, pluvial y marítimo; esta última es una de las más económicas y utilizadas (cerca del 80% del transporte mundial) cuando se trata de grandes distancias entre el emisor y destinatario de la carga. Es así como al aumentar el transporte de mercancías en buques cargueros los países se ven obligados a edificar puertos en lugares estratégicos para generar mayores ingresos y posibilidades de abrir nuevos mercados a nivel mundial.

La construcción de un terminal portuario e iniciar sus operaciones implica la ejecución de otras actividades anexas, una de ellas es el mantenimiento de los equipos incluidos en la instalación portuaria (maquinaria e infraestructura). La finalidad de realizar actividades de acondicionamiento, conservación y reparación en los activos de un terminal portuario permiten que las operaciones no se vean afectadas por una reducción en la eficiencia de la maquinaria, paradas intempestivas, o desgaste de los componentes. La gestión del mantenimiento es fundamental para poder garantizar el funcionamiento adecuado de los activos, existen diferentes estrategias y herramientas orientadas a una actividad o inconveniente presente durante la operación de los equipos.

En el presente trabajo, se presenta una flota de 50 tractocamiones utilizados en un terminal portuario para el traslado interno de contenedores, esta familia de equipos tiene una disponibilidad técnica mensual por debajo del objetivo del área de mantenimiento y se desea incrementar ya que la demanda de equipos para las operaciones está en aumento y constantemente se tienen inconvenientes de falta de equipos para cubrir la demanda.

Por lo mencionado anteriormente el objetivo del presente trabajo es la implementación de dos estrategias básicas en la gestión del mantenimiento como son: la gestión de backlogs y el PM 8 pasos. El primero refiere a registrar, identificar y actuar frente a las actividades de reparación y conservación de los diferentes componentes de los tractocamiones, también de visualizar el número de personal y repuestos necesarios para poder brindar la disponibilidad requerida de los equipos. La segunda se enfoca en la gestión de las actividades de mantenimiento de los equipos, se trata de estandarizar los tiempos con el fin de tener un espacio disponible para poder las actividades

pendientes y acumuladas en el backlog. Además, los objetivos específicos presentados son:

- Mejorar la confiabilidad de los equipos con la implementación del proceso de administración de backlogs y así aprovechar su ejecución en las ventanas de oportunidad del mantenimiento preventivo en el menor tiempo posible.
- Definir un listado mínimo de recursos requeridos y el uso eficiente de estos para garantizar una correcta performance de los equipos.
- Considerar que la estandarización de las actividades de mantenimiento para poder alcanzar una homogeneidad en los tiempos de ejecución y uso de los recursos en los mantenimientos preventivos son esenciales para un manejo efectivo de la flota de equipos.



CAPÍTULO I: Planteamiento del estudio

1.1. Presentación del entorno de aplicación del estudio

De acuerdo con la ley N° 27943 “Ley del Sistema Portuario Nacional”, un terminal portuario se define como:

“Unidad operativa de un puerto, habilitada para proporcionar intercambio modal y servicios portuarios; incluye la infraestructura, las áreas de depósito transitorio y las vías internas de transporte”

Dentro de la misma ley se puede encontrar la definición de una instalación portuaria:

“Obras civiles de infraestructura, superestructura, edificación o conducción o construcciones y dispositivos eléctricos, electrónicos, mecánicos o mixtos, destinados al funcionamiento específico de los puertos y terminales y de las actividades que en ellos se desarrollan”



Figura 1 Instalación portuaria

Tomado de “Más que ingeniería”, por Amador Ángel, 2017.
<https://masqueingenieria.com/blog/que-es-una-terminal-portuaria/>

Es así como podemos concluir que un terminal portuario es la zona donde se realizan las operaciones de carga y descarga desde los buques en los muelles; mientras que la instalación portuaria comprende los activos que permiten que se desarrollen las operaciones y actividades dentro del terminal portuario. En el presente trabajo se expondrá el análisis de la gestión de mantenimiento aplicada en los activos que forman parte de una familia de equipos de 50 unidades en una instalación portuaria para una de las operaciones más importantes como es el traslado de contenedores dentro del terminal portuario.

1.2. Clases de operación dentro de un terminal portuario

El rubro de operaciones de un terminal portuario está destinado a las actividades comerciales de transporte de mercancías de importación y exportación, como también

el transporte de pasajeros; donde los medios de transporte son distintas embarcaciones pertenecientes a líneas navieras. Las operaciones realizadas en un puerto se pueden clasificar de la siguiente manera según el tipo de carga que manejan:

- Carga de contenedores: es la principal actividad que se realiza dentro de un terminal portuario; comprende la carga, descarga y transbordo de contenedores de 20 y 40 pies, contenedores refrigerados y convencionales. También se debe de considerar el traslado interno de contenedores, esta actividad se realiza con apiladores y tractocamiones pertenecientes a la instalación portuaria.

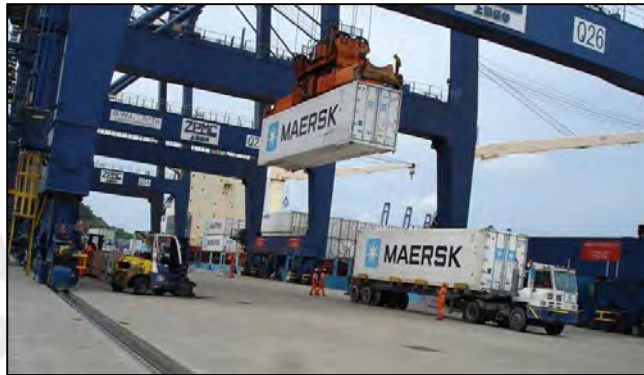


Figura 2 Desembarque de contenedores

Tomado de “APM Terminals”, setiembre 2020

<https://www.apmterminalscallao.com.pe/default.aspx?id=109&articulo=318>

- Carga rodante: en esta actividad se encuentran los vehículos y maquinaria autopropulsada o que puede ser trasladada sobre plataformas y tráileres adecuados para esta operación.



Figura 3 Desembarque de carga rodante

Tomado de “APM Terminals”, setiembre 2020

<https://www.apmterminalscallao.com.pe/default.aspx?id=109&articulo=318>

- Carga fraccionada: se considera a la materia prima inicial y semiprocesada, cemento, sal, urea en bolsones (big bags); productos de acero como bobinas,

perfiles, planchas, tuberías; bienes inmuebles como yates, equipo industrial y maquinaria.



Figura 4 Descarga de bobinas de acero

Tomado de “APM Terminals”, setiembre 2020

<https://www.apmterminalscaillao.com.pe/default.aspx?id=109&articulo=318>

- Carga a granel: tiene una subdivisión las cuales son: sólidos y líquidos. En las cargas sólidas se encuentran productos a granel como los cereales, granos, fertilizantes, cemento, roca caliza, piedra fosfórica, cal y minerales. La carga líquida comprende petróleo, gasolina, aceites, biocombustible, GNV, GLP y químicos diversos.



Figura 5 Descarga de carga líquida

Tomado de “ELAFLEX”, setiembre 2020

<https://elaflex.de/en/news/marine-bunkering-and-cargo-hoses>

1.3. Equipos empleados para el traslado de contenedores en una instalación portuaria

Como se mencionó anteriormente, una de las operaciones más importantes dentro de un terminal portuario es la carga, descarga y traslado interno de contenedores; para realizar esta actividad se considera principalmente el uso de 5 familias de máquinas:

- Grúas Pórtico (STS)

Las grúas pórtico o ship-to-shore, por sus siglas en inglés, son la familia de equipos que se encargan de embarque y desembarque de contenedores entre el buque y el terminal portuario. Son máquinas eléctricas y usan un sistema de cables y poleas para el traslado de contenedores, trabajan en paralelo con otras máquinas en diferentes bodegas de los buques.



Figura 6 Grúas Pórtico

Tomado de “RED SEA GATEWAY TERMINAL”, setiembre 2020
<https://rsgt.com/?p=15578>

- Grúas para contenedores sobre neumáticos

Estas grúas son usadas para la carga de contenedores apiladas en el terminal portuario hacia los tractocamiones o para el traslado del contenedor de una zona a otra en línea recta. También llamadas RTG (Rubber Tire Gantry), por sus siglas en inglés, indica que su desplazamiento es por el movimiento de neumáticos de caucho, su alimentación energética puede ser eléctrica, con la ayuda de un acoplamiento eléctrico, o por un grupo generador propulsado por un motor de combustión interna.



Figura 7 Grúas RTG

Tomado de “Nucleon Crane Company”, setiembre 2020
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/strong-4-wheels-container-lifting-gantry-crane-60726843036.html>

- Apiladores de contenedores

Esta familia de equipos se encarga de trasladar, cargar y descargar los contenedores (llenos o vacíos) dentro del terminal portuario o hacia un camión. Su propulsión y funcionamiento se debe al accionamiento de un motor de combustión interna y sistema hidráulico respectivamente.



Figura 8 Apiladores de contenedores

Tomado de “Transporte de carga”, setiembre 2020
<https://www.pinterest.com.mx/pin/498562621245334002/>

- Apiladores de contenedores vacíos

Estos equipos cumplen la misma función que la familia anterior, la diferencia se debe a que su diseño permite solo la operación con contenedores vacíos.



Figura 9 Apiladores de contenedores de vacíos

Tomado de “Taylor International”, setiembre 2020

<https://www.taylorintl.com/es-mx/general-category.php?group=Container%20Handler>

- Tractocamiones portacontenedores

También llamados camiones de terminal, esta familia de equipos es la que presenta un mayor valor de utilización y número de horas recorridas diarias debido a que el costo de traslado es más económico por tener un menor consumo de combustible y costo de operación en comparación con otras familias de equipos como los apiladores y grúas RTG al interior del terminal. Consta de dos partes: el tractocamión (propulsión) y la carreta, esta última es una estructura acondicionada para amortiguar un contenedor de 40 pies o 2 de 20 pies.



