

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS
DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN EL CICLO DE
VIDA DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793C Y SU
RELACIÓN CON LOS COSTOS GLOBALES EN
MINERÍA A TAJO ABIERTO”

Tesis para optar el título profesional de:

Bachiller en **Ingeniería Industrial**

Autor:

Bach. Luis Silva Villena

Asesor:

M.Cs. Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi esposa Ada quien siempre ha sabido acompañarme, apoyarme, darme su respaldo y confianza para lograr y alcanzar el éxito deseado; a mis hijos adorados Luis Armando, Ada Berenice e Iliana Janice quienes son el motor e impulso principal en mi vida siendo la razón por la que damos cada día lo mejor de nosotros.

No podía dejar de mencionar a mis amados padres Zunilda y Manuel por haberme dado siempre su amor, comprensión y cariño.

AGRADECIMIENTO

Durante desarrollo de este trabajo de investigación me ha sido de vital importancia el apoyo de personas e instituciones que me ha permitido ir mejorando su contenido a través del tiempo, así como la validez del mismo al poder recopilar información histórica e importante para realizar el diagnóstico y análisis de acuerdo a la realidad operativa.

Agradecer al Ing. Vidal Pinto por su valiosa contribución con sus ideas y planteamiento de nuevas estrategias las cuales he recogido y adaptado al desarrollo de este trabajo, del mismo modo al Ing. Alfredo Huarcaya por facilitarme la información de los métodos aplicados para la identificación y planteamiento de los planes de mantenimiento, al Sr. Marín Salvador por permitirme ser parte del equipo de trabajo con quien desarrollamos la implementación práctica de los planteamientos propuestos.

Un agradecimiento especial a la Universidad Privada del Norte por brindarme la oportunidad de cursar la carrera en Ingeniería Industrial que sin duda ha incrementado mis potencialidades profesionales permitiéndome tener un mayor campo de visión para emprender proyectos de mejora continua y en especial atención al Ing. Luis Quispe quien me ha soportado en la parte metodológica durante todo este proceso del desarrollo de este trabajo de investigación.

Mi familia no puede estar exento de mis agradecimientos por ser motor y motivo para cada paso que doy tanto en lo profesional y lo personal en busca de una sociedad más igualitaria con oportunidades continuos.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN.....	10
SUMMARY.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	14
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	15
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
2.2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS.....	16
2.2.1. <i>Materiales</i> :.....	16
2.2.2. <i>Instrumentos</i>	16
2.2.3. <i>Métodos</i>	20
2.3. PROCEDIMIENTO.....	26
2.4. ASPECTOS ÉTICOS.....	30
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	32
3.1. DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA FLOTA DE CAMIONES CAT 793	32
3.1.1 <i>Desempeño de los Gastos Operativos Anuales</i>	32
3.1.2 <i>Diagnóstico de la Disponibilidad Operativa</i>	34
3.1.3 <i>Desempeño del Ciclo de Vida Útil de los equipos</i>	39

3.1.4	<i>Matriz de Prioridad para determinar el Sistema Crítico de la Flota Cat 793C .</i>	41
3.1.5	<i>Matriz de Prioridad para Identificar los Equipos Críticos de la Flota CAT 793C</i>	42
3.2	PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y SU FACTIBILIDAD TÉCNICA	44
3.2.1	<i>Propuesta de Estrategia de Mantenimiento enfocado en el Ciclo de Vida Útil de los Equipos.....</i>	45
3.2.2	<i>Evaluación y Selección de la estrategia de Mantenimiento Recomendada.....</i>	48
3.3	ANÁLISIS DE RELACIÓN ENTRE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO Y LOS GASTOS OPERATIVOS DE LA FLOTA DE CAMIONES.....	50
3.3.1	<i>Programa de Ejecución de la estrategia de mantenimiento.....</i>	50
3.3.2	<i>Plan de Ejecución de la estrategia de mantenimiento.....</i>	52
3.3.2	<i>Desempeño de los Gastos Operativos Anuales luego de la implementación de la estrategia de Mantenimiento</i>	56
3.3.3	<i>Desempeño de la Disponibilidad Operativa luego de la implementación de la estrategia de Mantenimiento</i>	58
3.4	EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA PROPUESTA	61
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		67
4.1	DISCUSIÓN	67
4.2	CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS		72
ANEXOS		75
ANEXO N°.1.	MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA.....	76
ANEXO N°.2.	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL COSTO OPERATIVO ANUAL	77
ANEXO N°. 3.	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE PARADA DE LOS EQUIPOS	78
ANEXO N°.4.	REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL CAMBIO DE CHASIS.....	79
ANEXO N°.5.	PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE CHASIS - RESUMEN	81

ANEXO N°.6. REGISTRO DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS NUEVAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO DENTRO DEL SISTEMA AMT.....	86
ANEXO N°.7. DESEMPEÑOS DE LOS COSTOS Y LA DISPONIBILIDAD ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Técnicas e Instrumentos.....	18
Tabla 2: Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos.....	19
Tabla 3: Top Ten de los equipos con mayores gastos operativos del sistema Estructura y Chasis	34
Tabla 4: Clasificación de Sistemas Críticos de la Flota CAT793C, 2016.....	37
Tabla 5: Top Ten de equipo con mayor cantidad de horas de parada durante el 2016	38
Tabla 6: Cuadro resumen de selección de estrategia de mantenimiento utilizando el método cuantitativo	49
Tabla 7: Clasificación de Equipos con altos gastos operativos durante 2017	58
Tabla 8: Clasificación de los sistemas operativos en función de las horas de parada - 2017	60
Tabla 9: Inversión para ejecutar el proyecto	62
Tabla 10: Costos relacionados al mantenimiento anual de Chasis	63
Tabla 11: Matriz de Flujo de Caja Anual para evaluación de la viabilidad económica del proyecto	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Matriz de prioridad para identificar la criticidad de los equipos	22
Figura 2: Categorización del costo global anual del 2016 establecidos por sistema.....	33
Figura 3: Desempeño mensual de Disponibilidad operativa – Flota CAT 793C, 2016	35
Figura 5: Horas de operación de los equipos críticos hasta el año 2016	40
Figura 6: Matriz de prioridad de Sistemas en relación a sus Gastos Operativos & Impacto en Disponibilidad	41
Figura 7: Matriz de prioridad de Equipos en relación a los Gastos Operativos & Impacto en Disponibilidad	43
Figura 8: Concepto modular de reemplazo de componentes de un camión CAT793C	45
Figura 9: Representación Gráfica de las Estrategias de mantenimiento propuestas	47
Figura 10: Programa de Implementación de la estrategia de cambio de Chasis – CAT	51
Figura 12: Detalle de Gastos Operativos por Sistema – 2017 Flota CAT793C	56
Figura 13: Desempeño de la disponibilidad operativa durante el año 2017.....	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para calcular el WACC	30
---	----

RESUMEN

El presente estudio de investigación estuvo orientado al diseño e implementación de estrategias de mantenimiento enfocado en el ciclo de vida de la flota de camiones CAT 793C y su relación con los costos globales en minería a tajo abierto, para lo cual se establecieron estrategias de mantenimiento enfocadas a mejorar el ciclo de vida y optimizar el costo de la flota de camiones en minería a tajo abierto. Este investigación es de tipo aplicada y correlacional, cuyo objetivo fue el de determinar la relación entre las estrategias y los costos globales en el área de mantenimiento habiendo utilizado para ello tres métodos de estudio como son: El análisis de los costos globales, proceso de implementación de las estrategias de mantenimiento y el método analítico obteniéndose como resultados que los mayores costos globales están concentrados en el sistema de “Estructura y Chasis” del equipo en \$ 7.075 M, y teniendo en algunos meses variaciones significativas de la disponibilidad operativa estando por debajo de lo presupuestado. Se definió la estrategia de Cambio de Chasis mediante el mantenimiento preventivo a los equipos crítico seleccionados mediante la matriz de prioridad donde se demostraron los beneficios de la implementación de las estrategias y de cómo éstas permiten reducir de manera efectiva los costos globales anuales hasta en un 56% así como el incremento de las horas de producción de hasta 98 horas anuales lo que representa un incremento de la disponibilidad operativa en los camiones mineros CAT 793C obteniéndose un VAN de \$ 2 401 237.00 y un TIR del 24% lo que justifica la viabilidad económica del proyecto analizado.

Palabras clave: Estrategias de mantenimiento, Costos Globales, Camiones CAT 793C, Disponibilidad, Vida útil

SUMMARY

The present research study was oriented to the design and implementation of maintenance strategies focused on the life cycle of the CAT 793C truck fleet and its relationship with the global costs in open pit mining, for which focused maintenance strategies were established. To improve the life cycle and optimize the cost of the truck fleet in open-pit mining. This research is of applied and explanatory type, which aimed to determine the relationship between strategies and global costs in the area of maintenance having used for this three methods of study such as: The analysis of the global costs, implementation process of the maintenance strategies and the analytical method obtaining as results that the highest overall costs are concentrated in the system of "Structure and Chassis "Of the equipment in \$ 7.075 M, and having in some months significant variations of operational availability being below budget. The Change of Chassis strategy was defined by the preventive maintenance of the critical equipment selected through the priority matrix where the benefits of the implementation of the strategies were demonstrated and how they allow to effectively reduce the annual global costs up to 56% as well as the increase in production hours of up to 98 annual hours, which represents an increase in operational availability in the CAT 793C mining trucks, obtaining a NPV of \$ 2 401 237.00 and an IRR of 24%, which justifies the economic feasibility of the project analyzed.

Key words: Maintenance strategies, Global Costs, CAT 793C Trucks, Availability, Life Cycle

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las estrategias de mantenimiento cumplen un rol importante desde el punto de vista de la optimización para el proceso de producción de una empresa en general, para ello se definen estrategias específicas que tienen que estar acordes al modo de falla predominante de los equipos los que pueden ser desde un mantenimiento correctivo, un mantenimiento preventivo, un mantenimiento predictivo o una reparación total denominado overhaul (Torres, 2015). La implementación de cada una de estas estrategias está condicionada al estudio detallado del comportamiento de los equipos, así como su desempeño a lo largo de su ciclo de vida útil donde se van registrando las horas de desempeño, los modos de fallas recurrentes, los recursos necesarios para asegurar su operatividad lo que viene traducido en los costos operativos totales (Rodríguez, 2014). En función a ello las gerencias y superintendencias a cargo del área de mantenimiento mina de las empresas mineras en Cajamarca realizan las acciones necesarias para poner en marcha los planes estratégicos que se encuentren alineadas a los objetivos organizacionales de la empresa, dichas estrategias han ido evolucionando desde los inicios de las actividades de la operación minera, empezando desde planes básicos de mantenimiento preventivo y soporte en el mantenimiento correctivo, hasta lograr consolidarse mediante la formación de equipos humanos de trabajo, el ordenamiento de sub áreas de mantenimiento y la incorporación de sistemas informáticos que soporten adecuadamente la gestión de los datos y registros históricos de mantenimiento con la finalidad de ser analizadas posteriormente para lograr la optimización del rendimiento de los equipos logrando además un proceso de mejora iterativo y continuo convirtiéndose en el desarrollo y ejecución del mantenimiento

predictivo y mantenimiento proactivo de clase mundial. A pesar de ello, en la actualidad es común encontrar y observar fallas reiterativas “cíclicas” que conllevan a una baja disponibilidad operativa de equipos, repercutiendo en altos costos globales en la operación, ocasionando que afecten e impacten en el presupuesto elaborado inicialmente. Por ello la importancia de llevar a cabo este estudio de investigación desarrollado en el área de mantenimiento mina de una empresa minera a tajo abierto en la ciudad de Cajamarca recopilando los datos históricos de operación y desempeño de los camiones de la flota CAT 793 con la finalidad de identificar aquellas unidades que tienen mayor costo global y baja disponibilidad operativa (ver anexo 7) producto de su disminución progresiva de su confiabilidad por modos de falla propios de la etapa final de su ciclo de vida útil; la identificación y análisis de estos modos de falla principales se realiza utilizando herramientas de gestión de mantenimiento tales como: La matriz de prioridad de eventos, la matriz de prioridad de criticidad, el análisis causa – raíz y el análisis del costo de ciclo de vida de los equipos todo ello para identificar estrategias de mantenimiento que sean sostenibles en el tiempo y que permitan reducir o eliminar los impactos de cada modo de falla aumentando la disponibilidad operativa y confiabilidad, reduciendo por ende las horas – hombre de intervención de equipos y claro está los gastos operativos en dicha flota (Pistarelli, 2017). En función de ello es necesario implementar estrategias de mantenimiento que reduzcan los gastos operativos de la flota de camiones CAT 793 durante los años 2016 y 2017 considerando además que cualquier acción preventiva y proactiva puede mejorar el desempeño de los equipos luego de evaluar su factibilidad técnica y más aún su viabilidad económica (Moubray, 2006), con respecto a la disponibilidad.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera el diseño e implementación de estrategias de mantenimiento enfocados en el ciclo de vida de la flota de camiones CAT 793C se relaciona con los costos globales en minería a tajo abierto?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación entre el diseño e implementación de estrategias de Mantenimiento enfocados en el ciclo de vida y el Costo Global de la flota de camiones CAT 793C en minería a tajo abierto

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del área de mantenimiento de la flota de camiones CAT793C en el último año mediante cuadros de tendencias.
- Diseñar e implementar las estrategias de mantenimiento enfocadas en el ciclo de vida de los equipos.
- Analizar las relaciones entre las estrategias de mantenimiento y los costos globales de la flota de camiones.
- Evaluar financieramente la implementación de las estrategias propuestas en un periodo de evaluación de 12 años.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

Según su Propósito: Aplicada

Esto debido a que la investigación se centró en encontrar mecanismos o estrategias que permitieron lograr un objetivo concreto. Por consiguiente, el tipo de ámbito al que se aplica es muy específico y bien delimitado.

Según su profundidad: Correlacional

En esta modalidad investigativa se tiene como propósito evaluar la relación que existe entre dos o más variables o conceptos.