Figura 10 Tractocamión y carreta acoplados

Tomado de “Port Strategy”, setiembre 2020

<https://www.portstrategy.com/news101/port-operations/cargo-handling/Emissions-drive-tractor-development-agenda>

1.4. Tractocamiones portacontenedores

Los tractocamiones son los equipos que se encuentran en mayor cantidad en un terminal portuario, debido a que trasladan los contenedores con mayor velocidad y su configuración permite traslados en zonas de difícil acceso para el resto de equipos. Una relación que normalmente se maneja en los terminales portuarios es que por cada grúa pórtico en operación debe de haber siete tractocamiones disponibles para operar con dicho equipo. Esto implica que para una alta demanda de operaciones que involucre un máximo volumen de movimientos de contenedores, la gestión en el mantenimiento de los tractocamiones debe permitir tener una disponibilidad que no retarde las operaciones de descarga y salida de los buques, ya que existen penalidades por incumplir tiempos de operación y genera una reprogramación en cadena de los atraques de los siguientes buques.

1.4.1. Tipos de tractocamiones

Se pueden clasificar según la procedencia de su sistema de energía de propulsión para la operación. Actualmente se pueden encontrar cuatro diferentes configuraciones para la propulsión de estos equipos:

- Motor de combustión interna: son los modelos convencionales de estos equipos, desde el motor se realizan las derivaciones para realizar las funciones hidráulicas y mecánicas de traslado del equipo.
- Eléctrico: la alimentación de estos equipos se deben a la carga de dos baterías de 220 voltios y salida de 12v con una potencia de hasta 107 kWh.
- Híbrido Eléctrico: Plug-in Hybrid Electric Terminal Tractor (PHETT), por sus siglas en inglés, como dice su nombre combina el funcionamiento de un motor de combustión conectado con un generador eléctrico que alimenta un acumulador eléctrico. Permiten ahorrar hasta un 34% de consumo de combustible y reducir el impacto de contaminación al medio ambiente disminuyendo en 56% el material particulado y 53% de CO.
- Híbrido Hidráulico: este tipo de tractocamiones combina la potencia de dos motores: uno de combustión interna que acciona una bomba hidráulica en acumuladores y luego, según lo requiera el equipo, se descarga el fluido hidráulico propulsando un motor hidráulico. La configuración de este híbrido permite ahorrar un 20% en consumo de combustible y 50% de reducción en emisiones de NOx.

1.4.2. Subsistemas presentes en un tractocamión de motor de combustión interna

De acuerdo con lo presentado anteriormente, las nuevas tecnologías de sistemas de

propulsión de tractocamiones se encuentran aún en la etapa inicial de aplicación y algunas como el caso de las PHETT en fase de prueba lo que hace difícil su aplicación por necesitar una mayor capacitación de personal y presentar repuestos que no pueden ser adquiridos de forma inmediata. La empresa TIAX realizó una comparación en el comportamiento entre modelos de tractocamiones de motor diesel e híbridos, donde el resultado demostró que los tractocamiones híbridos presentaban un ahorro cerca del 30% en el consumo de combustible pero en cuanto a las emisiones de NOx, material particulado y CO la diferencia no era considerable incluso en algunos casos el modelo de motor diesel presentaba una menor cantidad de emisiones. Es por ello que actualmente los modelos de tractocamiones convencionales con motor diésel siguen siendo usados en los terminales portuarios.

Para la gestión de esta flota de los tractocamiones se debe de conocer los subsistemas que esta máquina tiene y las actividades de mantenimiento que se deben de realizar a una frecuencia recomendada por el fabricante y también por el resultado de análisis de comportamiento de los equipos. Así se tienen los principales subsistemas:

- Transmisión: luego del motor de combustión interna, este es el siguiente componente más importante en un tractocamión porque es el que distribuye la potencia generada en el motor hacia otros subsistemas; como es el hidráulico con la bomba de toma rápida (PTO) y a la propulsión con el conjunto diferencial.



Figura 11 Transmisión y bomba PTO (en rojo) acopladas

Tomado de “RV Chassis Parts”, setiembre 2020

<https://rvchassisparts.visionerv.com/cgi-bin/md/M120296/s1.pl>

- Hidráulico: este subsistema está compuesto principalmente por un tanque de aceite hidráulico, bomba PTO y dos cilindros hidráulicos que se encargan de elevar la plataforma de la 5ta rueda donde se acopla el remolque del tractocamión y pueda trasladar la carga.



Figura 12 Quinta rueda antes y luego de accionar cilindros hidráulicos

Tomado de “BAS Trucks”, setiembre 2020

https://www.bastrucks.com/vehicles/used/terminal_tractor-terberg--2015-4x2-euro_-70124794

- Eléctrico: se considera que es el subsistema más sensible ya que la mayor parte se encuentra en la cabina del operador; de no seguirse con tareas de mantenimiento periódico existe el riesgo de cortocircuito a su interior exponiendo la vida del operador. Todo el sistema trabaja a 12 voltios y se controlan la mayoría de funciones a excepción de la elevación de la cabina. Alimenta a las luces de freno del remolque a través de un cable extendible que se acopla de la misma forma que las mangueras de aire para los frenos.
- Neumático: este subsistema está alimentado por un compresor de pistón recíprocante acoplado al motor de combustión interna. El sistema trabaja a una presión de 120 psi y mantiene un mínimo de 70 psi en los tanques neumáticos. Se encarga de alimentar el sistema de suspensión de la cabina, asiento de operador, los pulmones de freno (zapatillas en puente delantero y posterior) y alimentar los pulmones de freno del remolque.

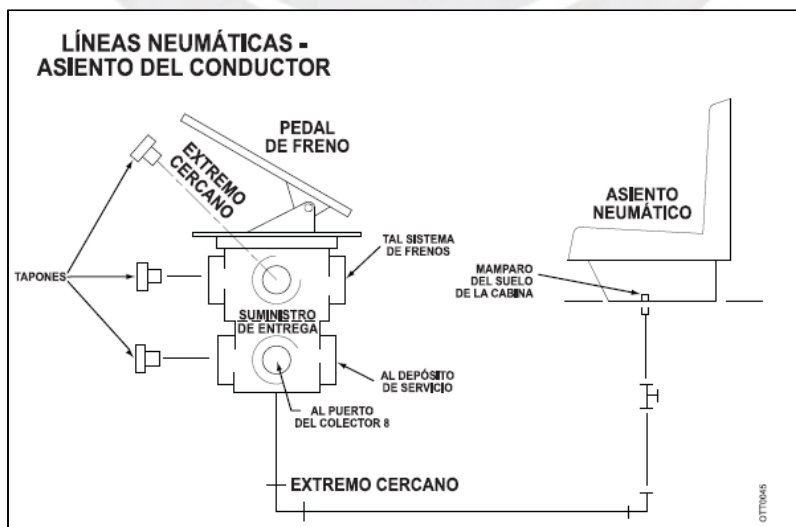


Figura 13 Sistema de alimentación neumática de asiento de operador

Tomado de “Manual Kalmar Ottawa T2”, noviembre 2016

1.4.3. Tractocamiones Kalmar modelo Ottawa

En el presente trabajo se aplicará dos herramientas de estrategia de mantenimiento para una flota de 50 tractocamiones Kalmar modelo Ottawa, los cuales presentan subfamilias de equipos dependiendo de su año de fabricación. De forma general estos tractocamiones presentan las siguientes especificaciones:

Tabla 1 Datos técnicos de tractocamión

Sistema	Marca/Modelo/ Capacidad
Motor	Cummins QSB6.7
Potencia máxima	120 Kw a 2200rpm
Par máximo	730 Nm a 1500rpm
Transmisión	Allison 3000RDS
Velocidades	3 avance, 1 reversa
Eje propulsor	Spicer 1710
Eje delantero	Meritor FF961
Eje posterior	Meritor RS-23-186
Compresor de aire	Wabco (15,2 cfm)
Neumáticos	11R22,5 (14PR)
Carga de quinta rueda	28 ton

Tomado de “Manual Kalmar Ottawa T2”, noviembre 2016



Figura 14 Tractocamión Ottawa T2

Tomado de “Auction Time”, setiembre 2020

<https://www.auctiontime.com/listings/trucks/auctions/online/33458645/2007-kalmar-ottawa-4x2>

CAPÍTULO II: PRESENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

2.1. Definición de mantenimiento

De forma general, el concepto de realizar tareas de mantenimientos en un componente refiere a el conjunto de actividades que permiten garantizar el funcionamiento de un equipo bajo determinadas condiciones de operación y en un tiempo dado. Estas actividades dependiendo de su función se pueden dividir en diferentes conceptos ya que existen actividades de mantenimiento enfocadas a obtener un estado final del componente. Es así como podemos definir entre las divisiones más importantes el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y autónomo.

2.1.1. Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo:** es el primer nivel de mantenimiento que puede ser aplicado a un equipo, se caracteriza por no realizar actividades de conservación y esperar la falla de un componente. Este tipo de mantenimiento refiere a las tareas que se realizan a un componente que no cumple y/o funciona dentro de los parámetros de operación requerido. Dependiendo del componente, tipo de operación y costo que represente para la organización se puede establecer el cambio correctivo como única estrategia. En la figura 15 se muestra la figura de un motor eléctrico que debió ser rebobinado al presentar deficiencias en su funcionamiento y luego de evaluarse sus parámetros de funcionamiento se encontró que se encontraba con un bajo aislamiento, teniendo como resultado el rebobinado y barnizado del estator.



Figura 15 Rebobinado de motor eléctrico

Tomado de “Taller eléctrico delta”, setiembre 2020
<https://tallerelectricodelta1.com/>

- **Mantenimiento preventivo:** se considera como el siguiente nivel al mantenimiento correctivo. Se caracteriza por incluir un sistema de planificación de actividades al cumplirse una frecuencia establecida; esta puede medirse en horas, kilómetros, número de unidades producidas, etc. Dentro de las actividades preventivas se encuentran tareas de limpieza, ajuste y reparación de las partes que componen un equipo, donde las reparaciones se planifican y programan para realizarse a las frecuencias mayores. En la figura 16 se muestra el cambio preventivo de rodamientos de una rueda por cumplirse el recorrido en kilometraje de funcionamiento.



Figura 16 Cambio de rodamientos
Tomado de “SlowWorks”, setiembre 2020

<https://slowworks.me/about/discos-delanteros/>

- **Mantenimiento predictivo:** en este nivel de mantenimiento se requiere un mayor número de herramientas y personal calificado para cumplir con el estándar de análisis de la data obtenida por la inspección en los equipos. También se introduce el conjunto de actividades que corresponden al monitoreo de condición. Las herramientas de análisis mayormente utilizadas son análisis de vibración, análisis de aceite, mediciones de temperatura, presión, entre otros. El fin de aplicar este conjunto de técnicas es poder determinar el punto en el tiempo donde el reemplazo del componente sea el más rentable sin afectar la producción.