Según la Naturaleza de Datos: Cuantitativa

Se centró en el estudio y análisis de la realidad a través de diversos procedimientos basados en la medición. Esto porque permitió un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones contrastadas a partir de hipótesis

2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos

2.2.1. Materiales:

Los materiales requeridos para el desarrollo del presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

- Material bibliográfico, literatura relacionada a la gestión de activos y la gestión del mantenimiento industrial
- Computadora personal portátil con softwares apropiados para el procesamiento de datos.
- Papel, lapiceros, cuadernos de apuntes y otros artículos de escritorio para la redacción del informe final
- CD's, USB, para al almacenamiento de la información de forma electrónica
- Engrapador, perforador, Folder.
- Impresora, tonner.

2.2.2. Instrumentos

La Tabla 1, muestra las técnicas e instrumentos que fueron requeridos para la recopilación de la información necesaria para el presente trabajo de investigación cada una asociada a los indicadores propuestos de cada uno de los objetivos específicos.

La técnica más usada fue el de análisis de base de datos y su posterior interpretación, esto debido a que la mayoría de los datos que se analizaron se encontraron en bases históricas almacenados en los diferentes sistemas que maneja el proceso de mantenimiento y operaciones de la empresa minera.

Para el caso de la disponibilidad, se tuvo que revisar la información de las paradas de la flota de camiones almacenada diariamente en el sistema Jigsaw que es administrado y actualizado por el dispatch de operaciones y mantenimiento en función del reporte del operador asignándose el tipo de parada del equipo, posteriormente se realizó el cálculo de disponibilidad en función de las horas operativas del equipo.

Del mismo modo sucede con el tiempo de vida útil de cada camión de la flota, información que es registrada en el sistema AMT por el área de planeamiento y estrategia en función de las horas de instalación de los componentes o de la puesta en marcha de los equipos.

Se indican además las fuentes de información bibliográfica de donde son obtenidos los datos para cada instrumento utilizado, tanto interno del área de mantenimiento y operaciones como fuentes externas referidos a libros y publicaciones confiables.

Tabla 1: Matriz de Técnicas e Instrumentos

Fuente: Elaboración propia

Matriz de Técnicas e Instrumentos				
Objetivo Específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente Bibliográfica de la Técnica
1.- Realizar un diagnóstico del área de mantenimiento de la flota de camiones CAT793 en el último año mediante cuadros de tendencias.	$Cg = Ci + Cf + Ca + Csi$ (Por año) Cg: Costo general Ci: Costo de intervenciones Cf: Costo de fallas Ca: Costo de almacenamiento Csi: Costo sobre inversiones	Revisión de base de datos	Registro de observaciones estructuradas	El arte de mantener (Pascual, 2008)

La tabla 2, nos permitió verificar si contamos con los medios necesarios para recopilar los datos y poder procesarlos posteriormente para el análisis y la propuesta de las estrategias de mantenimiento, soportados además por el personal administrativo en la interpretación de los datos.

Tabla 2: Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos

Fuente: Elaboración propia

Lista de Verificación de Técnicas e Instrumentos		
Preguntas Generales	Si / No	Acciones a Tomar
¿Se cuenta con la información relacionada a los gastos operativos anuales de la flota de camiones?	Si	
¿La información para el cálculo de la disponibilidad de la flota de camiones se encuentra ordenada para el cálculo directo del sistema Jigsaw-Dispatch?	No	La información recuperada del sistema Jigsaw solamente indica las horas de parada de los equipos, por lo que para el cálculo del indicador de la disponibilidad será necesario procesar la información y mostrar los resultados mediante las hojas de cálculo
¿El tiempo de horas de operación de los equipos y componentes está disponible?	Si	
¿Se tiene acceso directo a la información necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación?	Si	

2.2.3. Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizarán tres métodos específicos:

A. Análisis del Costo Global del Ciclo de Vida de los Activos Físicos (LCC)

Los costos globales de los equipos por unidad de tiempo están conformados por los costos de intervención, los costos de fallas, los costos de almacenamiento y los costos de sobre inversión (Pascual, 2008). En base a ello se procederá a revisar el sistema SAP dentro del módulo IW32 de la gestión de mantenimiento que es el histórico de las tareas de mantenimiento realizadas durante el año 2017, y el estudio de las horas de paradas de los equipos los cuales son registradas en el sistema Jigsaw, esto con la finalidad de determinar los costos globales de los equipos y categorizarlos por sistemas buscando oportunidades de mejora para reducir estos costos globales. (Jimenez A. , 2012).

Uno de los factores claves al momento de utilizar este método es el de categorizar adecuadamente los gastos principalmente entre los denominados CAPEX (Capital expenditure) y OPEX (Operation Expenditure) a lo largo del ciclo de vida de los equipos (García G. , 2015); de esta manera la recolección e interpretación de los datos nos brinda mayor información acerca de la estructura de los costos totales. Sin embargo, considerando que aún bajo este enfoque, la clasificación es muy extensa, fue necesario categorizar los costos por sistemas que forman parte de los equipos, esto con la finalidad de identificar aquellos sistemas que demandan mayores gastos operativos, así como también el tipo de tarea que se estuvo presentando con mayor frecuencia.

B. Fases para Implementar Estrategias de Mantenimiento

La selección de estrategias consiste en cinco fases (Johnston, 2018).

Fase 1: Establecer un Equipo de trabajo:

Consiste en contar con personas de diferentes áreas quienes deben comprometerse con su rol en el plan de acción de mantenimiento. Dentro de las características del equipo deben estar: Ser multidisciplinario, poseer autonomía para la toma de decisiones, conocer del método de trabajo.

Fase 2: Análisis Crítico:

Esta fase consiste en que el equipo conformado para la elaboración de las estrategias de mantenimiento defina adecuadamente la criticidad de los equipos hasta tres niveles: Criticidad 1, 2 ó 3 o también: Crítico, Vital o secundario para la producción. Para ello se debe valer de indicadores tales como los tiempos promedios entre fallas (MTBF), la efectividad global de los equipos (OEE), las paradas que generan pérdida de disponibilidad (Downtime), el impacto en la seguridad, el costo del mantenimiento, y el impacto en el medio ambiente. Estos factores deben ser evaluados detalladamente teniendo que llegar a un consenso todos los integrantes del equipo al definirse el nivel de importancia de cada factor.

Para ello existen varias herramientas, uno de los más conocidos es el denominado “La matriz de prioridad o de Riesgo Crítico”, el cual es útil para evaluar, categorizar y priorizar la necesidad de un activo.

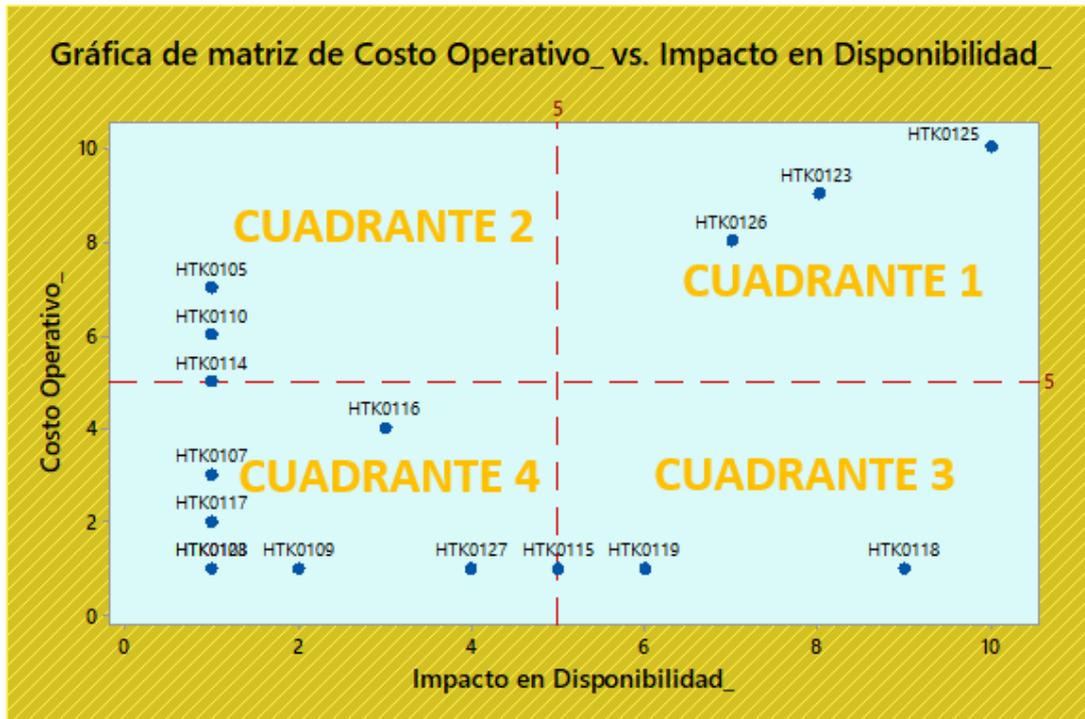
En algunos casos las empresas ya cuentan con herramientas específicas para priorizar el desarrollo de las estrategias de mantenimiento hallando la criticidad en base a una matriz de prioridad que gráficamente combina el impacto en los gastos operativos y las paradas más frecuentes.

La figura 1, muestra un ejemplo del uso de esta herramienta, donde los equipos o sistemas críticos 1 (activos físicos) se encuentran en la parte superior derecha o cuadrante 1, los de criticidad 2 en los cuadrantes 2 y 3 y los de criticidad 3 en el cuadrante 4.

Figura 1: Matriz de prioridad para identificar la criticidad de los equipos

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que los cuadrantes de mayor prioridad son el 1 y 2.



Fase 3: Análisis de la estrategia actual vs Mantenimiento Preventivo y reparaciones

Luego de haber llegado a un acuerdo en cuanto a la clasificación de criticidad, se procede a revisar cuales son las estrategias existentes de mantenimiento con la finalidad de llevar a cabo investigaciones adicionales para identificar las discrepancias entre las reparaciones y la estrategia de mantenimiento proponiendo de esta manera mejoras en el futuro.

Para ello se pueden aplicar diferentes procesos para verificar los resultados de la matriz y confirmar las clasificaciones iniciales utilizando, por ejemplo: La matriz de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA), análisis causa raíz (ACR) o un análisis de “los cinco ¿por qué?”

Fase 4: Definir y crear la nueva estrategia

Viene a ser la tarea más ardua de todo el proceso donde el equipo de trabajo debe decidir qué actividades específicas pueden aumentar la confiabilidad, la disponibilidad, la productividad, la efectividad global de los equipos (OEE) y qué actividades pueden reducir las fallas. Para esto de acuerdo al mantenimiento centrado en la confiabilidad existen cinco estrategias principales para definir una estrategia adecuada de mantenimiento

1. Mantenimiento Preventivo (PM), enfocados en reparaciones, reemplazos, inspecciones, limpieza y lubricación.

2. Mantenimiento Predictivo (PdM), enfocado en el uso de tecnologías de monitoreo basado en condiciones como análisis de vibración, análisis de aceites, inspecciones de ensayos no destructivos, termografía, tribología, entre otros.
3. Mantenimiento Proactivo, el cual utiliza los datos derivados del mantenimiento predictivo para asignar el trabajo en el momento oportuno de manera preventiva. Se identifican además las causas raíces de las fallas que generan pérdidas en el proceso.
4. Rediseño y/o mejora, se da cuando el activo no puede ser mantenido con facilidad siendo crítico, para ello se hace necesario trabajar con el fabricante de la marca para buscar alternativas o modificaciones en su producto.
5. Operar hasta que falle, simplemente se deja que el activo trabaje hasta que deje de cumplir su función deseada.

El equipo de trabajo debe determinar cuál de las estrategias se debe aplicar en solitario o de requerirse una combinación de estas para mejorar el desempeño de los equipos.

Fase 5: Actualizaciones

Posteriormente a la implementación de la estrategia, se debe monitorear para evaluar su efectividad y exhaustividad, para ello es importante tomar puntos de partida referenciales mediante indicadores y compararlos progresivamente

conforme estén operando los equipos. Si la nueva estrategia no está funcionando o no cumple con las expectativas, se deben realizar análisis adicionales para identificar las discrepancias de lo que está faltando en el enfoque actual, para ello se utiliza el enfoque del ciclo de mejora de Deming (Planificar – Hacer – Verificar y actuar) garantizando que se utilice un enfoque sensato y dinámico para extender la vida de los componentes que forman parte de los activos físicos.

C. Método Analítico

Otro de los métodos utilizados como parte del presente trabajo de investigación fue la aplicación del método analítico, el cual se centra principalmente descomponer un objeto de estudio separando cada una de sus partes para estudiarlas de manera individual (Lopera, Ramirez, Zuluaga, & Ortiz, 2010)

Como parte de este método se pudo realizar la identificación del sistema crítico que afecta al equipo tanto en costo como en disponibilidad operativa.

Luego de haber identificado el sistema crítico fue necesario identificar los equipos críticos que presentaban también altos gastos de operación y baja disponibilidad operativa. Para ello se utilizó la herramienta denominada “Matriz de prioridad” donde se pudo identificar los equipos a los cuales se les debe aplicar la estrategia de mantenimiento y el sistema específico dentro del equipo.

De esta manera el costo de implementación de las estrategias de mantenimiento es mucho menor en comparación de implementar la misma estrategia a toda la flota de camiones CAT 793C obteniendo resultados favorables para la empresa minera en términos de ahorro en costos y aumento de la disponibilidad.

La aplicación de este método nos permitió ir identificando progresivamente tanto los sistemas como los equipos que tienen mayor impacto en los indicadores claves que son parte del presente estudio de investigación.

El método analítico en conjunto con el método del análisis del costo del ciclo de vida útil de los activos nos permitió identificar de manera consistente y prioritaria el tipo de estrategia de mantenimiento y los equipos específicos donde tienen que implementarse, el cual forma parte integral de un proceso de análisis en busca de la mejora continua dentro de la gestión de mantenimiento.

2.3. Procedimiento

Para realizar el proceso de análisis de los datos se procedió a revisar la data histórica de los años 2016 y 2017, para ello se consideró seguir con la propuesta de la matriz de las técnicas e instrumentos indicados en la Tabla 1, considerando además la lista de verificación de la Tabla 2.

Durante la recolección de la información y para calcular los gastos operativos de la flota de camiones CAT 793C, se tuvo que analizar la información almacenada en las órdenes de trabajo durante el año 2016, estos datos fueron extraídos del ERP – SAP, del módulo IW32 específicamente. La información almacenada en las órdenes de trabajo permite categorizar además de la flota, los sistemas y subsistemas a la que se han realizado las actividades de mantenimiento, incluso es posible categorizar e identificar los equipos que presentan mayores gastos operativos cargados para el año en evaluación.