Figura 17 Toma de muestra de aceite para análisis
Tomado de “SEDISA”, setiembre 2020

<https://www.sedisa.com.pe/servicios/sin-categoria/buenas-practicas-muestreo-de-aceite>

- **Mantenimiento proactivo:** este nivel de mantenimiento incluye a nuevos actores como son los propios operarios de las máquinas y busca realizar actividades de bajo nivel de dificultad como ajustes, lubricación, inspecciones que puedan ayudar a alargar el desempeño y vida útil de la máquina.

A continuación, en la figura 18 se muestra de forma resumida la gráfica de los niveles de mantenimiento según su complejidad y relación costo-beneficio para su implementación.



Figura 18 Niveles de mantenimiento

Tomado de “Mantenimiento planificado”, setiembre 2020

<http://mantenimiento-mp.blogspot.com/2015/10/estrategias-de-mantenimiento-cual-es-la.html>

2.1.2. Principales indicadores de mantenimiento

Se puede definir a los indicadores de mantenimiento como valores numéricos obtenidos al realizar operaciones matemáticas de parámetros de funcionamiento promedios de tiempos medidos y otros datos obtenidos de un equipo. Son muy útiles cuando se establece una interpretación constante además de incluir metas y medidas de control para aumentar o reducir el valor del indicador, según sea el caso que se evalúe. A continuación, se presentan los indicadores comúnmente usados en una gestión de mantenimiento.

- **Disponibilidad:** Para poder explicar este indicador es necesario presentar la distribución básica del tiempo físico de un equipo como se puede ver en la figura

19 Las horas que un equipo tiene en un rango de tiempo determinado, se consideran que están incluidas las horas de operación, mantenimiento y un número restante donde se encuentran actividades que no corresponden a los 2 primeros grupos mencionados. Dentro de las horas correspondientes a un mantenimiento se divide en horas de mantenimiento programado (preventivo, predictivo) y no programado (correctivo).

HORAS HÁBILES DE EQUIPO (HH)				
HORAS DE OPERACIÓN (HO)		HORAS DE MANTENIMIENTO (HM)		HORAS DE PARADAS RUTINARIAS
HORAS EFECTIVAS DE OPERACIÓN	HORAS PERDIDAS DE OPERACIÓN	PARADAS PROGRAMADAS	PARADAS NO PROGRAMADAS	

Figura 19 Distribución física del tiempo en un equipo

Tomado de “Fundamentos de gestión de mantenimiento”, Gutierrez Edgar, enero 2020

Por lo tanto, la disponibilidad se puede presentar de dos formas: física y mecánica. La física se refiere al porcentaje de horas en la que el equipo puede ser utilizado respecto del número total de horas que el equipo presenta en un rango de tiempo; de acuerdo con la figura se calcula como:

$$Disp. Física = \frac{HH - HM}{HH} (\%)$$

La disponibilidad que más se usa y evalúa en la gestión de mantenimiento es la mecánica, debido a que muestra la relación entre el tiempo en el que el equipo se encuentra produciendo versus el tiempo que pasa en el área de mantenimiento. Normalmente se esperan valores de 88 a 91% de disponibilidad para equipos móviles y se calcula de la siguiente forma:

$$Disp. Mecánica = \frac{HO}{HM + HO} (\%)$$

- MTBS: Por sus siglas en inglés (Mean time between shutdowns), significa la media de tiempo entre paradas durante la operación del equipo, estas podrían ser tanto programadas (relacionadas al mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo), como no programadas. Se puede calcular estableciendo un número definido de horas, días, meses u otra unidad de tiempo y dividir entre el número de eventos de paralización programada y no programada asociadas al área de mantenimiento de los equipos que ocurrieron durante ese lapso. Ayuda a verificar que tan continua es la operación de un equipo.

- **MTTR:** Por sus siglas en inglés (Mean time to repair), significa la media de tiempo en reparación que presenta el equipo por actividades programadas y no programadas. Al igual que el MTBS, se establece un rango de tiempo, pero la diferencia es que aquí se contabiliza el tiempo que el equipo ha estado en actividades de mantenimiento, es así como el MTTR es la división entre la cantidad de horas en mantenimiento y el número de reparaciones presentadas dentro de ese rango.

Para una misma escala temporal, se puede calcular la disponibilidad mecánica de un equipo conociendo los valores del MTBS y MTTR. Esto se debe a que las horas de operación y mantenimiento están incluidos en estos 2 indicadores.

$$Disp. Mecánica = \frac{MTBS}{MTBS + MTTR} (\%)$$

- **Precisión del servicio:** este indicador es una medida del tiempo de ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo, dependiendo de la frecuencia que presente (250, 500, 1000 horas). Se ha adoptado la regla de realizar el mantenimiento en un límite del +/- 10% de la frecuencia de ejecución de la actividad preventiva del equipo. Por ejemplo, si el mantenimiento se realiza cada 250 horas los límites para que el equipo pueda ingresar al taller debe de ser entre 225 y 275 horas. Está enfocado a la mejora del seguimiento y planificación de la programación de los equipos.
- **Ratio PM/CM:** este indicador mide la relación de recursos empleados para ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo y las de correctivo. Este indicador ayuda a poder tener una visión sobre el estado de los equipos y verificar si la estrategia aplicada está funcionando o si es necesaria la aplicación de una en caso no se haya considerado. Se puede considerar como valor referencial la proporción de 70% PM y 30% de CM, los valores que se pueden usar para calcular este ratio pueden ser horas hombre, número de órdenes de trabajo, costo de orden de trabajo, etc.

2.2. Estrategias de mantenimiento

En el manejo de los activos de una organización con una visión de operación a largo plazo, es necesaria la aplicación de una estrategia de mantenimiento con el fin de cumplir un estándar de trabajo y funcionamiento de los equipos. Existen diferentes estrategias dependiendo el enfoque de aplicación, si se desea reducir el costo de mantenimiento, aumentar la disponibilidad, disminuir el número de fallas totales de los grupos entre otros.

Si se desea lograr aplicar una estrategia de mantenimiento con alta eficiencia y resultados favorables es importante tener en cuenta lograr un nivel de sistema de planeamiento integrado. En la tabla 2 se presentan los distintos atributos y características de los enfoques.

Tabla 2 Cuadro de niveles de integración de planeamiento

Enfoque:	Supervivencia	Costo	Productividad	Valor	Integración
Recompensa:	Ahorro en corto tiempo	Tiempos extra	Cero sorpresas	Competitivo	Mejor en su clase
Meta:	Cumplir presupuesto	Disminuir averías	Evitar fallas imprevistas	Disponibilidad	Equilibrar rendimiento de activos
Comportamiento:	Desgaste	Adaptado	Planificado	Disciplina organizacional	Control de información
Tecnología:	No existe	En base a manual	CMMS ¹	CMMS & mejora continua	Al aplicado al concepto predictivo
Nivel:	Correctivo	Preventivo	Predictivo	Proactivo	World Class

Tomado de “Maintenance backlog for improving integrated planning. Journal of Quality in Maintenance Engineering”, Rødseth, 2017.

Las estrategias de mantenimiento pueden ser aplicadas de forma individual o grupal si se desea mejorar distintos objetivos del área. Incluso la combinación de las estrategias es posible según corresponda obtener un mejor resultado. A continuación, se explicarán las dos estrategias que serán aplicadas a la flota de 50 tracto camiones en un terminal portuario.

2.3. Estrategia de gestión de backlogs

2.3.1. Definición de backlog

¹ CMMS: por sus siglas en inglés (Computerized Maintenance Managment System) es el sistema de gestión de mantenimiento computarizado, es decir la herramienta de apoyo es un programa de computadora donde se ingresa la información de los activos para controlar las actividades de mantenimiento.

Se define backlog como la cantidad de actividades no completadas y acumuladas hasta un punto calendario establecido con la finalidad de presentar este valor frente a un nivel de referencia estándar predefinidas. Se puede expresar en cantidades monetarias o no monetarias, según lo maneje la organización. En caso sea en unidades no monetarias se puede presentar como número de órdenes de trabajo o su equivalente en número de horas hombre por actividad pendiente.

La finalidad de poder gestionar los backlogs es de proponer como meta un número límite permisible y así evitar llegar a la aplicación de severas contramedidas como:

- Reducir la carga de operación debida a un deterioro prematuro de los equipos.
- Paradas de producción debido a la ejecución de mantenimientos atrasados que comprometen la seguridad y performance del equipo.
- Incurrir en la inversión de mayor cantidad de recursos que los planificados para culminar la ejecución de las actividades pendientes y no continuar acumulando en los posteriores mantenimientos.

2.3.2. Clasificación y control de backlog

Una forma estándar y comúnmente adoptada de clasificar los backlogs es mediante colores para aplicar una gestión visual, los cuales son los siguientes:

- ❖ Rojo: se agrupan las observaciones obtenidas luego de realizar las actividades e inspecciones de mantenimiento que aún no son validadas por el personal encargado de la supervisión. En este grupo no se estima la cantidad de recursos para la ejecución de la actividad, pero sí pueden clasificarse según su prioridad.
- ❖ Azul: en este grupo, las actividades ya fueron validadas; se verifica y asigna la cantidad de recursos necesarios para su ejecución disponibles. En caso de no contar con los recursos se inicia la gestión de adquisición para que la actividad pueda estar completa al momento de la programación. Mientras la actividad no cuente con los recursos necesarios para su ejecución, no puede salir del grupo azul.
- ❖ Verde: una vez la actividad cuente con la cantidad de recursos necesarios para su ejecución pasan al grupo verde donde ya se encuentran listas para ser programadas y ejecutadas. Finalmente cuando ya fueron ejecutadas pasan al estado de finalizadas y son almacenadas en una base de datos

para su revisión. En la siguiente figura se presenta el diagrama de flujo de los backlogs y las etapas desde el color rojo hasta ser finalizadas.