El resumen de los gastos totales operativos durante el año 2016 fue presentado mediante una tabla vertical donde se hace referencia a los sistemas que demandaron

mayores gastos operativos y son los que deben pasar por una evaluación mayor para poder priorizarlos.

Durante el proceso del análisis de la información, se procedió a analizar el comportamiento de la disponibilidad operativa durante el mismo periodo (2016 y 2017), esto con la finalidad de determinar si los resultados de la disponibilidad cumplieron con lo presupuestado por el área de mantenimiento mina.

Los datos fueron recopilados del sistema Jigsaw – Dispatch, el cual es un sistema de administración de producción por parte del área de operaciones donde se registran las horas de parada de los equipos, así como las causas más probables de las paradas o los denominados modos de fallas.

Para realizar el cálculo de la disponibilidad se tuvo que analizar los tiempos de operación de cada uno de los equipos dependiendo del mes de trabajo consolidando al final para toda la flota los resultados totales de operación y los tiempos totales de paradas programadas y no programadas, posteriormente utilizando la fórmula del cálculo de la disponibilidad operativa fue posible determinar la disponibilidad mensual del año 2017.

La presentación de la información se realizó mediante un gráfico de tendencia donde se compararon la disponibilidad real y la disponibilidad presupuestada de manera mensual.

Otra de las ventajas de haber realizado el análisis de las paradas de los equipos fue el de identificar aquellos sistemas que tuvieron mayor cantidad de tiempo de paradas, esta información analizada con los sistemas que tuvieron mayores gastos operativos permitió identificar el sistema crítico de la flota de camiones CAT793C. Para lograr

esto se tuvo que homogenizar las categorías de los sistemas del reporte de paradas con la información de las órdenes de trabajo.

Para el análisis de las horas de vida útil de los equipos se utilizó el sistema AMT, donde el personal de planeamiento actualiza la información cada vez que se cambia un componente, de esta manera se tiene confianza de que las horas de los componentes se asemejan a la realidad en función de las horas-horómetros trabajado por cada uno de los equipos. Esta información fue importante en el sentido de que nos brindó una idea acerca de la etapa en la que se encuentran los componentes de los sistemas críticos dentro del periodo de su vida útil, de acuerdo a ello fue posible determinar la relación existente entre la baja confiabilidad de los sistemas del equipo (mayor número de paradas) y las altas horas de operación de los componentes debido a su etapa final de vida. Alineados con la implementación de tareas proactivas, adicional a la identificación de los equipos más críticos dentro de la flota en análisis, fue posible recomendar equipos adicionales cuyos componentes tenían altas horas de operación con la finalidad de evitar un incremento en el corto plazo de los gastos de operación y baja disponibilidad operativa.

Una de las herramientas determinantes para poder realizar el análisis del presente trabajo fue el uso de la matriz de prioridad donde se cruzó la información de los gastos operativos versus las paradas con mayor impacto de los equipos analizados de esta manera la matriz permitió combinar los dos factores de evaluación siendo posible identificar con certeza el sistema crítico.

En función a los resultados obtenidos se propusieron alternativas de solución para mejorar los indicadores de los gastos operativos y la disponibilidad operativa, para ello utilizaron fuentes bibliográficas relacionadas a la gestión del mantenimiento y recomendaciones de mejores prácticas de mantenimiento de otras operaciones

similares, esto en coordinación con los representantes de la marca (proceso benchmarking).

Se propuso además un programa de implementación de las estrategias de mantenimiento identificadas y aplicadas a los equipos críticos, esto se realizó en conjunto con el área de planeamiento quienes debieron encargarse de la planificación de la ejecución de la tarea que incluye el pedido de repuestos, mano de obra, facilidades, herramientas y equipos entre otros, estimando con ello el tiempo total de la parada del equipo aproximado en 30 días.

Debido a que la implementación de la tarea estratégica de mantenimiento sigue una programación desde el año 2017, fue posible realizar el cálculo de los indicadores claves que son parte del presente estudio tales como los gastos operativos y la disponibilidad operativa, para ello las fuentes de información son similares a los considerados dentro de la etapa de diagnóstico los cuales están descritos en la Tabla 1.

El análisis financiero viene a ser un elemento importante para viabilizar la propuesta de desarrollo del presente estudio de investigación, para ello se realizó el cálculo del WACC para poder tener una referencia del valor mínimo de rentabilidad deseada, posteriormente se calculó mediante plantillas en Excel el cálculo del Valor Actual Neto y la tasa interna de retorno (VAN, TIR) en un periodo de tiempo de 12 años, tiempo

que es el recomendado para el uso de estos equipos de gran minería (Caterpillar INC., 2005)

Para ello se aplicará la siguiente fórmula:

Ecuación 1: Fórmula para calcular el WACC

$$WACC = Kdt \times \left(\frac{D}{D + P} \right) + Ke \times \left(\frac{P}{D + P} \right) \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

WACC: Costo promedio ponderado de capital

Kdt: Costo de la deuda después de impuestos

Ke: Costo del patrimonio

D: Valor o proporción de la deuda

P: Valor o proporción del patrimonio

2.4. Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación cuenta con conceptos, tablas, imágenes y gráficos, para certificar la autoría empleamos referencias bibliográficas, mencionadas en las citas textuales y parafraseadas, por lo que se manifiesta que se está respetando los derechos de autoría, con la finalidad de no perjudicar dicha investigación.

Autonomía: La presente investigación se realiza por voluntad propia sin ser presionado por otras personas.

Privacidad: Se respetará el anonimato de los participantes de esta investigación, desde el inicio de la investigación, hasta el final.

Confidencialidad: La información obtenida sólo será usada con fines de investigación y cuando se requiera.

Responsabilidad: Se cumplirán con los tiempos de ejecución para el desarrollo del presente trabajo

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Diagnóstico del área de Mantenimiento de la Flota de Camiones CAT 793

En esta primera parte del presente estudio se analizaron los resultados de los principales indicadores con la finalidad de realizar un diagnóstico situacional del desempeño de los equipos en cuanto a sus gastos operativos y su disponibilidad operativa durante el año 2016, teniendo que relacionar estos dos indicadores con el tiempo de vida útil de cada componente (Boero, 2009).

3.1.1 Desempeño de los Gastos Operativos Anuales

La Figura 2, muestra los resultados de la categorización realizada por sistema con los datos obtenidos de las órdenes de trabajo que se realizaron durante el 2016.

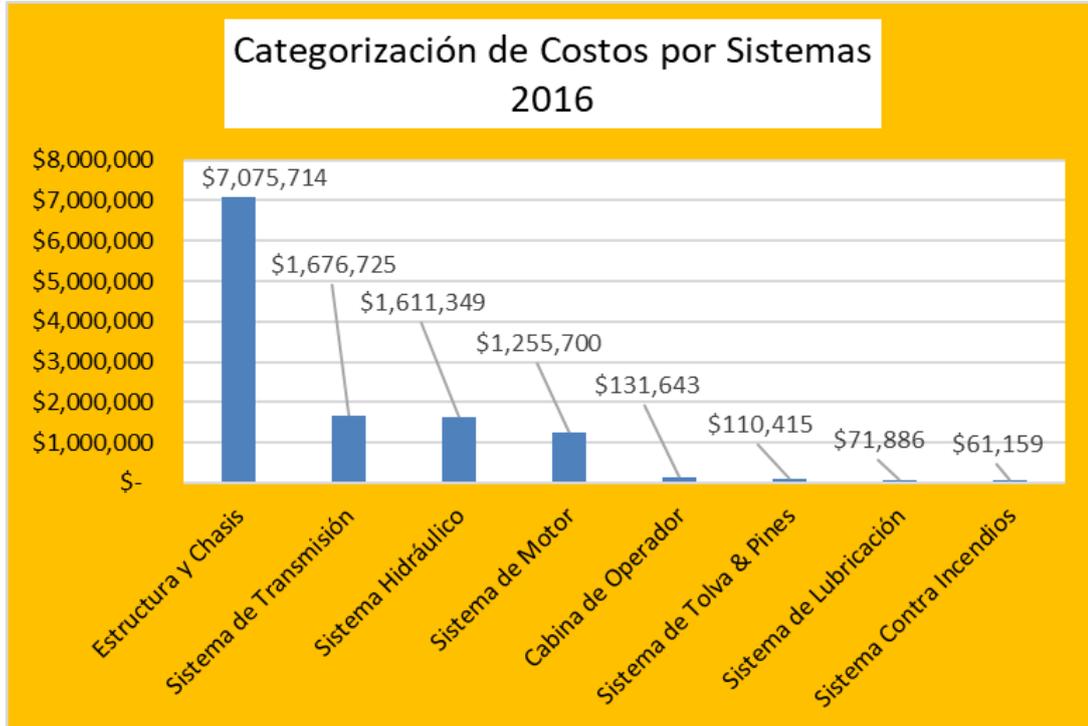
En base a esta categorización se identifican los tres sistemas críticos considerando sus costos globales asignados como parte del presupuesto a la flota de camiones del área de mantenimiento mina, estos sistemas son: Estructura y Chasis, Sistema de Transmisión y Sistema Hidráulico los cuales representan cerca del 83% del costo global de toda la flota de camiones que fue calculada en \$ 11.99 Millones.

El sistema denominado “Estructura y Chasis” está conformado por el armazón donde se soportan los componentes del equipo tales como: motores, bombas, válvulas, mangueras, entre otros y tienen la función de soportar las cargas y esfuerzos productos de la operación del equipo. Los altos costos se asignados a este sistema se concentran principalmente en fisuras presentadas en la estructura que en muchos casos requieren el cambio de parte de la estructura metálica.

Figura 2: Categorización del costo global anual del 2016 establecidos por sistema

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que los mayores costos operativos se concentran en el sistema de Estructura y Chasis.



Evidentemente en función a estos resultados, se tuvo que realizar un estudio mayor de los equipos que tienen altos costos globales causados por el sistema de Estructura y Chasis, este análisis nos permitió identificar aquellos equipos críticos que necesitan un plan estratégico de mantenimiento para disminuir tales gastos operativos (Osarenren, 2015).

Considerando que la flota de camiones CAT 793C está conformado por 30 unidades, se realizó el análisis de los gastos operativos del sistema Estructura y Chasis de los diez principales equipos que tenían altos gastos operativos con la finalidad de categorizarlos como críticos.

Los resultados son mostrados en Tabla 3, en ella se puede apreciar que cerca del 53% de los gastos operativos están concentrados en estos diez equipos solamente considerando el sistema de Estructura y Chasis lo que representa cerca de \$ 6.5M. Esto nos da una indicación de que los planes estratégicos tienen que estar orientados hacia estos equipos para obtener ganancias rápidas en la reducción de los costos globales de la flota de camiones CAT 793C

Tabla 3: Top Ten de los equipos con mayores gastos operativos del sistema Estructura y Chasis.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el camión HTK0125 es el que tuvo mayores costos operativos durante el año 2016.

Codificación de Equipos	Costo Operativo
3000-20-40-00-HTK0125	\$ 1,083,385.50
3000-20-40-00-HTK0123	\$ 998,733.89
3000-20-40-00-HTK0126	\$ 958,589.12
3000-20-40-00-HTK0105	\$ 686,955.07
3000-20-40-00-HTK0110	\$ 671,512.52
3000-20-40-00-HTK0114	\$ 456,162.66
3000-20-40-00-HTK0116	\$ 426,202.68
3000-20-40-00-HTK0107	\$ 393,792.54
3000-20-40-00-HTK0117	\$ 387,177.10
3000-20-40-00-HTK0103	\$ 374,535.00
Total, Anual 2016	\$ 6,437,046.08

3.1.2 Diagnóstico de la Disponibilidad Operativa

Un análisis similar se realizó para evaluar el desempeño de la disponibilidad operativa de la flota de camiones CAT793C, esto considerando que la reducción o falta de disponibilidad operativa impacta también en la producción, por tener menor horas disponibles, generando además un incremento de los costos globales debido

al uso de recursos humanos (mano de obra calificada para la reparación), equipos, herramientas e insumos.

Se tiene que considerar además la relación directa que existe entre la disponibilidad y la confiabilidad donde un adecuado desempeño de la disponibilidad será resultados de una alta confiabilidad del equipo, traducido esto como un equipo que tiene pocas fallas funcionales durante su proceso de producción (Torres, 2015).

De acuerdo a la Figura 3, se aprecia que durante el año 2016 se ha tenido un desempeño favorable de la disponibilidad operativa de la flota Cat793C encontrándose por encima de la disponibilidad presupuestada (línea naranja) salvo en los meses de enero, julio y diciembre donde la disponibilidad operativa real estuvo por debajo del presupuesto, lo que se traduce como un objetivo no logrado.

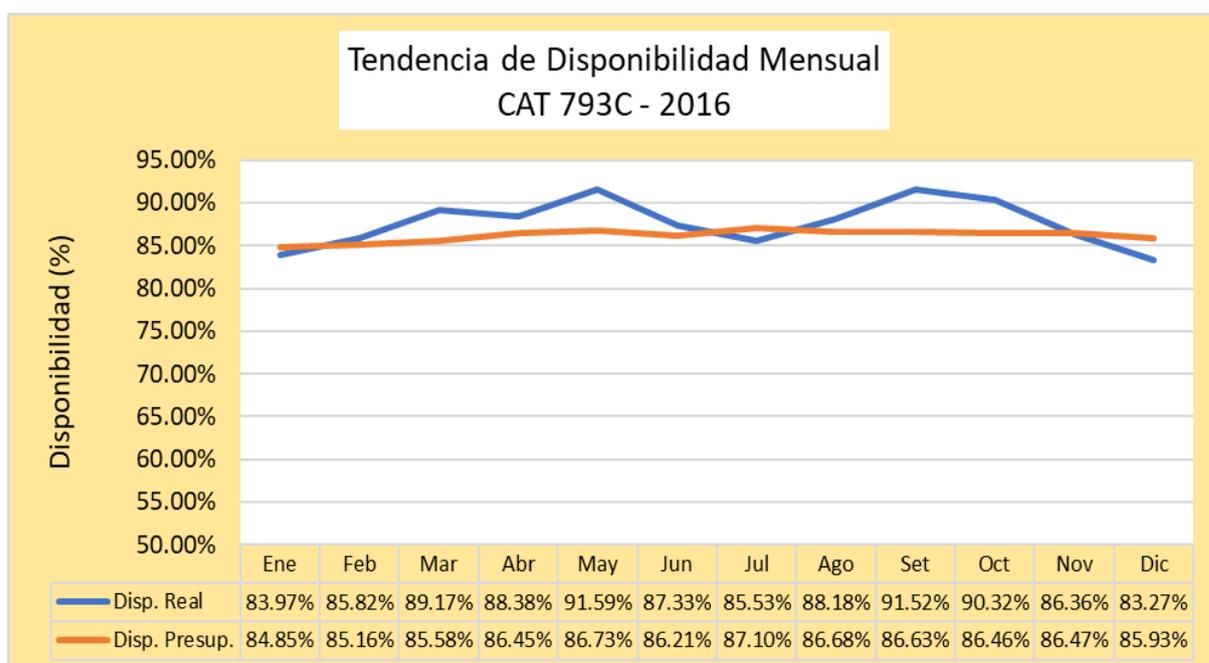


Figura 3: Desempeño mensual de Disponibilidad operativa – Flota CAT 793C, 2016

Fuente: Elaboración propia

Se puede notar que la disponibilidad real se encuentra por encima de lo presupuestado en la mayoría de los meses del 2016.

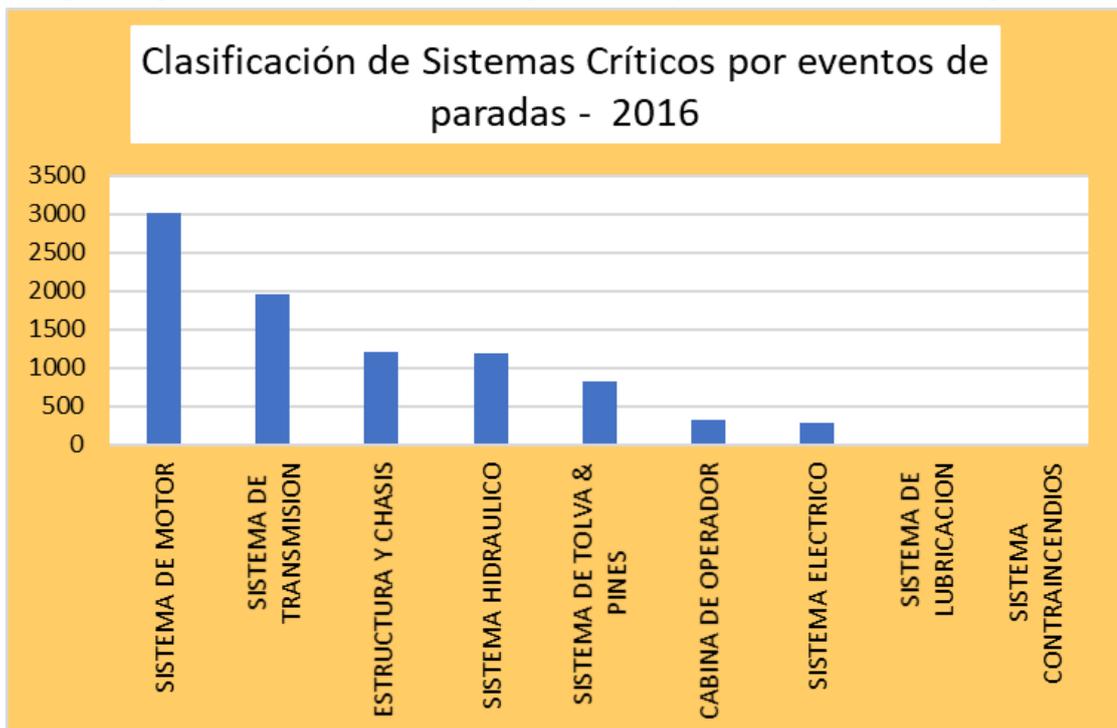
Como parte del análisis de la disponibilidad operativa, también se analizan los sistemas que tuvieron alta frecuencia y tiempo de paradas debido a fallas funcionales los cuales fueron evaluados durante el año 2016, de esta manera nos permitió identificar su relación directa con los costos globales analizados en la sección anterior.

Para realizar este análisis se tuvo que homogenizar las categorías de los sistemas, agrupándolos en términos similares a los realizados para el análisis de los costos globales con la finalidad de realizar una comparación real entre ambas variables, esto considerando que los datos provienen de fuentes diferentes.

Figura 4: Sistemas Críticos en función a las horas de parada de la Flota CAT 793C

Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia que el sistema de motor es el que tuvo mayor cantidad de horas de parada.



De acuerdo a la Figura 4, se aprecia que el “sistema de motor” tuvo un mayor impacto en el resultado de la disponibilidad operativa, seguido por el sistema de “transmisión” y “estructura y chasis” respectivamente, lo que indica que la implementación de planes estratégicos en estos sistemas mejorará el desempeño de la disponibilidad operativa de manera significativa.

La Tabla 4, muestra las horas totales de las paradas de la flota CAT 793C los cuales ascienden a 8832 horas operativas, lo que se traduce en 3.36% de la disponibilidad operativa anual, estas horas se pueden traducir en términos de costos de fallas asumiendo un costo por hora de parada en \$ 450.00 lo que nos da un resultado de cerca de \$ 4.0 M que se forma parte del costo general anual.

Tabla 4: Clasificación de Sistemas Críticos de la Flota CAT793C, 2016

Fuente: Base de datos de Jigsaw – Dispatch

Se puede notar que el sistema de motor ha tenido 3022 horas de paradas durante el año 2016 impactando en la disponibilidad de la flota.

Sistema	Horas de Parada
SISTEMA DE MOTOR	3022
SISTEMA DE TRANSMISION	1956
ESTRUCTURA Y CHASIS	1214
SISTEMA HIDRAULICO	1193
SISTEMA DE TOLVA & PINES	818
CABINA DE OPERADOR	322
SISTEMA ELECTRICO	281
SISTEMA DE LUBRICACION	18
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	8
Total	8832

De la misma forma en que se evaluaron los equipos críticos de la flota CAT 793C en función a los costos globales, se realizó un análisis similar en cuanto a los equipos críticos que tuvieron mayor cantidad horas inoperativas durante el año 2016, estos resultados son mostrados en la tabla 5, donde se aprecia que los 10 equipos mostrados representan el 62% del total de las paradas no programadas siendo el HTK124, el HTK117 y el HTK127 los equipos que presentaron mayores costos debido a fallas en toda la flota de camiones.

Se han considerado las horas inoperativas de los equipos debido a fallas funcionales, es decir mantenimiento correctivo, más no las horas inoperativas debido a mantenimiento preventivos. Este criterio es considerado como parte del estudio de confiabilidad de los equipos al enfocarnos principalmente en la búsqueda de las causas raíces que generan las fallas en los equipos (Pistarelli, 2010).

Tabla 5: Top Ten de equipo con mayor cantidad de horas de parada durante el 2016

Fuente: Base de datos de Jigsaw - Dispatch

Equipo	Horas de Parada
3000-20-40-00-HTK124	644
3000-20-40-00-HTK117	618
3000-20-40-00-HTK127	597
3000-20-40-00-HTK109	588
3000-20-40-00-HTK107	571
3000-20-40-00-HTK120	516
3000-20-40-00-HTK128	514
3000-20-40-00-HTK116	510
3000-20-40-00-HTK121	458
3000-20-40-00-HTK130	440
Total	5456

Los camiones HTK124 y el HTK117 son los equipos con mayor cantidad de horas de parada durante el año 2016.

3.1.3 Desempeño del Ciclo de Vida Útil de los equipos

Una de las causas comunes de la baja confiabilidad y por ende baja disponibilidad de los equipos así como el incremento de los gastos operativos del mismo es debido a las altas horas de operación de los componentes que lo conforman, esto sustentado en el incremento de la tasa de falla debido al desgaste generado por efectos de la fatiga principalmente lo que reduce su desempeño de funcionamiento (Moubray, 2004)

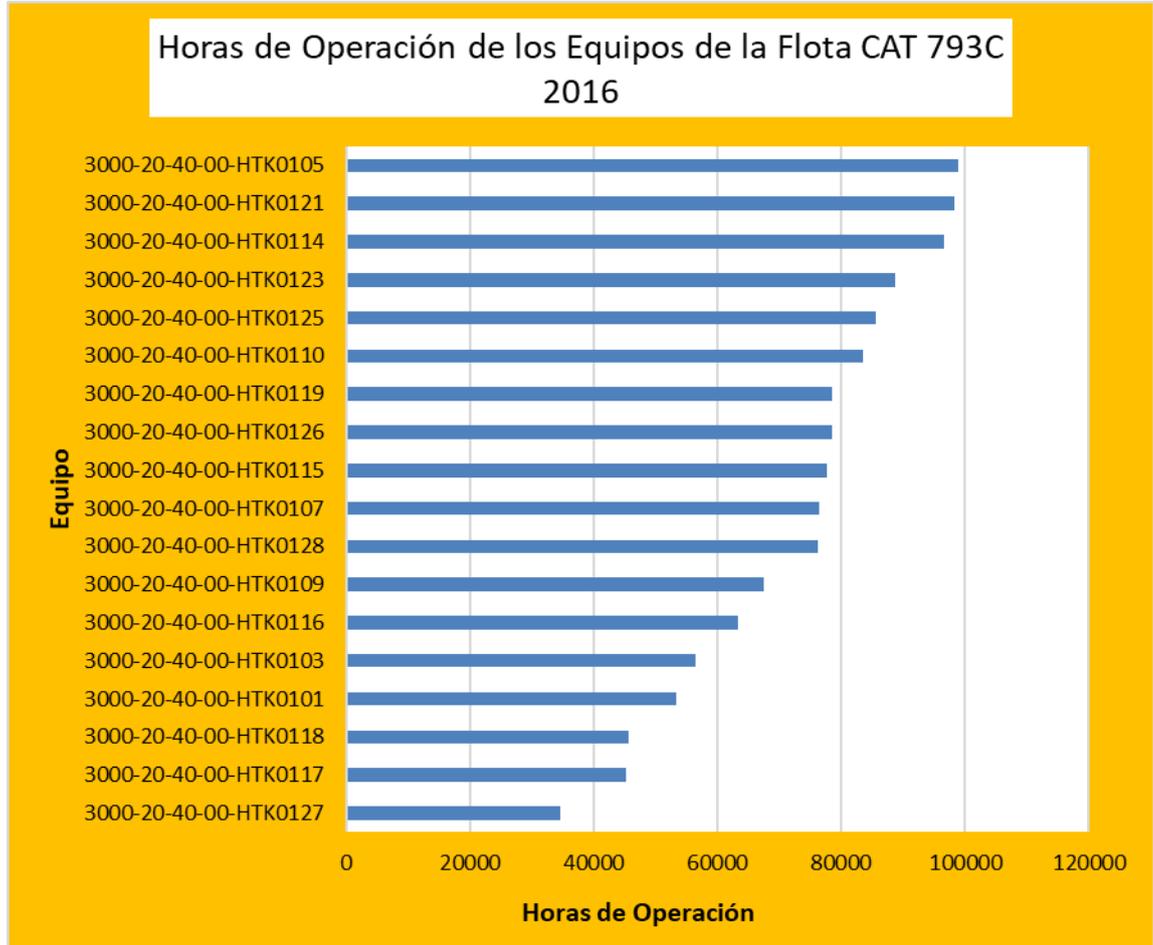
Para ello en función de los equipos críticos tanto por su impacto en los costos y disponibilidad operativa analizados anteriormente se realizó el análisis de las horas operativas hasta el 2016 para tomarlo como referencia y evaluar su efecto en el desempeño de estos indicadores.

Los resultados se muestran en la Figura 5 ordenados de manera descendente concluyendo que los equipos con altas horas de operación con más de 80 000 horas (12 años aproximadamente) son los que presentan mayores problemas de confiabilidad, que se ven reflejados en su impacto tanto en disponibilidad como en sus gastos operativos.

Figura 4: Horas de operación de los equipos críticos hasta el año 2016

Fuente: Sistema AMT – Mantenimiento Mina

Los equipos que tienen más de 80 000 horas de operación presentan alta probabilidad de falla en el sistema de Estructura y Chasis.



En base a esta información será recomendable cruzar información tanto de los costos globales como de las horas de parada de los equipos que tienen altas horas de operación como son: 3000-20-40-00-HTK0105, 3000-20-40-00-HTK0121 y el 3000-20-40-00-HTK0114 principalmente.

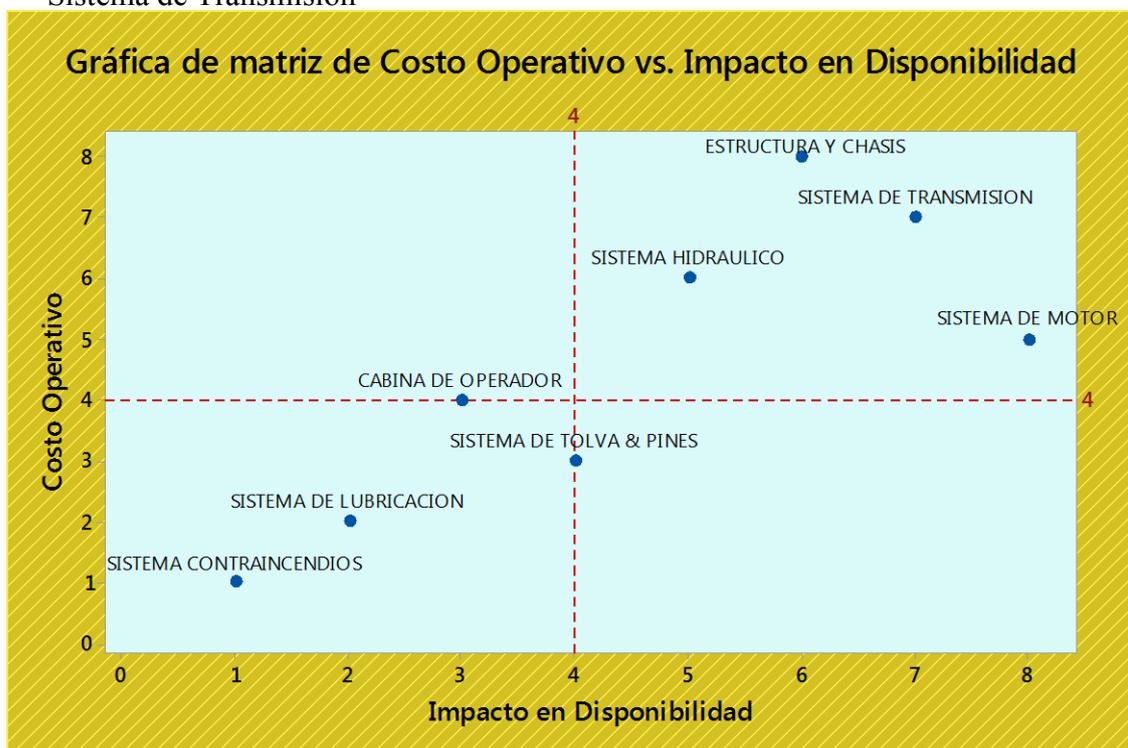
3.1.4 Matriz de Prioridad para determinar el Sistema Crítico de la Flota Cat 793C

Una forma de identificar los sistemas críticos de la flota CAT 793C es aplicando la matriz de prioridad, para ello se categorizaron en orden de mayor a menor los sistemas que tuvieron mayor impacto en los gastos operativos (eje “Y”) y aquellos sistemas que impactaron en la disponibilidad debido a las horas de parada no programadas (eje “X”), los resultados son mostrados en la Figura 6, donde se aprecia que los sistemas críticos se sitúan en el cuadrante superior derecho.