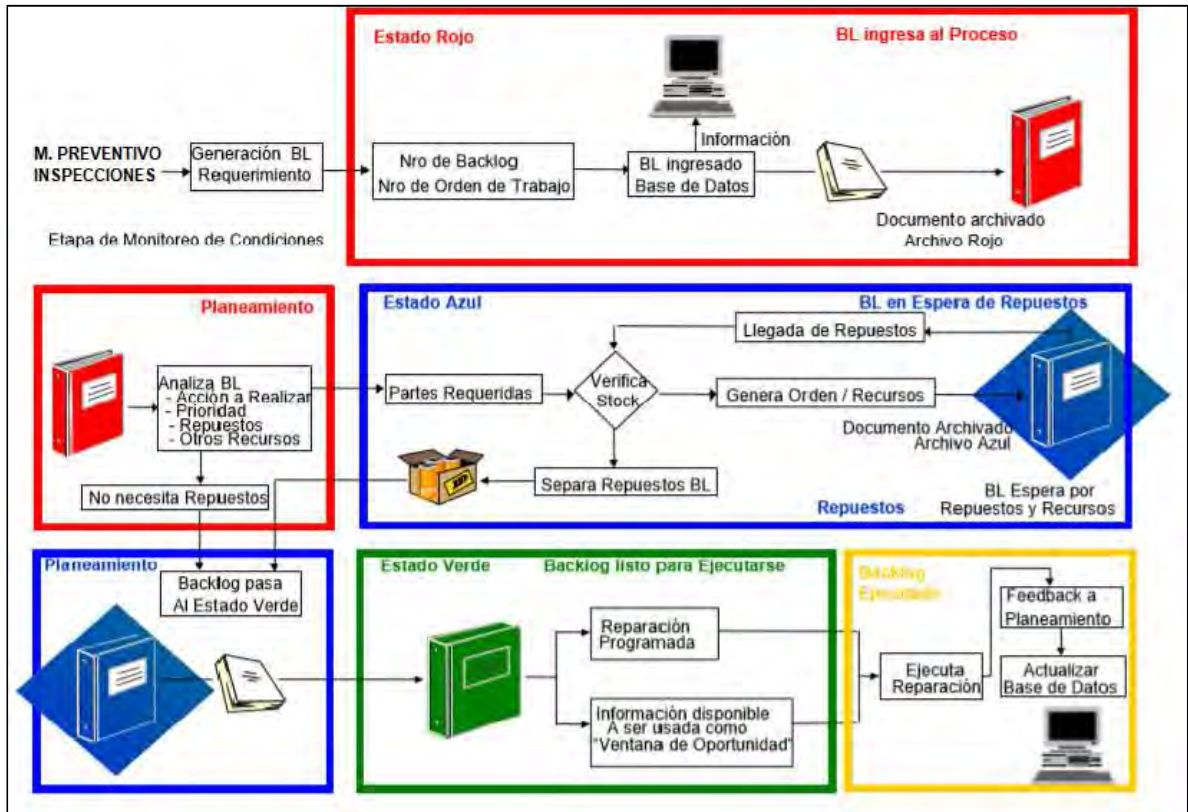


Figura 20 Diagrama de flujo de gestión de backlogs

Tomado de "Fundamentos de gestión de mantenimiento", Gutierrez Edgar, enero 2020

2.4. Gestión de mantenimiento con la estrategia de PM 8 pasos

2.4.1. Definición

Esta estrategia está enfocada en la distribución de las actividades que comprenden el plan de mantenimiento de un equipo y su frecuencia de ejecución. Su finalidad es presentar un plan de mantenimiento de tiempos uniforme a diferencia de un plan habitual que contiene varias actividades en una sola frecuencia de mantenimiento prolongado su tiempo de ejecución impidiendo que se puedan aprovechar culminar actividades de backlog. Mientras una distribución uniforme de las actividades otorga un tiempo para ejecutar actividades de backlog teniendo como resultados mayor disponibilidad en los equipos, reducir el número de fallas, disminuir la cantidad de correctivos y principalmente aumentar la productividad de la flota.

CAPÍTULO III: Aplicación de las estrategias de mantenimiento en la gestión de la flota de equipos

Como se explicó en el capítulo 1, en el presente trabajo se aplicarán dos estrategias de mantenimiento a una flota de 50 tracto camiones. A continuación, se explica el proceso de revisión, modificación, ejecución y resultados que se obtuvieron una vez iniciada la aplicación de las gestiones. El tiempo en el que se trabajó en los equipos fue de dos meses y el contraste se realizará desde el inicio hasta la fecha en la que se escribió el presente documento (setiembre 2020).

3.1. Aplicación de gestión de backlog

Como se explicó en el capítulo anterior la gestión de backlogs está enfocada en trabajar con las observaciones resultantes de inspecciones y mantenimientos ejecutados en los equipos. El procedimiento para ejecutar estas actividades sigue una serie de tres etapas en las que se revisa la actividad, recursos y finalmente programa la fecha en la que se realizará.

3.1.1. Antecedentes

Al momento de revisar el estado de la flota de equipos, no existía registro de backlogs y las observaciones generadas durante los mantenimientos preventivos eran archivados en la base de datos sin un procedimiento de gestión para su programación y culminación. También no existía una medición ni meta para la cantidad de actividades acumuladas, lo que provocaba que los equipos presenten constantes paradas durante operación por la falta de ejecución de las observaciones pendientes, otro inconveniente que se presentaba era la falta de control en los stocks de repuestos disponibles en el almacén. El principal problema que presentaban los equipos era un tiempo de parada prolongado en el taller, debido a que se aprovechaba en culminar trabajos pendientes y que ya se encontraban críticos por no ejecutarse a tiempo.

La flota está constituida por 50 tracto camiones, de los cuales se pueden diferenciar subfamilias de equipo por año de operación, resultando una diferencia de horas diarias recorridas en los equipos y por lo tanto también la frecuencia para programación de los backlogs y definir la criticidad según la observación que presente cada equipo.

3.1.2. Clasificación de la data

El sistema ERP que se maneja permite registrar la prioridad, tiempo de ejecución y cantidad de personal necesario para cada actividad de trabajo, para la clasificación según el color (rojo, azul o verde) se realizaba de forma manual en un campo de modificación manual para cada línea de trabajo, incluso se podía agregar algún mensaje complementario según sea el color en el que se encuentre la actividad. Una vez actualizada la data en el sistema, este es descargado en un archivo de extensión xlsx donde con ayuda de fórmulas se filtra la información y se puede clasificar según el color del estado en el que se encuentre. En la figura 22 se puede ver una parte de la base de datos y las columnas propias del archivo que extraían el grupo al que pertenecía la actividad.

WEEK	WO No	Registrator	Object ID	Familia	Equipo	Fault Description	Work Description	ROJO	AZUL	VERDE	FINALIZA
10	2389053	26/02/2020	TT044	TT	TT044	Desmontaje de tambor de frn.	PENDIENTE PROGRAMAR - VERDE	0	0	1	0
10	2285600	27/06/2019	TT044.01.	TT	TT044	Barandas de cabina dobladas	PENDIENTE VERIFICAR - ROJO	1	0	0	0
10	2201586	25/12/2018	TT044.01.	TT	TT044	Asiento con el cojin hundido,	FINALIZAR WO	0	0	0	1

Figura 22 Registro en base de datos de backlogs
[Elaboración propia]

3.1.3. Resultados

Iniciado el registro de las actividades en el sistema y posterior manejo de la base de datos se pudo visualizar que la cantidad de actividades pendientes en estado listo para ser programado (894.5 horas) era menor que la de las actividades pendientes de revisión y de repuestos o servicios (1463 horas); es decir, las actividades listas para programar representaban un 38% del total, lo que representaba un grave problema al momento de programar y culminar las actividades.

Como se puede apreciar en la figura 23, las primeras tres semanas se encontraban muchas actividades pendientes revisión y repuestos por manejar, lo que se realizó fue disminuir la cantidad de observaciones pendientes de revisión y así determinar si estaban listas para ser programadas o pendientes de asignación de repuestos. Luego las actividades pendientes para programar fueron ejecutadas, esto se puede confirmar revisando que la cantidad de número de actividades por finalizar en el sistema también mostraron un aumento; mientras que la cantidad de horas iban en descenso, esto representaba otro inconveniente ya que no se tenía un control en las nuevas observaciones generadas y lo obtenido con la base de datos no guardaba relación con el estado físico de la flota. Es por ello que se inició con la masificación de registro de observaciones en el sistema.

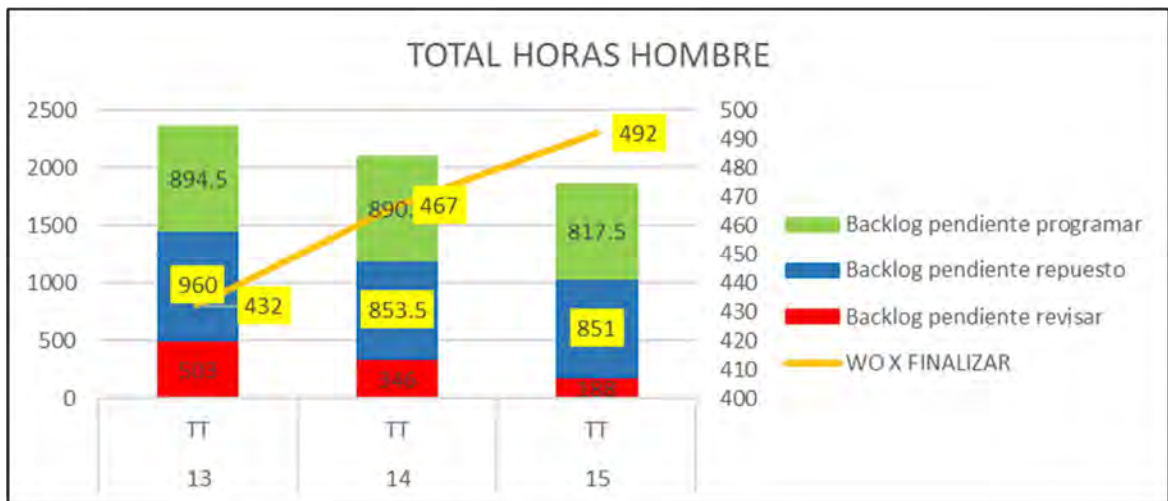


Figura 23 Backlogs durante primeras tres semanas

[Elaboración propia]

En la figura 24 se puede revisar el resultado luego de 20 semanas de iniciada la aplicación de gestión de backlogs en los equipos, presentando un mayor porcentaje de actividades listas para programar (82% aprox.) y la cantidad de actividades pendientes de revisión manejándose en una cantidad mínima, lo que explica que las observaciones se mantienen siempre en constante revisión. El número de trabajos ejecutados pendientes de finalizar en el sistema también disminuyó y es algo que se revisa constantemente con el fin de llegar a tener una cantidad menor. Las actividades pendientes de repuestos o servicios se manejan conforme a la información de tiempo de llegada, en el caso de repuestos; y tiempo de reparación de los componentes, en el caso de servicios. En la figura 25 se muestra la comparación de la evolución desde el inicio de la aplicación de los backlogs hasta el último reporte. Si realizamos una comparación entre la semana 13 y 36 se tiene un resultado de 94 backlogs ejecutados, pero se debe de considerar que semanalmente también se generan nuevas actividades de inspección y corrección, para la flota de equipos se puede estimar un ratio semanal de 10 actividades semanales. Teniendo un total 334 actividades realizadas desde la aplicación de la administración de los backlogs.

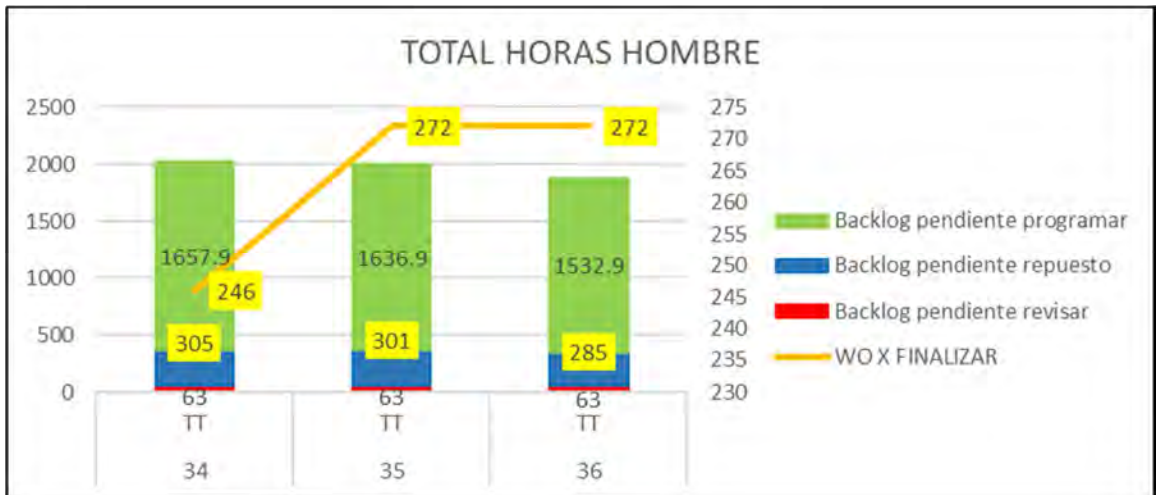


Figura 24 Resultado de aplicación de backlogs
[Elaboración propia]

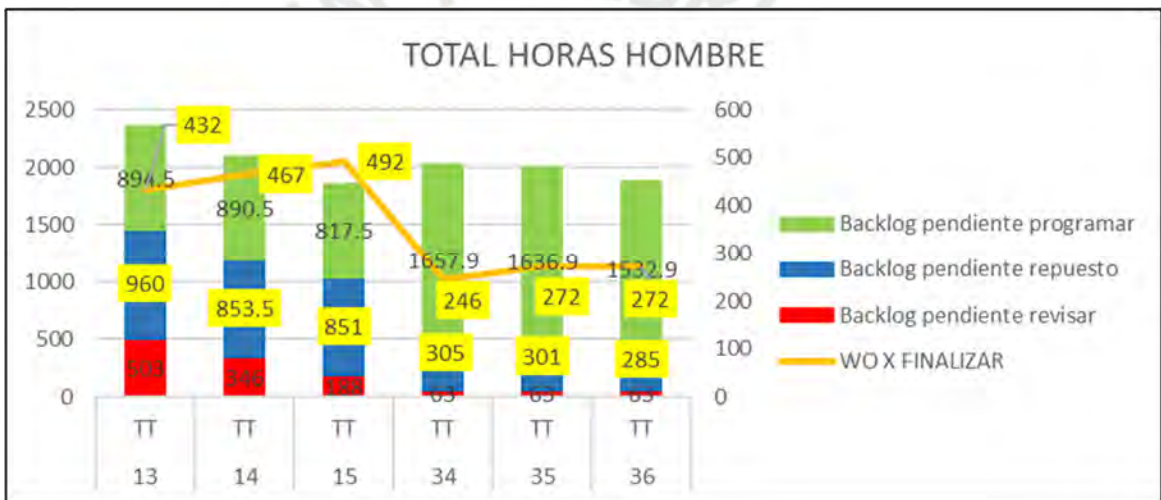


Figura 25 Evolución de aplicación de backlogs
[Elaboración propia]

3.2. Aplicación de PM 8 pasos

Para el caso de la aplicación de la gestión de PM 8 pasos fue necesario contar con el plan de mantenimiento de los equipos, también realizar una evaluación y validación de los tiempos de ejecución de cada actividad dentro del plan de mantenimiento. Este último decidió estandarizarse para todos los equipos teniendo solo como diferencia el modelo de los repuestos por cada subfamilia de equipo, es así como se llegó a tener como máxima frecuencia de mantenimiento las 5000 horas de funcionamiento con una razón de 250 horas, teniendo como resultado un total de 20 grupos de preventivos para poder cerrar el ciclo de mantenimiento.

3.2.1. Antecedentes

Antes de la aplicación de la modificación a PM 8 pasos se contaba con un plan de mantenimiento bien definido con una frecuencia mínima de 250 horas, donde los cambios de aceite se realizaban a las 1000 horas y a la misma actividad de mantenimiento lo que generaba la acumulación de tareas para las frecuencias grandes y por lo tanto la prolongación a más de un turno de trabajo para la ejecución quitando la oportunidad para avanzar correctivos pendientes, incluso obviando actividades del mantenimiento por presentarse retrasos. En el anexo A se puede apreciar el plan de mantenimiento de la flota antes de aplicarse la redistribución de PM 8 pasos.

Este escenario y la falta de ejecución de las actividades pendientes de corrección ocasionaron que los equipos presenten una baja disponibilidad de la flota, en algunas ocasiones llegando a extenderse la programación de los mantenimientos por la necesidad de los equipos en operación, presentando otro problema como una desviada precisión de servicio y alertas constantes en los resultados de análisis de aceite. En la figura 26 se puede visualizar que en las últimas semanas del año la disponibilidad de la flota se encontraba por debajo de la meta, lo que reveló que era necesaria la aplicación de una estrategia de gestión para el mantenimiento de los equipos.

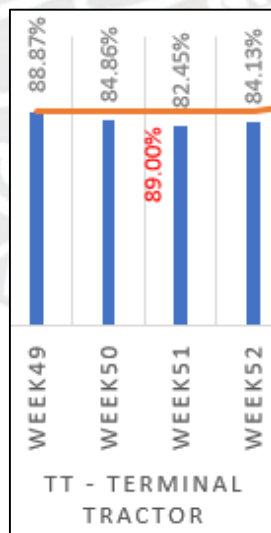


Figura 26 Disponibilidad de la flota antes de PM 8 pasos [Elaboración propia]

3.2.2. Desarrollo de evaluación y selección de actividades

Como se mencionó anteriormente los mantenimientos de mayores frecuencias consumían mucho tiempo y la distribución era desigual, en la figura 27 se muestra la distribución de los mantenimientos en el tiempo.

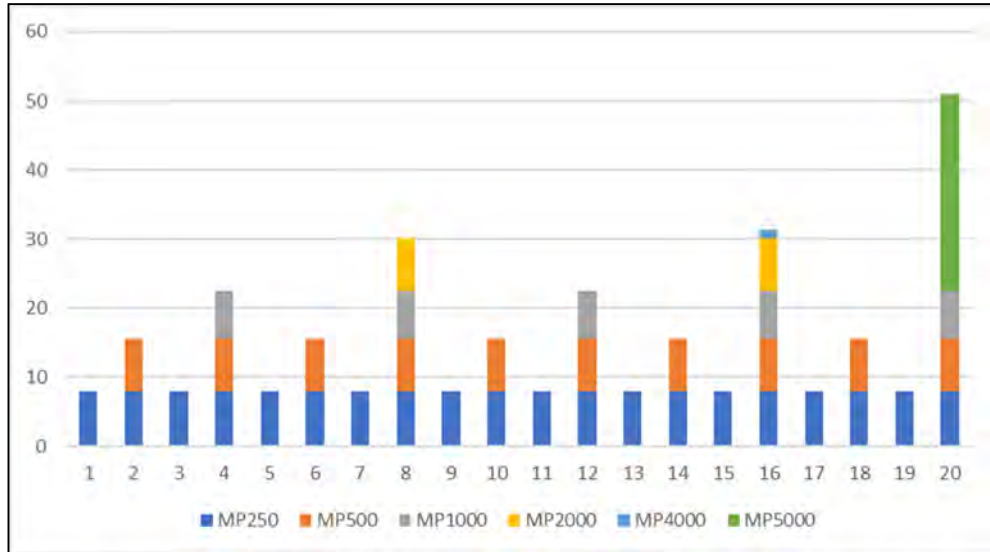


Figura 27 Distribución de mantenimiento no modificado [Elaboración propia]

El mantenimiento con mayor tiempo de ejecución es el último del ciclo, por lo tanto, la primera actividad en la revisión del plan fue evaluar cuales eran los cambios involucrados a esta frecuencia. Al revisar se encontró que había trabajos de cambio de componentes como:

- ❖ Cambio de rodamientos en puente delantero y puente posterior
- ❖ Cambio de pernos de puente delantero y posterior
- ❖ Evaluación de fisuras en diferencial
- ❖ Limpieza de los arneses eléctricos de la cabina del operador
- ❖ Desmontaje de la plataforma de elevación de la quinta rueda

Todas estas actividades se validaron que no eran necesarias estar dentro de una actividad de mantenimiento por la cantidad de tiempo que demanda y se optó por excluirlas del plan, pero mantener la tarea de cambio a la misma frecuencia en actividades fuera del mantenimiento. Luego de retirar estas actividades se presentó una reducción, pero de todos modos se presentaba una desviación en la distribución de los tiempos totales de ejecución. Como se ve en la tabla 3 la distribución de los mantenimientos necesitaba un reajuste en los tiempos totales; así es como se realizó la distribución de las actividades considerando un tiempo promedio de 9.6 horas de todo el ciclo de mantenimiento e igualando las tareas a

este tiempo promedio para poder encontrar la cantidad de horas por retirar o agregar a cada frecuencia. Una consecuencia de esta redistribución es que los mantenimientos ya no serán considerados por su frecuencia (250, 500, 1000, etc.) ahora al tener toda una cantidad promedio de tiempo de ejecución se diferenciarán por los números de secuencia del 1 al 20, culminando así el ciclo de mantenimiento.