Figura 5: Matriz de prioridad de Sistemas en relación a sus Gastos Operativos & Impacto en Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas que mayor impacto representan en la flota son “Estructura y Chasis” y “Sistema de Transmisión”



De acuerdo a estos resultados los tres sistemas críticos en los cuales debemos enfocarnos son:

- 1.- Estructura y Chasis
- 2.- Sistema de Transmisión
- 3.- Sistema de Motor

Dado la naturaleza de nuestro estudio, el cual está enfocado en la optimización e impacto en los costos globales, se consideró el sistema de Estructura y Chasis como aquel sistema que requiere de un plan estratégico de mantenimiento que sea efectivo con la finalidad de mejorar nuestro proceso tanto en confiabilidad como en presupuesto.

3.1.5 Matriz de Prioridad para Identificar los Equipos Críticos de la Flota CAT 793C

Si bien es cierto que se logró identificar el sistema crítico que tiene mayor impacto negativo en el proceso a nivel de la flota CAT 793C, la otra pregunta que nos realizamos es: ¿En qué equipos debe implementarse el plan estratégico de mantenimiento?

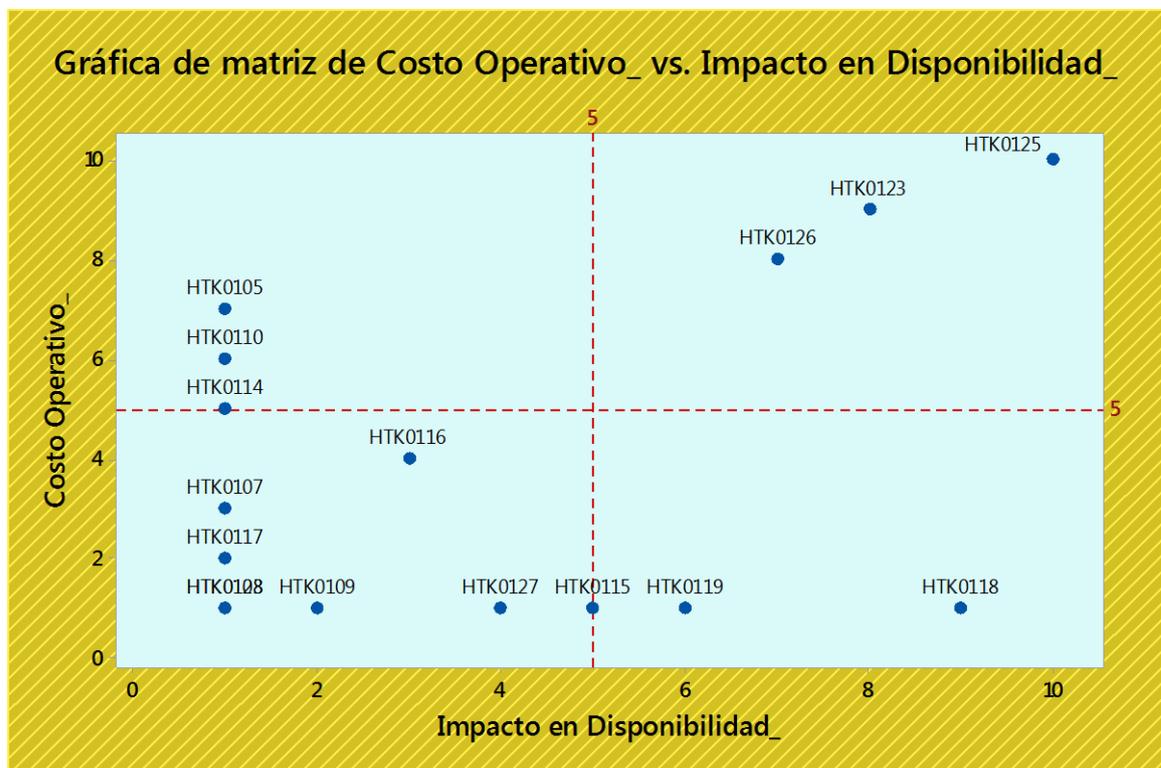
No es posible ni factible desde el punto de vista económico ni técnico implementar dichas estrategias en los 30 equipos que forman parte de la flota de camiones pues para ello se tendría invertir grandes recursos económicos en repuestos, así como horas hombre, materiales e insumos.

Para ello se realizó un análisis similar al utilizado en la sección anterior de la matriz de prioridad considerando solamente los equipos críticos tomando como base su desempeño en el sistema de Estructura y Chasis.

Figura 6: Matriz de prioridad de Equipos en relación a los Gastos Operativos & Impacto en Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Los equipos críticos son los representados en el primer cuadrante.



De acuerdo al análisis de la matriz de prioridad por equipos mostrados en la Figura 7, se aprecia que los equipos donde debe implementarse la estrategia de mantenimiento para mejorar los gastos operativos son:

- 3000-20-40-00-HTK125
- 3000-20-40-00-HTK123
- 3000-20-40-00-HTK126

Considerando además como fuente de entrada para el análisis, las horas de antigüedad de los equipos evaluados en la Figura 5 los cuales tienen altas horas de operación en comparación con los equipos indicados anteriormente se tuvo que considerar incluir dentro de la implementación del plan estratégico de mantenimiento los siguientes equipos:

- 3000-20-40-00-HTK0105
- 3000-20-40-00-HTK0110
- 3000-20-40-00-HTK0114
- 3000-20-40-00-HTK0121

El criterio de incluir estos equipos dentro de la implementación de la estrategia de mantenimiento está sustentado en el enfoque del mantenimiento proactivo, esto quiere decir prevenir anticipadamente eventos similares de incremento de los gastos operativos e impacto en la disponibilidad en el corto o mediano plazo debido a los efectos del desgaste (García, 2017), de los equipos por haber alcanzado su ciclo de vida útil estimado en 80 000 horas (Aprox. 12 años de operación)

3.2 Propuesta de Estrategias de Mantenimiento desde el punto de vista económico y su factibilidad técnica

Como parte del análisis de los tres indicadores estudiados en la sección anterior se realizó una matriz de prioridad con la finalidad de enfocar las estrategias de mantenimiento hacia un sistema en particular (Martin, 2017), esto debido a que no es técnica ni económicamente factible realizar mejoras en todos los sistemas del equipo debido a los

altos recursos que demanda y el impacto en la disponibilidad operativa por tener el equipo detenido ejecutando las tareas de mantenimiento programado.

3.2.1 Propuesta de Estrategia de Mantenimiento enfocado en el Ciclo de Vida Útil de los Equipos

Analizando con detalle las estrategias de mantenimiento que deben considerarse para mejorar el desempeño del sistema de Estructura y Chasis de los equipos se tuvo que definir el concepto de cambio de componentes modulares tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 7: Concepto modular de reemplazo de componentes de un camión CAT793C

Fuente: Elaboración propia

El concepto modular está referido a considerar el cambio de componentes de un sistema en particular.



De acuerdo a este concepto modular, se considera que todos los componentes del camión son módulos del camión por lo que se pueden implementar las siguientes estrategias de mantenimiento: Compra de nuevos componentes, reparación mayor o parcial.

Considerando que, como parte del análisis, el Chasis del equipo viene a ser el componente que presenta el problema de fondo, se plantearon las siguientes estrategias específicas:

Estrategia 1: Operar el componente hasta su falla (Run to Failure)

Estrategia 2: Cambio de ventanas del chasis (overhaul)

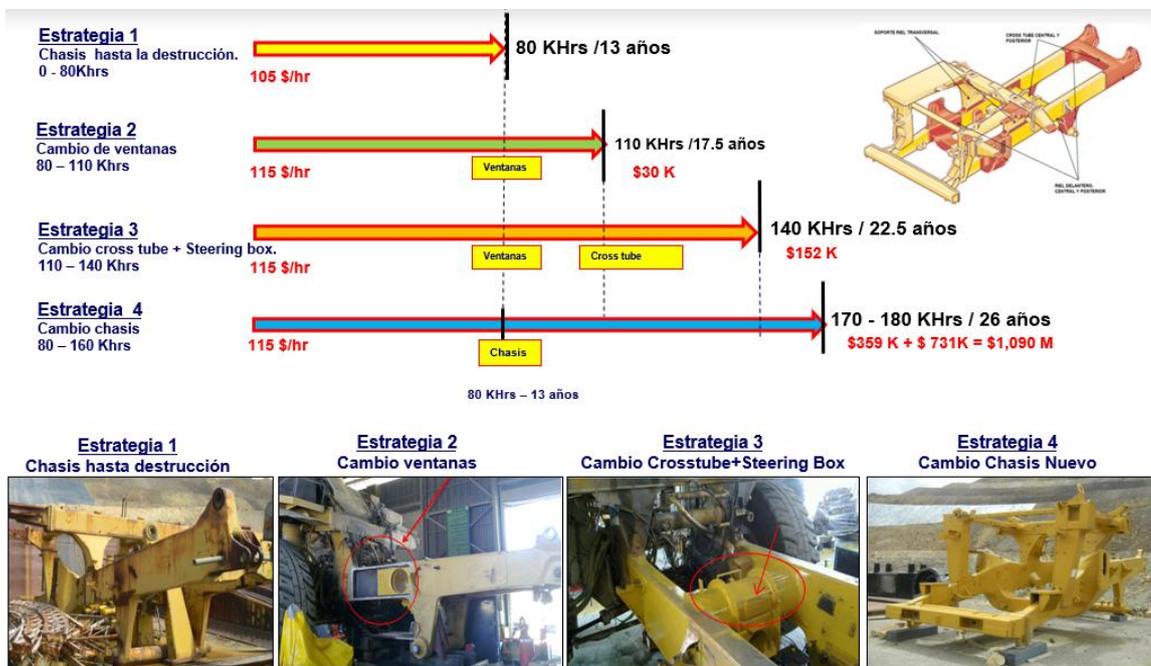
Estrategia 3: Cambio de Cross Tube & Steering Box (Overhaul)

Estrategia 4: Cambio de Chasis (Reemplazo Preventivo)

Estas estrategias son representadas en la Figura 9, considerando las horas estimadas de operación a la cual se espera puedan llegar a trabajar.

Figura 8: Representación Gráfica de las Estrategias de mantenimiento propuestas

Fuente: Elaboración propia



De las cuatro estrategias propuestas se seleccionó la Estrategia 4 “Cambio de Chasis” debido a los siguientes criterios:

- Posibilidad de incrementar las horas operativas del camión con la finalidad de que puedan operar en otros proyectos de explotación de mineral
- Ser parte integral de las estrategias de confiabilidad del equipo, es decir aprovechar la parada del equipo para realizar otras tareas de mantenimiento (Repotenciar el equipo)
- Reducción de paradas de equipo debido a soldadura de fisuras generadas en el chasis por las altas horas de operación del componente debido principalmente por la fatiga del material base.
- Menor riesgo en seguridad durante la ejecución del trabajo, debido a que se consideró que el trabajo de cambio del componente tenía que ser realizado por un contratista tercerizado especializado.

- Menor impacto en el medio ambiente, esto debido a que las estrategias restantes consideraban la reparación del componente mediante técnicas de soldadura lo que genera gases y vapores nocivos tanto para el personal como para el medio ambiente.

3.2.2 Evaluación y Selección de la estrategia de Mantenimiento Recomendada

Para seleccionar la estrategia de mantenimiento que se adecúa mejor a los requerimientos de la operación se procedió a utilizar la herramienta de ponderación de criterios considerando para ello seis elementos que son claves para el proceso de mantenimiento y operaciones los cuales están indicados en la Tabla 6.

Cada uno de estos criterios fueron evaluados en conjunto con el personal de ejecución, planeamiento, estrategia, costos y operaciones con la finalidad de asignar los valores de ponderación consensuados. Posteriormente se realizó la estimación numérica por cada una de las estrategias propuestas numeradas del 1 al 4 donde el de mayor valor indica que presenta mayores ventajas en comparación con los de menor valor.

En base a ello se realizó el análisis cuantitativo para la selección de la estrategia de mantenimiento más conveniente obteniendo un valor de 2.8 puntos para el caso de la estrategia 4 el cual consiste en “Cambio del Chasis” en función de las horas de operación, es decir que este tipo de estrategia se consolida como un plan de mantenimiento preventivo donde se define la frecuencia de cambio de estos chasis, evaluado en 80 000 horas.

Tabla 6: Cuadro resumen de selección de estrategia de mantenimiento utilizando el método cuantitativo

Fuente: Elaboración propia.

	Valor	Estrategia 1	Estrategia 2	Estrategia 3	Estrategia 4
Criterios de Evaluación					
Alineado con el ciclo de vida de la operación minera	0.1	1	2	3	4
Alineado al plan de Confiabilidad del Equipo	0.2	1	3	3	3
Aumento de la confiabilidad de la estructura	0.2	1	2	3	4
Reducción de exposición del personal para evitar accidentes personales	0.15	4	2	2	3
Reducción de emisión de productos nocivos al medio ambiente	0.1	4	1	1	3
Costo de Implementación de la estrategia	0.25	4	2	2	1
Resultado	1	2.5	2.1	2.4	2.8

De acuerdo a la evaluación realizada, la Estrategia 4 presentó mayores ventajas en el criterio relacionado a la extensión de las operaciones mineras en los próximos 12 años, utilizando para ello los equipos que han sido seleccionados para la implementación de la estrategia de cambio de chasis, de la misma manera al extenderse los años de operación, será conveniente que la estructura presente una

confiabilidad mayor durante los siguientes años. Si bien es cierto que el costo de implementación de esta estrategia es elevada, ésta se ve justificada por la reducción de los gastos operativos así como la reducción de paradas no programadas reportadas por operaciones, además de ello el poder extender la vida útil del chasis nos da la ventaja de poder extender también la vida útil del equipo mismo teniendo que conservar para ello la operatividad y funcionalidad de los demás componentes tales como: Motor, Transmisión, eje posterior, entre otros componentes. De acuerdo a la información del proveedor de la marca Caterpillar el costo del chasis se encuentra en un rango del 30% 35% del precio de un camión nuevo, considerando este rango resulta conveniente realizar la inversión inicial del cambio de chasis descartando la compra de equipos completos nuevos para la operación en otros frentes de trabajo en el futuro.

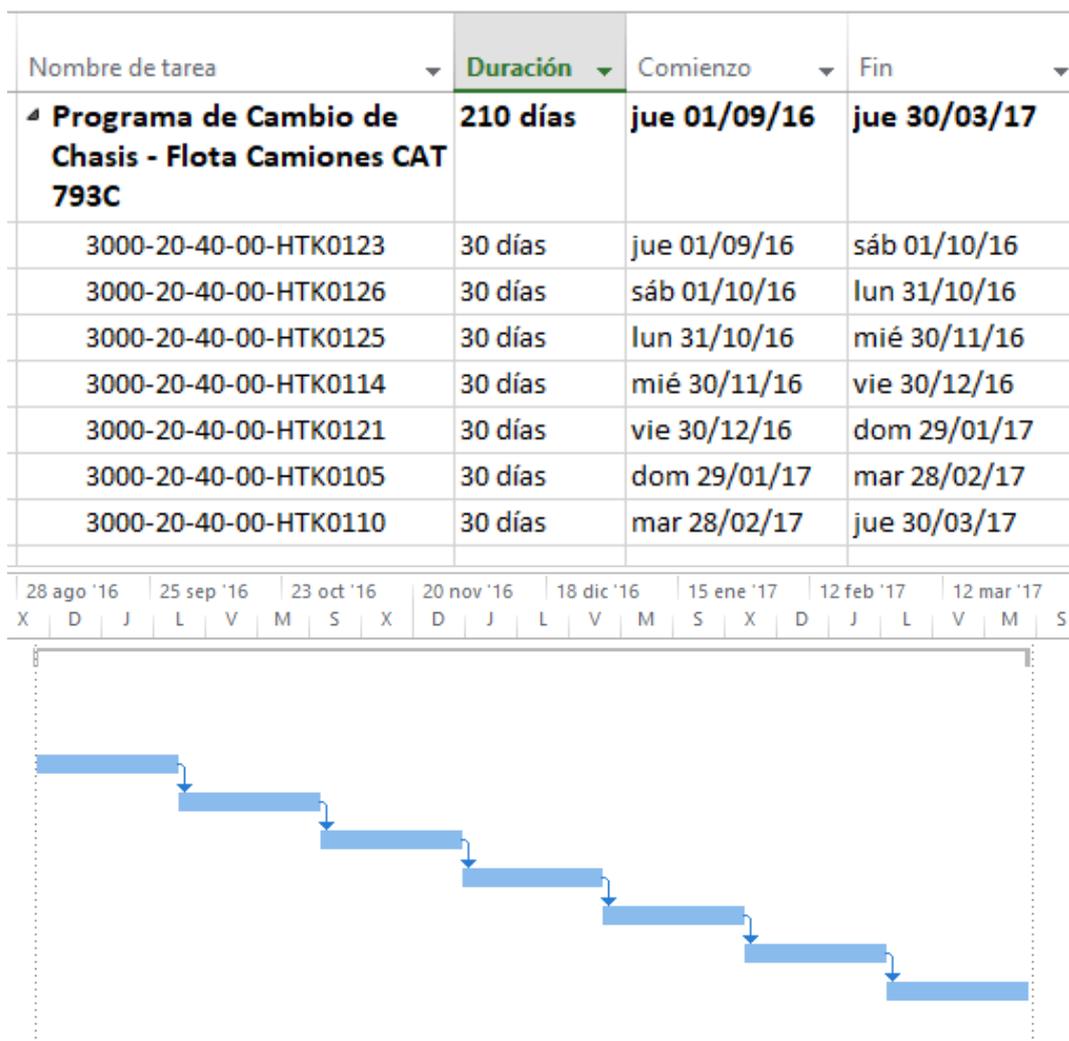
3.3 Análisis de Relación entre las estrategias de Mantenimiento y los gastos operativos de la flota de camiones

3.3.1 Programa de Ejecución de la estrategia de mantenimiento

Luego de haber identificado los equipos a los cuales se les tiene que implementar la estrategia del Cambio de Chasis, fue necesario realizar una programación del ingreso programado de los equipos para que el plan sea ejecutado. El tiempo de ejecución se estimó en 30 días, la frecuencia de ingreso de los siete camiones debería ser realizado en serie, es decir, se culmina un equipo e ingresa otro, esto con la finalidad de tener un impacto menor en la disponibilidad operativa de toda la flota de camiones asegurando con esto el plan de producción mediante el movimiento de tierra por parte de operaciones.

El proceso de programación consiste en definir una fecha y hora de ingreso de los equipos, por lo que el seguimiento de la ejecución del trabajo por parte del área de planeamiento cumple un rol crítico con la finalidad de cumplir el programa en la fecha propuesta.

Figura 9: Programa de Implementación de la estrategia de cambio de Chasis – CAT 793 C
Fuente: Elaboración propia



Para ello se tuvo que realizar una carta Gantt de las fechas de ingreso de los equipos, como los mostrados en la Figura 10, donde se puede apreciar que el plan de

ejecución de todo el trabajo debería realizarse en 210 días, considerando para ello un trabajo diario de 24 horas por día. El Trabajo debería iniciarse el 01-Sep-16 y culminar el 30-Mar-17. Ese programa de ejecución de las estrategias de mantenimiento permitió, además, estimar las disponibilidades para los siguientes meses considerando que un equipo estará fuera del proceso de producción debido a las reparaciones en el taller.

3.3.2 Plan de Ejecución de la estrategia de mantenimiento

Uno de los criterios para la selección óptima de la estrategia de mantenimiento, es la alineación al plan de confiabilidad del equipo. El plan de confiabilidad consiste en realizar actividades proactivas de mantenimiento con la finalidad de que el activo continúe cumpliendo la función deseada durante el mayor tiempo posible, estas actividades de mantenimiento tienen que ser realizadas durante las ventanas de oportunidad de parada de los equipos, preferentemente cuando las paradas son programadas.

Por la naturaleza del trabajo de Cambio de Chasis, de acuerdo al procedimiento de ejecución, es necesario desmontar todos los componentes principales del equipo tales como: Motor, Transmisión, Convertidor, Cabina, Mandos Finales, Diferencial y conjunto de bombas, válvulas y líneas hidráulicas. El realizar este tipo de actividades requiere que el planificador asegure que materiales, repuestos, equipos, herramientas, personal y las facilidades estén presentes cuando se programe la ejecución de la estrategia de mantenimiento, aparte de ello se tiene que realizar actividades de mantenimiento predictivo tales como inspecciones NDT en búsqueda de discontinuidades o fisuras en la estructura del equipo.

Por lo tanto, la ejecución de esta estrategia de mantenimiento debe permitir aplicar al mismo tiempo un plan integral de confiabilidad sobre los demás componentes y partes internas del equipo, siendo el planificador aquel que facilite todos los recursos y programe todas las tareas pendientes en el sistema (órdenes de trabajo como backlogs) posteriormente el área de ejecución debe asegurar realizar los trabajos con calidad y dentro de los tiempos estimados coordinando constantemente para evitar desviaciones en el plan inicial.

La Figura 11, muestra el modelo de una carta Gantt utilizada para mejorar el proceso de ejecución de la estrategia de mantenimiento propuesto en el presente estudio de investigación, esto con la finalidad de facilitar al personal de ejecución ejecutar las actividades en secuencia para no desviarse de la fecha de culminación del trabajo. Este reporte tuvo que ser actualizado diariamente por cada guardia de turno identificando las causas de las desviaciones y tomando las acciones correctivas cada vez que se presentaban demoras en la ejecución del trabajo.

Al aplicar la herramienta carta Gantt, se identificó la ruta crítica de las actividades de todo el proceso de reparación (marcado en rojo), lo que permitió llevar el control de los tiempos y secuencia lógica de las tareas generadas, así mismo el personal de mantenimiento y planeamiento tenían presente que las demoras en las actividades críticas generarían la extensión de la fecha de entrega del equipo.

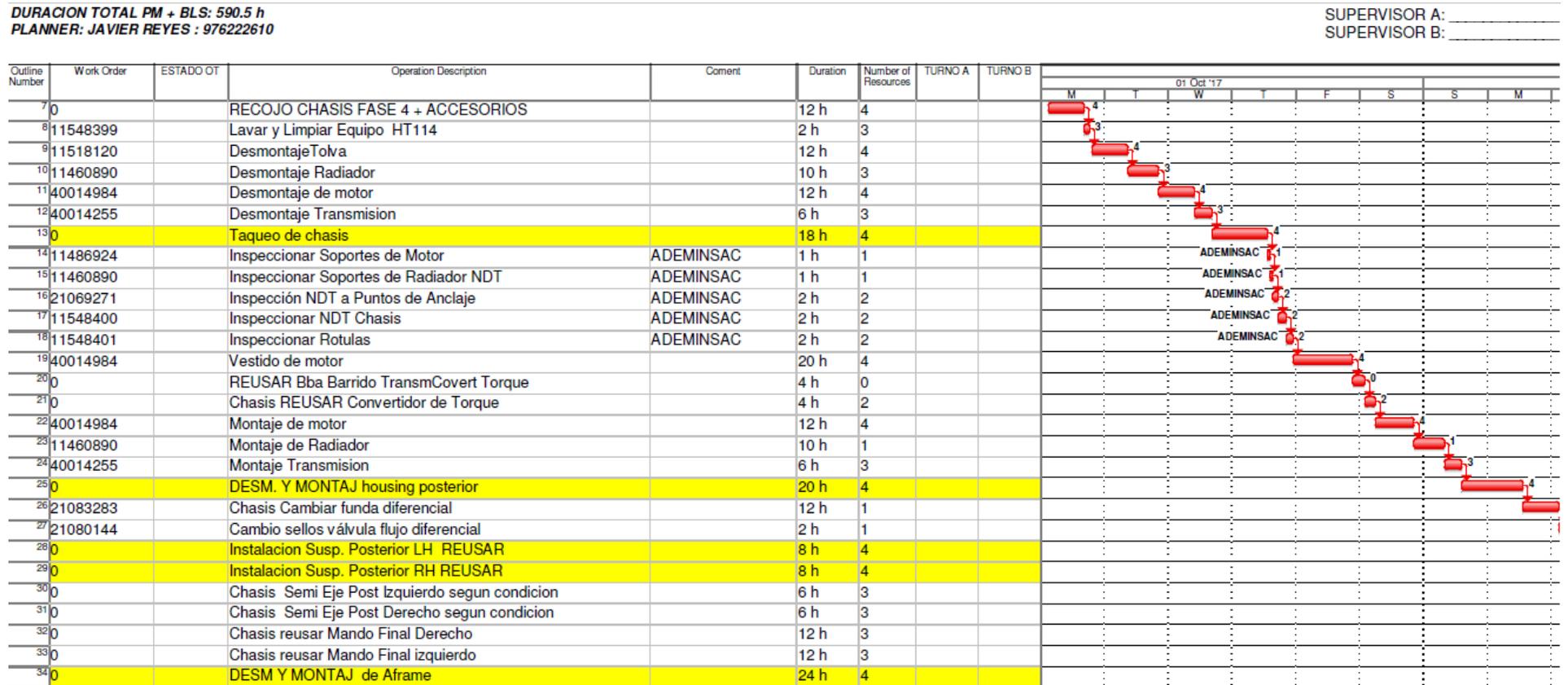
Como parte de las actividades rutinarias de mantenimiento que se pudieron aprovechar al momento de la ejecución de la estrategia propuesta se encuentran:

- Inspección con ensayos no destructivos de las zonas que normalmente son inaccesibles.

- Cambio de componentes que se encuentran cerca del fin de su vida útil como parte del mantenimiento preventivo.
- Ejecución de trabajos pendientes en las órdenes de trabajo que necesitaban de una parada mayor del equipo.

Figura 11: Modelo de Carta Gantt utilizado en la planificación para la ejecución de la estrategia de mantenimiento de Cambio de Chasis

Fuente: Área de planeamiento Mina, Se muestra la ruta crítica de las actividades principales para el desarrollo del Cambio de Chasis



3.3.2 Desempeño de los Gastos Operativos Anuales luego de la implementación de la estrategia de Mantenimiento

El proceso de implementación de la estrategia de cambio de Chasis se realizó de acuerdo el programa propuesto y en función a la planificación realizada por el área de planeamiento el cual culminó en marzo de 2017, posteriormente se evaluaron nuevamente los gastos operativos durante el año 2017 categorizándolos por los mismos sistemas que fueron considerados en la etapa inicial de diagnóstico obteniendo los resultados mostrados en la Figura 12.

Figura 10: Detalle de Gastos Operativos por Sistema – 2017 Flota CAT793C

Fuente: Elaboración propia



De acuerdo a la Figura 12, se aprecia que el costo operativo total de la Flota CAT 793C durante el año 2017 fue de \$ 5.28 M el cual representa un 56% menor que los obtenidos durante el año 2016.