Tabla 3 Distribución de tiempos de mantenimiento

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MP250	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
MP500		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2		3.2
MP1000				7.0				7.0				7.0				7.0				7.0
MP2000								1.1								1.1				
MP4000																1.1				
MP5000																				4.5
Total	6.2	9.5	6.2	16.4	6.2	9.5	6.2	17.5	6.2	9.5	6.2	16.4	6.2	9.5	6.2	18.5	6.2	9.5	6.2	20.9

[Elaboración propia]

3.2.3. Resultados

Una vez realizada la distribución de las actividades se tuvo un tiempo entre 9 y 10 horas de ejecución por cada mantenimiento, por lo tanto se presentaba ahora una ventana para ejecución de backlogs estandarizado hasta 12 horas el total de actividades y considerando el tiempo de lavado más tiempos de entrega de equipo a 16 horas o un día de actividades de mantenimiento lo cual justificaba el tiempo necesario para culminar todas las tareas y así evitar dejar pendientes o reprogramaciones de los trabajos. En la tabla 4 se puede ver los tiempos distribuidos por cada frecuencia de mantenimiento, los tiempos se encuentran en un rango de 9 y 10 horas con diferencias de 10 a 20 minutos lo que solo afecta en la posibilidad de ejecutar una inspección de backlog. En la figura 28 se muestra la distribución de los mantenimientos preventivos (azul) y el tiempo disponible en las ventanas de oportunidad para la ejecución de los backlogs de cada equipo (naranja). Las redistribuciones de las tareas de mantenimiento se pueden visualizar en el anexo B.

Tabla 4 Distribución de tiempos de actividades modificadas

PM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Duración	9.10	9.85	9.55	9.15	9.35	9.85	9.55	9.35	9.10	9.85	9.55	9.40	9.68	9.85	9.55	9.35	9.10	9.85	9.55	9.68

[Elaboración propia]

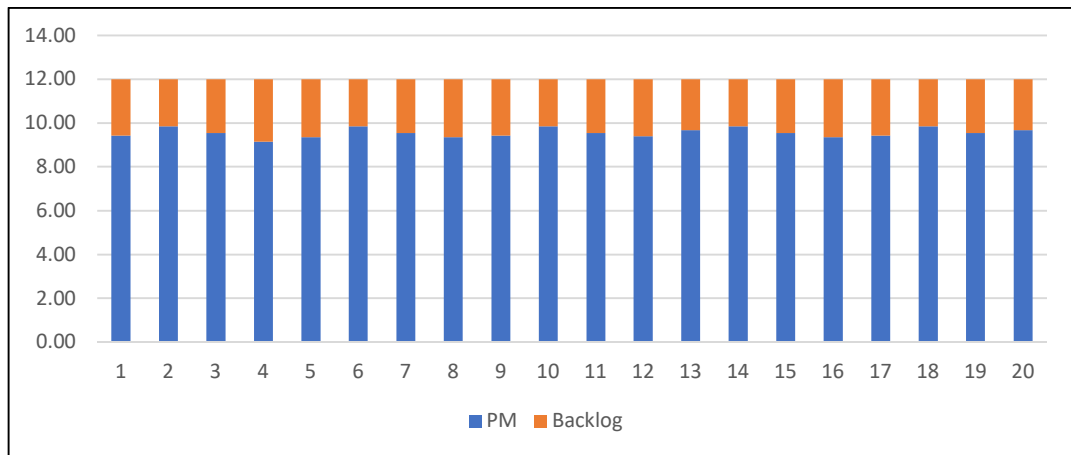


Figura 28 Distribución de mantenimiento modificado [Elaboración propia]

Respecto al resultado sobre los indicadores de mantenimiento, en la figura 29 se muestra una mejora considerable que se tuvo luego de ejecutar la distribución de actividades en los equipos fue que en 20 semanas la disponibilidad aumentó considerablemente de 9 a 10 puntos porcentuales y manteniendo un promedio de 93.5% lo cual está por encima de la meta.

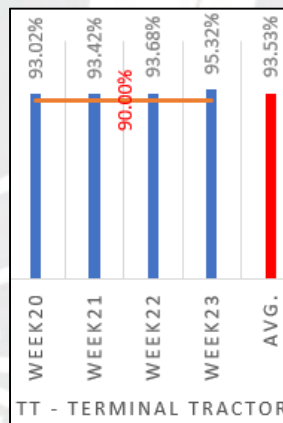


Figura 29 Disponibilidad de la flota luego de PM 8 pasos [Elaboración propia]

En cuanto al ratio PM/CM, se notó también una mejora respecto a los valores del año 2019 en la figura 30. Y a lo largo del año también se ve la evolución desde el mes de iniciada la gestión hasta el último mes de generado el presente trabajo como se muestra en la figura 31. Respecto a la precisión de mantenimiento, este indicador también presentó una mejora positiva debido a que, al tener mayor disponibilidad de equipos para las operaciones, se podía ingresar al taller de mantenimiento las unidades solicitadas para las actividades preventivas, en la figura 32 se ve la evolución del indicador.

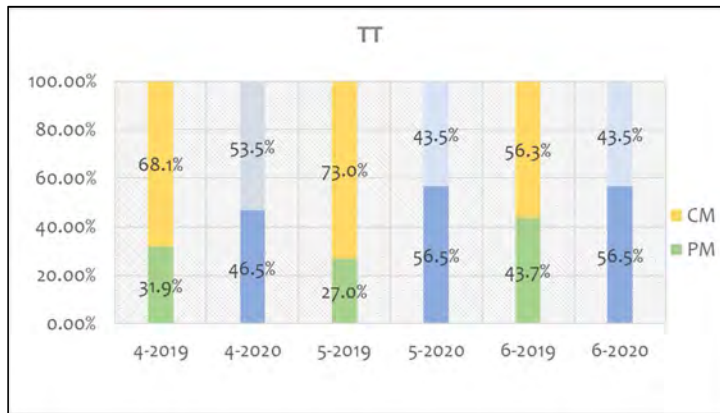


Figura 30 Contraste entre ratio PM/CM 2019 vs 2020 [Elaboración propia]

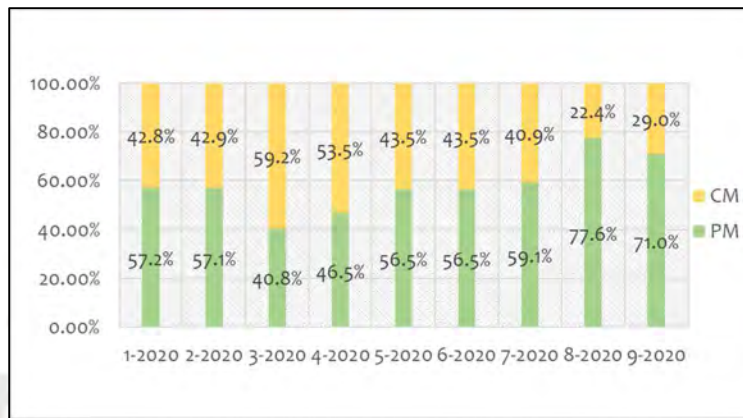


Figura 31 Evolución de ratio PM/CM desde la implementación de la gestión [Elaboración propia]

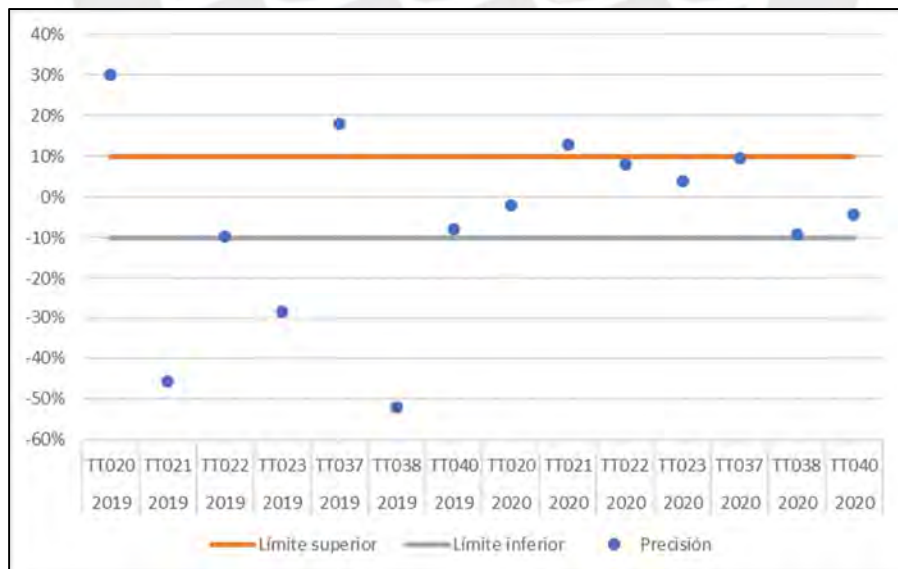


Figura 32 Mejora en la precisión del mantenimiento de una muestra de equipos [Elaboración propia]

Mientras que, sobre el MTBF, en la figura 30 se puede visualizar que la evolución en el valor de este indicador es de tendencia positiva y que los puntos en donde

desciende su valor se debe a que está relacionado con la cantidad de horas recorridas de los equipos semanalmente; es decir, si la flota recorre menos horas a la semana y el número de fallas se mantiene igual, el valor del indicador MTBF se verá afectado y provocará un descenso en la tendencia (ejemplo semana 27), pero de forma general se muestra un aumento en el promedio general.

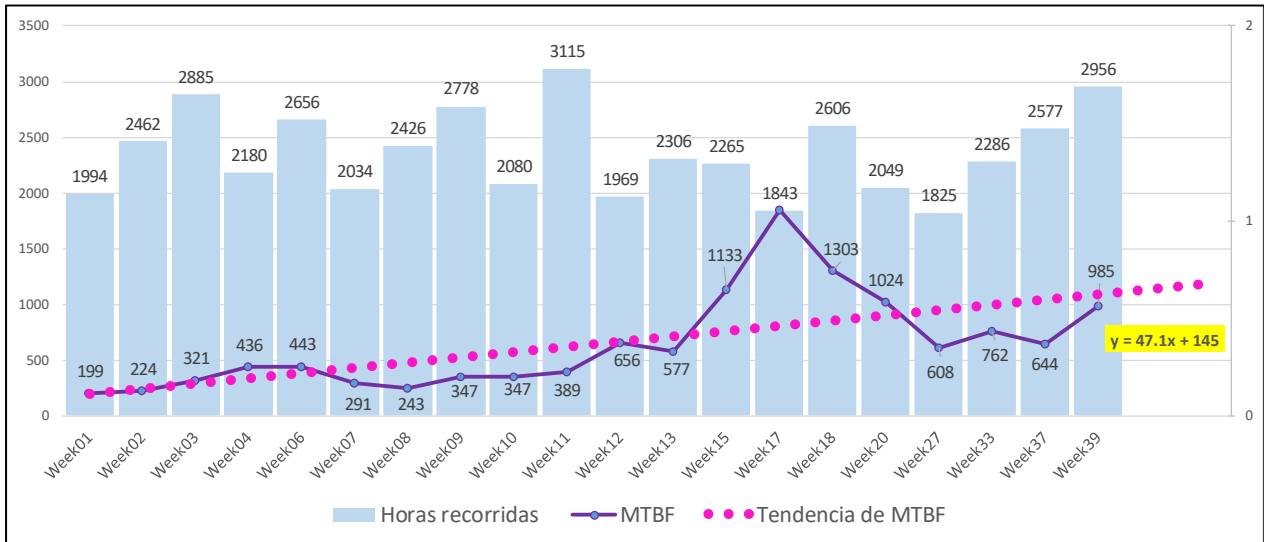


Figura 33 Evolución de MTBF luego de aplicar PM 8 pasos [Elaboración propia]

El impacto que tuvo la aplicación de ambas estrategias en el aspecto económico del área también fue positivo, sobre los costos de mantenimiento en materiales (repuestos y consumibles) se presentó una disminución en comparación al año anterior durante el período de enero y junio; en el 2019 el gasto acumulado fue de \$153,889, mientras que en el 2020 el gasto fue de \$138,355 obteniendo una reducción de \$15,534 como se puede visualizar en las figura 31 de forma lineal y figura 32 de forma acumulada.

En la distribución lineal de los gastos en el año 2020 se puede visualizar que estos se incrementan hasta llegar a un punto máximo para luego retornar a un mínimo, esto se debe a que los mantenimientos de y reemplazo de repuestos se daban en paralelo para una misma familia de equipos, luego de esta “estandarización” en las condiciones de los equipos se ve que espera que el reemplazo suceda en el intervalo propuesto y así distribuir los reemplazos a lo largo del tiempo.

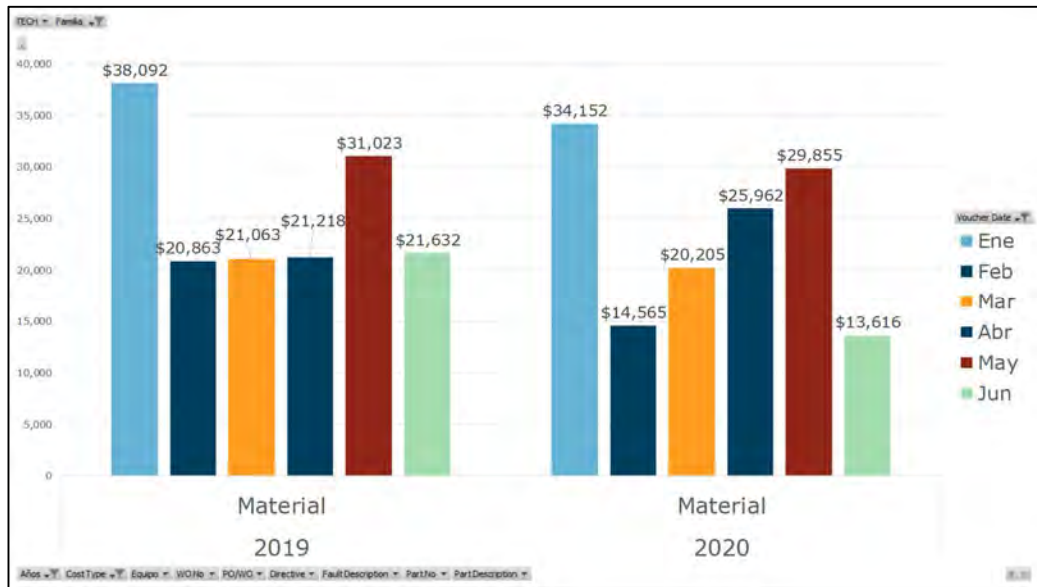


Figura 34 Comparación de la distribución lineal de costos de materiales en el período de enero-junio [Elaboración propia]



Figura 35 Comparación de la distribución acumulada de costos en el período de enero-junio [Elaboración propia]

Antes de explicar el efecto de la aplicación de las estrategias de mantenimiento en la productividad de los equipos, es necesario incluir el concepto del indicador de movimientos, el cual refiere al traslado de que realiza una grúa para un contenedor independiente del tamaño (20 o 40 pies); de esta manera el indicador de productividad de un puerto se muestra según el número de movimiento o el volumen que estos representan en toneladas. Es así como el resultado obtenido

en la productividad también fue positiva, en la figura 33 se muestra la reducción del costo por movimiento luego de la aplicación de las estrategias de movimiento a inicios del 2020 frente a un comportamiento relativamente estable en el volumen de la producción (toneladas), el costo de mantenimiento por movimiento (cost x move) a lo largo del año 2020 no superó a los valores del año anterior lo que demuestra un buen resultado en los mantenimientos de los equipos.

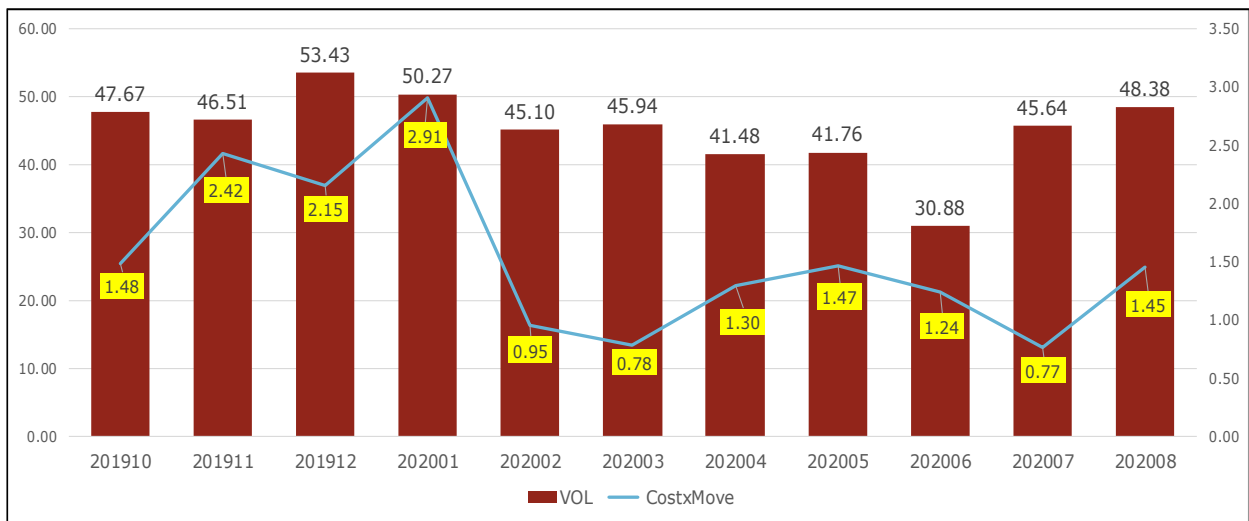


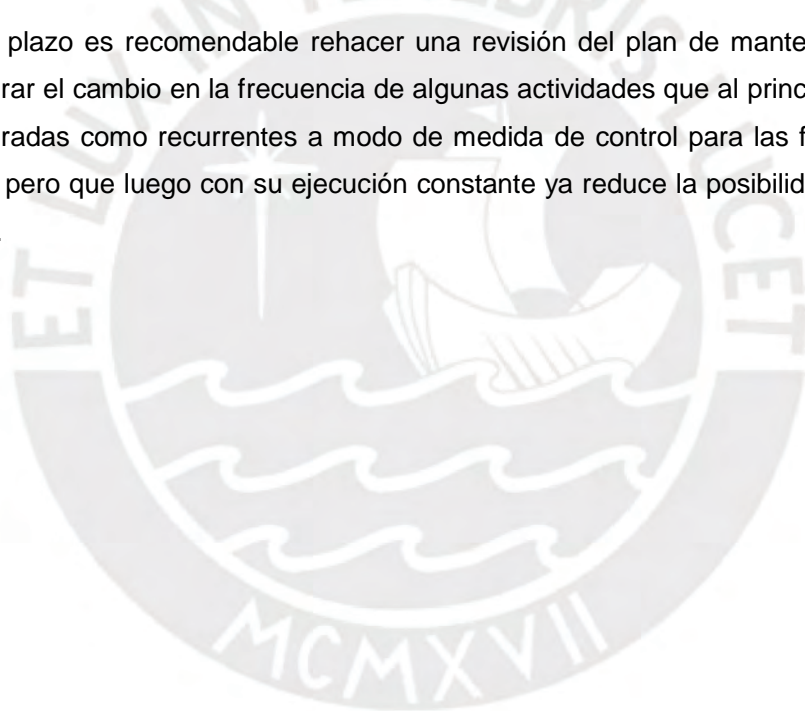
Figura 36 Reducción del costo de mantenimiento por movimiento de contenedor durante Octubre (2019) - Agosto (2020)

Conclusiones

- Se demuestra que la aplicación de herramientas y fundamentos en gestión de mantenimiento traen resultados considerables a los equipos y también ayudan a conservar un estándar de trabajo en las actividades.
- La clasificación de los backlogs y su administración en grupos de acuerdo con el estado de las actividades ayuda a dividir los planes de acción y tareas por realizar para cumplir con la ejecución de las observaciones.
- Es posible realizar la distribución con la gestión de PM 8 pasos y estandarización de las actividades de mantenimiento de una flota de equipos siempre y cuando se tienen los tiempos, recursos y capacidad técnica de atender cada actividad definida.
- A largo plazo, la ejecución de backlogs en cada mantenimiento preventivo aumenta la disponibilidad de los equipos y también reducir el número de fallas, lo que influye en el MTBS de la flota pasando de 250 a valores mayores de 350 con máximo que llegaron a 1843 horas, teniendo una evolución favorable de 89% a 94% de disponibilidad, superando el objetivo anual de 90%.
- Con la cantidad de horas listas para programar en la revisión de los backlogs, permite realizar un análisis por equipo y un planificar una estrategia puntual con el fin de disminuir su cantidad de tareas pendientes como la probabilidad de falla.
- Se presentó un ahorro de \$15,534 en repuestos durante la primera mitad del año 2020 en comparación a la del año 2019, monto que influye en el costo de operación del equipo que también disminuyó un máximo de \$1.65 por contenedor trasladado.