Específicamente esta reducción se presenta en el sistema de “Estructura y Chasis” donde se ha implementado la estrategia de Cambio de Chasis en siete de los treinta equipos que conforman la flota de camiones, si bien es cierto que el resultado de estos costos globales puede tener diversas variables para su resultado final, es claro que la ejecución de la estrategia propuesta ha sido gravitante para obtener su reducción significativa.

Otro de los factores de evaluación y comparación fue el de verificar los equipos que inicialmente presentaban altos costos globales y por ende fueron considerados como críticos para la implementación de la estrategia propuestas, el resultado de la evaluación durante el año 2017 se muestra en la Tabla 7 donde se puede apreciar que seis de los 10 equipos presentados en la Tabla 3 aún se mantienen dentro del Top ten de los equipos que presentan los mayores gastos operativos de toda la flota de camiones, sin embargo se puede también apreciar que existe una reducción de cerca del 71% con respecto a los gastos operativos obtenidos durante el año 2016, esto asociado también a la reducción de los gastos totales de toda la flota de camiones.

La aplicación continua del método propuesto nos permite iniciar nuevamente un proceso de análisis para seguir identificando las oportunidades de mejora para reducir aún más los costos globales de la flota de camiones CAT793C, sosteniendo de esta manera el ciclo de calidad de Deming que consisten en Planificar, hacer, revisar y actuar.

Tabla 7: Clasificación de Equipos con altos gastos operativos durante 2017

Fuente: Elaboración propia

Se muestran los camiones que tuvieron mayor impacto en los costos operativos durante el 2017, siendo el HTK0107 el mayor costo operativo.

Codificación de Equipos	Costo Operativo
3000-20-40-00-HTK0107	\$ 416,529.18
3000-20-40-00-HTK0114	\$ 299,033.30
3000-20-40-00-HTK0123	\$ 181,371.98
3000-20-40-00-HTK0125	\$ 153,769.32
3000-20-40-00-HTK0126	\$ 96,126.39
3000-20-40-00-HTK0117	\$ 94,872.66
3000-20-40-00-HTK0121	\$ 77,064.77
3000-20-40-00-HTK0127	\$ 74,882.31
3000-20-40-00-HTK0113	\$ 68,550.75
3000-20-40-00-HTK0124	\$ 62,267.05
Total, Anual 2017	\$ 1,524,467.71

3.3.3 Desempeño de la Disponibilidad Operativa luego de la implementación de la estrategia de Mantenimiento

Siendo la disponibilidad operativa uno de los objetivos principales del área de mantenimiento, es necesario que sea medido y comparado luego de que se implementen las estrategias relevantes para la conservación y mejora del desempeño de los equipos, esto teniendo en cuenta que toda actividad estratégica debe estar enfocado en la obtención de mayor confiabilidad, mejora mantenibilidad e incremento de la disponibilidad a un costo óptimo efectivo (Parra, 2012).

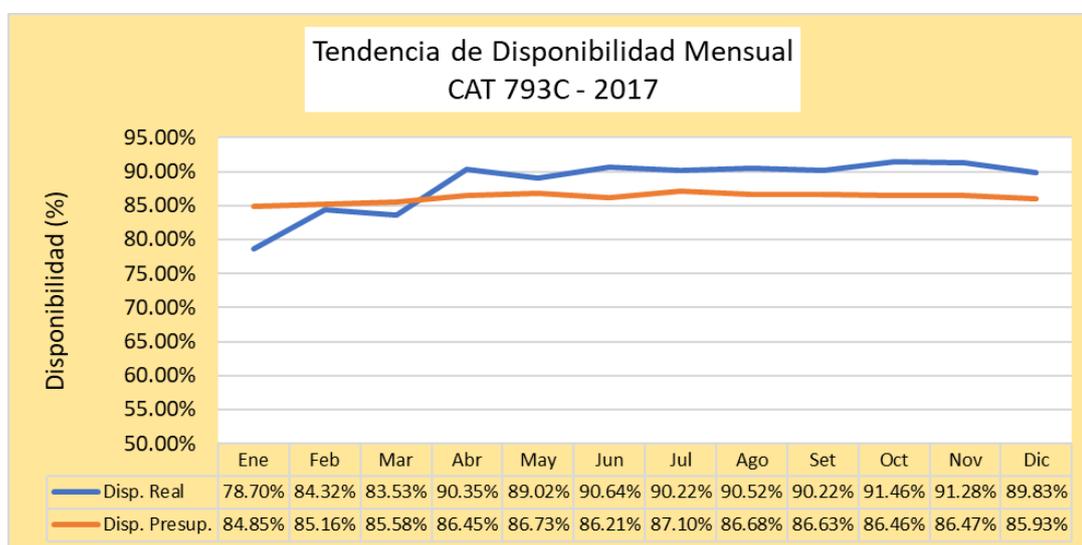
En función a ello en la Figura 13, se presentan los resultados mensuales de la disponibilidad operativa obtenidos durante el año 2017, donde se aprecia que se los valores reales de disponibilidad estuvieron por encima de lo presupuestado en cerca

de 2.33% aproximadamente lo que nos indica que la estrategia de mantenimiento implementada tuvo resultados favorables en cuanto a la mejora de la disponibilidad e indirectamente en la confiabilidad de los equipos de la flota de camiones CAT793.

Figura 11: Desempeño de la disponibilidad operativa durante el año 2017

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la disponibilidad real se encuentra por encima de la disponibilidad presupuestada.



Esta afirmación se puede sustentar con los resultados mostrados en la Tabla 8, donde se muestran los sistemas de los equipos que tuvieron mayor cantidad de horas de parada durante el año 2017.

Tabla 8: Clasificación de los sistemas operativos en función de las horas de parada – 2017

Fuente: Elaboración propia

Clasificación de los sistemas en función de las horas de parada de los equipos, se aprecia que el sistema de transmisión es el que tuvo mayor cantidad de horas de paradas durante el 2016.

Sistema	Horas de Parada
SISTEMA DE TRANSMISION	1843.42
SISTEMA HIDRAULICO	1359.90
SISTEMA DE MOTOR	1311.70
ESTRUCTURA Y CHASIS	1115.77
SISTEMA DE TOLVA & PINES	1022.45
CABINA DE OPERADOR	511.93
SISTEMA ELECTRICO	237.47
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	117.35
SISTEMA DE LUBRICACION	46.17
Total	7566.15

Comparando estos resultados con los del 2016 mostrados en la Tabla 4, se aprecia que el sistema de “Estructura y Chasis” ocupa una posición inferior debido a menores horas de paradas calculadas en 98 horas aproximadamente.

Si bien es cierto que estas horas de parada evitadas no son tan representativas en comparación con las horas totales de operación, hay que considerar que dentro de estas horas se encuentran las horas programadas debido a la ejecución de la estrategia realizado hasta el mes de marzo del año 2017.

Estos resultados nos permiten identificar que la estrategia implementada de cambio de chasis mejora la disponibilidad operativa de un equipo en particular y al haberse

implementado en los equipos más críticos, el incremento de la disponibilidad en toda la flota de camiones CAT793C

3.4 Evaluación Financiera de la implementación de la estrategia propuesta

Desde el punto de vista técnico se ha comprobado que la propuesta de implementación de la estrategia de cambio de chasis es viable debido a los resultados favorables en disponibilidad (mayor cantidad de horas operativas) y confiabilidad (reducción de las paradas no programadas).

Como parte de la evaluación financiera procedemos a calcular el Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC) con datos asumidos con la finalidad de poder realizar una comparación acerca de la rentabilidad mínima de que debemos obtener para considerar la propuesta de investigación como viable desde el punto de vista económico.

Para ello se aplicó la fórmula de la Ec.1 descrita en la sección de métodos del presente trabajo de investigación.

Se consideraron los siguientes valores:

Monto total de Inversión = \$ 4 025 000.00

De los cuales, el 50% fue cubierto con capital de la empresa y el restante 50% mediante apalancamiento financiero, en base a ello se determinan los valores de D y P

D = \$ 2 012 500.00

P = \$ 2 012 500.00

Se estimaron también los factores del costo de la deuda y del patrimonio en base a estimaciones del área de costos de la empresa minera

$$Kdt = 8\%$$

$$Ke = 14\%$$

Realizando el cálculo utilizando la ecuación EC.1

$$WACC = 0.08 \times \left(\frac{2\,012\,500}{2\,012\,500 + 2\,012\,500} \right) + 0.14 \times \left(\frac{2\,012\,500}{2\,012\,500 + 2\,012\,500} \right)$$

$$\rightarrow WACC = 11\%$$

Esta tasa WACC calculado en 11% será un valor referencial que deberá ser considerada para poder compararlo con los resultados del VAN y el TIR.

Para determinar el flujo de caja se han considerado los siguientes conceptos

Tabla 9: Inversión para ejecutar el proyecto

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Unidad	Cantidad	Total	
Chasis OHT 793	\$	354,150	7	\$ 2,479,050
Repuestos y Accesorios	\$	47,111	7	\$ 329,780
Mano de Obra	\$	86,400	7	\$ 604,800
Traslado de componentes	\$	44,139	7	\$ 308,971
Trabajos de Soldadura	\$	43,200	7	\$ 302,400
			Total	\$ 4,025,001

Como parte de la inversión para ejecutar el proyecto se han considerado la compra de Chasis de los camiones, los repuestos y accesorios, la mano de obra de los técnicos mecánicos, el transporte por el traslado de los componentes, así como los trabajos de

soldadura para realizar la instalación de los componentes para cada uno de los siete equipos propuestos.

De la misma manera se ha considerado el mantenimiento anual de cada una de los Chasis de los camiones para mantener su conservación y evitar la aparición de fisuras críticas en su estructura.

Tabla 10: Costos relacionados al mantenimiento anual de Chasis

Fuente: Elaboración propia

Concepto	Unidad	Cantidad	Total	
Trabajos de soldadura	\$	13,620	7	\$ 95,340
Repuestos y Accesorios	\$	13,500	7	\$ 94,500
Inspecciones Predictivas NDT	\$	2,880	7	\$ 20,160
			Total	\$ 210,000

Dentro del mantenimiento propuesto para asegurar la operatividad de los equipos durante los siguientes 12 años se ha considerado la inspección mediante técnicas predictivas para determinar las fisuras en su estructura y que puedan ser reparadas antes de convertirse en críticas, reduciendo para ello los costos elevados en reparación y materiales, así como evitar que el material base se fragilice.

En cuanto a los ingresos se ha considerado la reducción de los costos operativos por concepto de que se tendrá menores reparaciones por tener un componente nuevo, este ahorro se ha estimado en \$ 1.2M anuales que representan el 10% del total de los costos del 2016.

También se estima tener un aumento de disponibilidad operativa lo que se refleja en mayores horas de producción considerando para ello 90 horas adicionales de producción a un costo horario de \$ 450.00, se estima tener un ahorro de \$ 40 500.00 por año.

En función de ello se ha realizado la matriz de flujo para evaluar la factibilidad económica del proyecto el cual es mostrado en la tabla 11.

Tabla 11: Matriz de Flujo de Caja Anual para evaluación de la viabilidad económica del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Concepto	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Inversión & Mtto	\$-4,025,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000
Ahorro en Costos		\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000
Aumento de Horas Operativas		\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500
Flujo Anual	\$-4,025,000	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500

Concepto	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Inversión & Mtto	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000	\$ -210,000
Ahorro en Costos	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000
Aumento de Horas Operativas	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500	\$ 40,500
Flujo Anual	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500	\$1,030,500

Parámetro	Valor
WACC	11%
TIR	24%
	\$
VAN	2,401,237

* WACC: Costo promedio ponderado de capital

* TIR: Tasa interna de retorno

* VAN: Valor actual neto

De acuerdo al flujo de efectivo anual durante los 12 años de evaluación de la inversión (no se considera el año 2016 por ser el inicio de la inversión, sin embargo, los cálculos consideran la inversión de este año), se obtuvieron los resultados del VAN = \$ 2.4M y TIR = 24%, el detalle del cálculo es mostrado en la Tabla 9.

Para ello se ha considerado como parte de la inversión inicial el costo de \$ 4 025 000.00 para la implementación de la estrategia que consiste en el cambio del Chasis y los accesorios o aditamentos necesarios para realizar el trabajo a cada uno de los siete equipos considerados como parte del trabajo de investigación, se considera además un gasto anual total de \$ 210 000.00 por concepto de mantenimiento de la estructura para alcanzar el ciclo de vida útil de 12 años.

Como parte de los beneficios o ingresos anuales, se ha considerado un ahorro del 10% de los gastos totales de mantenimiento teniendo como referencia al año 2016 esto bajo un escenario conservador y considerando solamente que la estrategia se implementará en siete equipos, este ahorro fue estimado en \$ 1.2M.

Otro de los beneficios fue el de incrementar las horas operativas de los equipos, el cual fue estimado en 90 horas anuales, esto debido a que se reducirán las horas de parada por efectos de mayor confiabilidad de los equipos, este beneficio se estimó en \$ 40 500.00 por año.

El valor obtenido del TIR = 24% es mayor al WACC = 11%, lo que demuestra que la rentabilidad real del proyecto es mayor al esperado, además considerando la tasa del WACC para el cálculo del VAN obtenemos un valor presente neto mayor a cero. Estos parámetros nos indican que el proyecto es viable financieramente.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los gastos operativos de la flota de camiones CAT793C a lo largo del año 2016 donde se tuvo que categorizar por sistemas que forman parte de los equipos con la finalidad de identificar aquellos sistemas que representan mayores gastos operativos para el área de mantenimiento (Pistarelli,2010), tal como también lo manifiestan Ramírez J. & Moreno H. en su investigación denominada “Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad de máquinas referenciados en las normas SAE JA1011 y SAE JA1012” donde incide en clasificar adecuadamente los componentes mecánicos y eléctricos de mayor criticidad con la finalidad de generar planes de mantenimiento a futuro que incrementen la disponibilidad de las máquinas reduciendo aumentando el tiempo entre fallas y como consecuencia directa la reducción de los costos operativos de los equipos. Los resultados nos indican que existe una gran oportunidad de reducción de costos en los sistemas de “Estructura y Chasis”, “Sistema de Transmisión” y “Sistema Hidráulico”, el sistema de Estructura y Chasis presenta un gasto anual de \$ 7.1 M, por lo que fue necesario enfocarnos en este sistema para reducir los gastos operativos anuales.