Recomendaciones y observaciones

- Se recomienda a mediano plazo evaluar los resultados incluyendo otros indicadores como el Top ten de fallas, MTTR y la precisión de servicio para tener una visión general del comportamiento de la flota.
- Considerar que durante las primeras semanas de aplicación de ejecución de backlogs trae una disminución de preventivos en la relación PM/CM debido a que muchas de las observaciones son trabajos correctivos.
- Se recomienda establecer una cantidad de backlog permisible por equipo y así definir una para toda la flota y trabajar en base a estas metas el tiempo de programación, asignación de repuestos y revisión de las actividades generadas.
- A largo plazo es recomendable rehacer una revisión del plan de mantenimiento y considerar el cambio en la frecuencia de algunas actividades que al principio fueron consideradas como recurrentes a modo de medida de control para las fallas en el equipo, pero que luego con su ejecución constante ya reduce la posibilidad de tasa de falla.



Bibliografía

APAZA, José Enrique

s/f *Planeamiento, programación y organización del mantenimiento* [diapositiva].
Consulta: 16 de Setiembre de 2020.

CALSTART

2011 *Hybrid yard hostler demonstration and comercialization project*. Los Angeles, California.

DUFFUA, S. O. & Raouf, A.

2015 *Planning and control of maintenance systems: modeling and analysis*, New York, Springer.

GUTIERREZ, Edgard

s/f *Fundamentos de gestión de mantenimiento* [diapositiva]. Consulta: 10 de Setiembre de 2020

KALMAR OTTAWA T2

2016 *Manual de mantenimiento de tractor de terminal modelo Ottawa t2*. Kansas.

MOUBRAY, John

2004 *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad RCM II*. Segunda edición. New York: Industrial Press.

PALMER, DOC

1999 *Maintenance Planning and scheduling handbook*. New York: McGraw Hill.

RØDSETH, H.

2014 *Maintenance optimisation for integrated planning*. Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference. ESREL 2013, pp 651-657.

RØDSETH, H. & SCHJØLBERG, P.

2017 *Maintenance backlog for improving integrated planning*. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 23. 10.1108/JQME-01-2016-0002.

TIAX LLC

2010 *Pluggable hybrid electric terminal truck demonstration at the port of Los Angeles*. Los Angeles, California.

ANEXO A

Plan de mantenimiento de la flota sin modificación de la distribución de las actividades

SISTEMA	ACTIVIDADES	250	500	1000	2000	4000	5000	10000	20000	Tiempo (hora)
CABINA DE OPERADOR	Verificar y ajustar espejos retrovisor y panoramicos	X								0.050
	Verificar y comprobar funcionamiento de mecanismo de elevación de luna de puerta lateral	x								0.050
	Verificar estado y ajuste de 4 pasamanos	x								0.083
	Verificar y ajustar tapa sol	x								0.050
	Cambio de bocina de tapasol			x						0.083
	Verificar tapizado de techo,puertas,jebes de marco de puertas y regulación de cprredera de puerta posterior.	x								0.083
	Cambio de rodillos de riel de puerta					x			x	0.167
	Cambio de baquelitas inferiores de puerta					x			x	0.083
	Verificar funcionamiento de ventilador	x								0.025
	Verificar/rotular y ajustar pernos de tableros de mando.	X								0.083
	Verificar códigos falla de motor.	X								0.017
	Verificar libre funcionamiento de puertas laterales y/o posterior	X								0.050
	Verificar estado de indicadores luminosos y relojes	X								0.067
	Verificar y probar estado de interruptores,pulsadores	X								0.067

Verificar funcionamiento de la cerradura de la puerta lateral y trasera	X								0.050
Inspeccionar fisuras en puente posterior.			x						0.167
Inspeccionar marca guía de ajuste de pernos de puente delantero y posterior		X							0.100
Revisar torque de pernos de puente posterior(x8)(813 Nm cabeza de perno; 542 Nm tuerca)				x					0.250
Cambiar pernos de puente posterior						X			0.833
Revisar torque de pernos de puente delantero(x8)(813 Nm cabeza de perno; 542 Nm tuerca)				x					0.250
Cambiar pernos de puente delantero						X			0.833
Inspeccionar bocinas y eje de articulacion de cabina	X								0.083
Cambio de bocinas y pines de cabina							X		8.000
Inspeccionar bolsa de aire de suspensión de cabina, verificación de estado de bocinas	X								0.067
Inspeccionar muñones y bielas de direccion	X								0.167
Cambio de pines y bocinas de dirección							X		8.000
Cambio de rodamientos y sellos de puente delantero						X			6.000
Inspeccionar pines de sujecion de muelles	X								0.133
Cambio de pines de muelles delanteros							X		6.500
Inspeccionar muelles delanteros	X								0.167
Verificar estado de mordazas,bocinas e inspección de fisuras	X								0.167
Medir desgaste de superficie de 5ta rueda		X							0.133
Cambio de cable de traba de 5ta rueda				x					0.133
Cambio de 5ta rueda						X			0.667

Cambio de rodamientos y sellos de bocamazas posteriores (según procedimiento)						X			0.250
Cambio de aceite de bocamaza						X			5.000
Revisar nivel de aceite de cubos de bocamaza posterior				x					1.000
Revisar niveles de fluidos (aceite, combustible y refrigerante)	X								0.250
Realizar analisis de aceite de motor.	x								0.417
Revisar fugas de aceite, refrigerante, combustible de motor.	X								0.333
Revisar fugas en el sistema de refrigerante, mangueras	X								0.250
Reajuste de abrazaderas de sistema refrigerante		X							0.250
Revisar fugas en el sistema de combustible, mangueras	X								0.250
Reajuste de abrazaderas de sistema de combustible		X							0.250
Revisar fugas en el sistema de escape, ductos de escape y reajustar abrazaderas.	X								0.250
Reajuste de mangueras de sistema de escape		X							0.250
Revisar fugas en el sistema de aire de admision, mangueras y reajustar abrazaderas.	X								0.250
Ajuste de mangueras de sistema de admisión		X							0.250
Realizar cambio de manguera y abrazaderas de admision							X		0.250
Realizar cambio de manguera y abrazaderas de refrigeración							x		0.000
Realizar cambio de manguera, cañería y abrazaderas de combustible							x		0.000
Realizar cambio de manguera y abrazaderas flexible de escape							x		0.000

Cambio de arrancador						x			0.000
Media Vida de motor (Según listado adjunto)							x		0.000
Medición de concentración de refrigerante y medición de PH		x							0.000
Drenar agua del separador de combustible	x								0.167
Revisar manómetro de restricción de filtro de aire	x								0.133
Retirar filtro de aire y limpieza de carcasa	x								0.100
Cambiar filtro aire motor.		x							0.167
Cambiar aceite motor.		x							0.133
Cambiar filtro aceite motor.		x							0.833
Cambiar filtro separador combustible.		x							0.167
Cambiar filtro combustible motor.		x							0.167
Cambiar refrigerante.					x			x	0.167
Inspeccionar arneses y conectores por desgaste	x								0.833
Inspeccionar fajas y tensador de fajas	x								0.167
Cambiar faja y tensador de faja							x	x	0.250
Inspeccionar radiador e intercooler, verificar presencia de fugas	x								0.667
Inspeccionar ventilador	x								0.250
Revisar respiradero del motor	x								0.167
Revisar tapa de presión del radiador	x								0.083
Cambio de radiador e intercooler						x			0.083

	Cambiar filtro transmision.			X						1.000
	Verificar fugas de aceite por sistema de transmisión	X								0.250
	Realizar analisis de aceite transmision.		X							0.250
	Verifica estado de resortes de soporte de transmisión	X								0.167
	Verificar marcas guía en pernos de soporte de transmisión	x								0.100
	Verificar marcas guía en pernos de campana de transmisión	x								0.133
	Retorqueo de pernos de campana de transmisión						x			0.250
	Retorqueo de pernos de soporte de transmisión				x					1.000
	Cambio de resorte de transmisión							X	X	1.000
	Calibrar transmision (Allison)							X	X	0.000
SISTEMA DE DIRECCIÓN-SUSPENSIÓN	Regular frenos de servicios.			X						0.000
	Verificar frenos de servicios	X								1.500
	Verifique frenos de parqueo	X								0.250
	Cambio de válvula de pedal de freno								x	0.250
	Cambio de ratchet de freno de servicio							x	x	0.000
	Verificar zapatas, tambor.	X								0.000
	Rectificar tambores y zapatas según condición						X			0.167
	Verificación y reajuste de tuercas de muñones delanteros			x						2.000
	Cambio de terminales de dirección							x	x	1.000

Cambio de silenciador									X	0.167
Verificar extintor de incendio.	X									0.000
Verificar estado del sensor y reloj indicador de nivel combustible.	X									0.067
Verificar estado de soportes de tanque de combustible	x									0.133
Verificar estado de correa y zuncho de tanque	x									0.133
Cambio de correa de tanque de combustible								x	x	0.133
Limpieza de tanque de combustible								X	X	0.000
Lubricar superficie quinta rueda.	X									0.000
Lubricar rotulas piston quinta rueda.	X									0.133
Lubricar brazo de accionamiento de quinta rueda	X									0.133
Lubricar pines quinta rueda.	X									0.083
Lubricar puntos de muelle de puente delantero	X									0.083
Lubricar eje cardan.	X									0.083



Verificar estado de soportes de tanque de combustible	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.250	
Verificar estado de correa y zuncho de tanque	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.167
Lubricar superficie quinta rueda.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.333
Lubricar rotulas pistón quinta rueda.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.750
Lubricar brazo de accionamiento de quinta rueda	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.333
Lubricar pines quinta rueda.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.333
Lubricar puntos de muelle de puente delantero	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.083
Lubricar eje cardan.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.167