El siguiente factor de análisis fue el cálculo de la disponibilidad mensual durante el año 2016, donde se aprecia que durante los meses de enero, julio y diciembre no se logró superar la disponibilidad presupuestada por el área de mantenimiento, esto debido a las altas horas de paradas de los equipos tanto por paradas programadas, como no programadas. Para identificar correctamente los sistemas que tuvieron mayor impacto en la disponibilidad operativa, se categorizó de forma similar al de los costos

globales los mismos sistemas determinando que los sistemas de “Motor”, “Transmisión” y “Estructura y Chasis” son los que representan mayores tiempos de paradas, proceso similar al que se desarrolló Carlos Parra y Adolfo Crespo mediante su publicación de “Métodos y análisis de criticidad y jerarquización de Activos” donde incide en la jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función y la capacidad para implementar mejoras continuas e implementación de nuevas tecnologías. Las horas de paradas por efectos de baja confiabilidad se traduce como pérdidas económicas para el proceso de producción de movimiento de tierra (Pascual, 2008), por lo que el incremento de las horas operativas permitirá mover mayor cantidad de material o en su defecto disminuir la cantidad de equipos en función a la disponibilidad presupuestada en conjunto con el área de operaciones, esto permitirá también reducir los gastos operativos de la flota de camiones CAT793C administrados por el área de mantenimiento mina. Siendo ambos factores, costos globales e incremento de la disponibilidad, importantes para el proceso se utilizó la matriz de prioridad para identificar el sistema crítico y posteriormente los equipos críticos donde tiene que aplicarse la estrategia específica, esto siguiendo el método de selección de estrategias (Johnston, 2018).

En lo que corresponde a “Identificar y seleccionar la estrategia de mantenimiento de acuerdo al sistema crítico”, se procedió a evaluar qué actividades estratégicas de mantenimiento se pueden realizar considerando para ello las horas de operación del chasis y tal como lo manifiesta C. Boero “La selección adecuada de las estrategia de mantenimiento será fundamental para el éxito de un programa de gestión de mantenimiento asegurando el desempeño de los equipos” es necesario conocer las estrategias de mantenimiento actuales, así como el desempeño que han tenido durante

el proceso de gestión de mantenimiento. Por la característica del componente se procedió a plantear cuatro alternativas, siendo el más conveniente la estrategia de “Cambio de Chasis” el cual obedece a una estrategia de sustitución cíclica o de mantenimiento preventivo al considerar el tiempo de cambio preventivo en 80 000 horas de funcionamiento.

Se determina también que existe una relación positiva entre la aplicación de la estrategia propuesta y la reducción de los gastos operativos totales de la flota de camiones CAT 793C, así como lo demuestra Rodríguez M. en su trabajo de investigación denominado “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de los equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca” donde incide en la mejora de los procesos de reparación teniendo como estrategia la capacitación del personal, la disponibilidad de los materiales y repuestos, la reducción de los tiempos de nuestros; estrategias que permiten reducir también los costos operativos de la flota de equipos analizados. Esto se aprecia al mostrar los resultados obtenidos luego de la implementación progresiva del cambio del chasis en siete equipos críticos, dando como resultado un ahorro del 56% durante el año 2017.

El análisis financiero para evaluar la factibilidad de la propuesta mostró que se supera la rentabilidad mínima esperada del WACC del 11% obteniendo un TIR de 24% lo que demuestra que la propuesta es rentable a lo largo de los 12 años del ciclo de vida del chasis, para ello se consideró un escenario conservador al considerar un ahorro del 10% de los gastos operativos totales de mantenimiento.

4.2 Conclusiones

- El diagnóstico integral de los principales factores que afectan al área de mantenimiento que administra la flota de camiones CAT793C, permitió analizar principalmente los costos globales, la disponibilidad operativa asociados a las horas de parada por eventos o fallas imprevistas identificando que los costos globales ascendían a los \$ 11.9M durante el 2016 y las horas de parada en 8832 horas lo que representa un 3.36% de impacto en la disponibilidad operativa.
- La aplicación práctica del método de selección de estrategias, combinado con el análisis del ciclo de vida útil de los equipos nos permite seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada para reducir los gastos operativos totales de la flota de camiones CAT 793C, para ello se realizó la estratificación de los sistemas y equipos para identificar aquellas unidades donde será aplicada la estrategia, así como su prioridad identificándose hasta cuatro tipos de estrategias de mantenimiento donde mediante la herramienta de métodos ponderados se seleccionó la Estrategia de “Cambio de Chasis” el cual pertenece a una estrategia de mantenimiento preventivo o de sustitución cíclica.

No es posible aplicar la estrategia a los treinta equipos que forman parte de esta flota, por ello se aplicó la estrategia de cambio de chasis a solo siete equipos críticos, tres de ellos identificados mediante la matriz de prioridad y los cuatro restantes como medida proactiva debido a la cercanía de las 80 000 horas del chasis.

- Mediante el análisis de los resultados posteriores a la implementación de la estrategia de mantenimiento se pudo comprobar la relación con los costos globales donde existe una reducción importante calculado en un 56% alcanzando valores de \$ 5.2M durante el 2017 así como un aumento de 98 horas operativas anuales lo que indica una mayor confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- La evaluación financiera se realiza tomando en cuenta el costo promedio ponderado del capital (WACC), asumiendo igual cantidad de inversión propia y de financiamiento, con la finalidad de poder realizar los cálculos de los parámetros del TIR y el VAN, que fueron de \$ 2 401 237.00 y del 24% respectivamente, lo que demuestra que la selección de estrategia es técnicamente factible y económicamente viable.

REFERENCIAS

- Arata, A., & Funaletto, L. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Boero, C. (2009). *Mantenimiento industrial*. Argentina: Jorge Sarmiento Editor.
- Campo, C. (2013). Tipos de Costos de Mantenimiento. 10.
- Caterpillar INC. (2005). *Performance Metrics for Mobile Mining Equipment*. USA: Caterpillar.
- Felipe, L. (18 de Octubre de 2017). *Confiabilidad Integral del Activo*. Obtenido de Confiabilidad Integral del Activo: <https://goo.gl/3E7hvp>
- García, G. (2013). *Ingeniería de Mantenimiento, manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. España: Renovotec.
- García, G. (2015). *La Reducción de Costes de Mantenimiento*. Madrid: Renovotec Ingeniería.
- García, O. (17 de Octubre de 2017). *Gestión Integral de Mantenimiento Basado en Confiabilidad*. Obtenido de Gestión Integral de Mantenimiento Basado en Confiabilidad: <https://goo.gl/7mdvpe>
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Fundación EOI.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.DE C.V.
- Jimenez, A. (09 de Abril de 2012). *Mantenimiento Latino Americano*. Obtenido de Costo del Ciclo de Vida de un Activo: <https://maintenancela.blogspot.com/2012/04/costo-del-ciclo-de-vida-de-un-activo.html>
- Jimenez, F., & Espinoza, C. (2007). *Costos industriales*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.

- Johnston, M. (11 de junio de 2018). *Como seleccionar la estrategia de mantenimiento adecuada*. Obtenido de Reliabilityweb.com:
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/selecting-the-correct-maintenance-strategy>
- Lopera, J., Ramirez, C., Zuluaga, M., & Ortiz, J. (2010). El Método Analítico como Método Natural. *Revista crítica de ciencias sociales y jurídicas*, 27.
- Martin, D. (30 de Abril de 2017). *Estrategia Práctica*. Obtenido de Matriz de Prioridades - Guía Práctica: <https://www.estrategiapractica.com/matriz-prioridades-guia-practica/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. North Carolina: Edwards Brothers.
- O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical Reliability Engineering*. Gran Bretaña: Wiley.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated Reliability: Condition Monitoring and Maintenance Equipment*. USA: CRC Press.
- Parra, C. (2012). *Técnicas de Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos*. México: Ingeman.
- Pascual, R. (2008). *El Arte de Mantener*. Santiago: Universidad de Chile.
- Perez, Rodriguez, & Sancho. (2007). *Mantenimiento de Máquinas*. España: Universidad Jaime I.
- Pistarelli, A. (2010). *Manual de Mantenimiento, Ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires: RyC.
- Ramirez, J., & Moreno, H. (2017). *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-treme del parque mundo Aventura tomando como referencia las normas SAE JA1011 y SAE JA1012*. Bogotá: Tesis para obtener grado de ingeniero mecánico.

Reliabilityweb. (13 de Diciembre de 2017). *Definición de las frecuencias para un plan de mantenimiento*. Obtenido de Reliabilityweb A culture of Reliability:

<https://goo.gl/gDGZhY>

SMRP. (2009). *Maintenance and Reliability Body of Knowledge - Best Practice Metrics*. Tennessee: SMRP.

Torres, L. (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento*. Córdoba: Marcombo S.A.

Watkins, S., & Orchiston, N. (2016). *ISO 9001-2015 A pocket guide*. Bran Breña: IT Governance Publishing.

ANEXOS

Anexo n°.1. Matriz de Consistencia Metodológica

MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA							
Formulación del problema	Objetivo	Hipotesis	Variable	Dimensiones	indicadores	Item (ver apéndice)	Instrumento
1. General	1. General			Y1: Costo de intervenciones (Ci)	Cg = Ci + Cf + Ca + Csi (Por año)	Y1, Y2, Y3, Y4	Registro de Observaciones estructuradas
¿Cómo el diseño e implementación de estrategias de mantenimiento se relaciona con los gastos operativos de la flota de camiones CAT 793 ?	<p>Determinar la relación entre el diseño e implementación de estrategias de Mantenimiento y el costo global de la flota de camiones CAT 793 en minería a tajo abierto</p> <p>2. Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar un diagnóstico del área de mantenimiento de la flota de camiones CAT793 en el último año mediante cuadros de tendencias. - Diseñar e implementar las estrategias de mantenimiento en base a los costos globales, las paradas de los equipos y las horas de los componentes críticos - Analizar las relaciones entre las estrategias de mantenimiento y los costos globales de la flota de camiones. - Evaluar financieramente la implementación de las estrategias propuestas. 	Existe relación positiva entre el diseño e implementación de las estrategias de mantenimiento y los costos globales de la flota de camiones CAT793 en minería a tajo abierto	Y. Costos Globales de Mantenimiento (Cg)	Y2: Costos de Fallas (Cf)			
				Y3: Costos de Almacenamiento (Ca)			
				Y4: Costos sobre inversiones (Csi)			
				X1: Estrategias de sustitución cíclica - Reemplazo	Avance de implementación (%) = (Qty estrategias implementadas)/(Qty estrategias propuestas)x100		
X2: Estrategias de restauración cíclica - Overhaul							
X3: Estrategia Condicional o de mantenimiento predictivo							
X4: Estrategia de Operar hasta la falla							

Anexo n°.2. Instrumento de Recolección de Datos del Costo Operativo Anual

Observación de Datos

Aplicado a: Flota de Camiones CAT 793 - Mantenimiento Mina - MYSRL
Fecha: 2016-2017

DOMINIO Y1: Costo operativo anual

Y1.1	Y1.2	Y1.3	Y1.4
Descripción de Tarea	Costo	Fecha	Equipo
Cambiar Chasis	374,535.00	31/01/2016	3000-20-40-00-HTK0126
(Chasis) Cambiar Chasis	374,535.00	29/02/2016	3000-20-40-00-HTK0125
Cambiar Chasis	374,535.00	31/03/2016	3000-20-40-00-HTK0116
Cambiar Chasis	374,535.00	31/05/2016	3000-20-40-00-HTK0117
(Chasis) Cambiar Chasis	374,535.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0123
Cambiar Chasis	374,535.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0114
Cambiar Chasis	374,535.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0103
Cambiar Chasis	350,000.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0107
(Chasis) Servicio cambio de chasis	313,980.00	31/10/2016	3000-20-40-00-HTK0126
(Chasis) Servicio cambio de chasis	313,980.00	31/10/2016	3000-20-40-00-HTK0110
(Chasis) Servicio cambio de chasis	313,980.00	31/10/2016	3000-20-40-00-HTK0105
(Chasis) Cambiar Chasis	313,980.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0125
Chasis HTK0135 Cambio de componentes	313,980.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0135
(Chasis) Cambiar Chasis	313,980.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0123
(Chasis) Pedido basico mecanico cataloga	150,459.55	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0125
(Chasis) Pedido basico mecanico cataloga	140,098.35	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0123
(Chasis) Rep parcial motor combustion	99,811.20	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0105
(Chasis) Pedido complemen mecanico catz	76,841.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0125
(Chasis) Reparar cabina de operador	65,674.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0125
(Chasis) Reparar cabina de operador	65,674.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0110
(Chasis) Reparar cabina de operador	65,674.00	30/11/2016	3000-20-40-00-HTK0126
(Chasis) Reparar cabina de operador	65,674.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0123
(Chasis) Reparar cabina de operador	65,674.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0105
Chasis HTK0135 Cambio de componentes	65,674.00	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0135
(Chasis) 2do listado rptos mecanicos	59,591.32	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0105
CHASIS Accesorios main frame	56,180.68	31/07/2016	3000-20-40-00-HTK0110
(Chasis) Cambio funda diferencial	42,241.14	31/08/2016	3000-20-40-00-HTK0126
Chasis HTK0135 MAQUINA Adicional	39,777.66	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0135
(Chasis) Pedido basico electrico catalog	39,557.59	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0123
(Chasis) Pedido basico electrico catalog	39,408.51	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0125
(Chasis) 2do listado rptos mecanicos	37,255.44	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0105
Chasis HTK0135 CHASIS	35,069.53	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0135
Chasis HTK0135 SIST ELECTRICO	29,246.74	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0135
CHASIS Instalacion accesorios chasis 2,	26,550.14	31/07/2016	3000-20-40-00-HTK0110
CC Chasis Reparación Sistema main frame	25,007.90	31/07/2016	3000-20-40-00-HTK0105
CC Chasis Reparación Sistema main frame	25,003.28	31/08/2016	3000-20-40-00-HTK0126
CC Chasis Reparación Sistema electrico	24,350.06	31/08/2016	3000-20-40-00-HTK0126
CC Chasis Reparación Sistema plataform/c	24,118.27	31/07/2016	3000-20-40-00-HTK0105
CC Chasis Reparación Sistema electrico	23,398.88	31/07/2016	3000-20-40-00-HTK0110
(CHASIS) Cambio A Frame 793C	22,435.88	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0126
(Chasis) Cambiar Enfriador Frenos Post	21,286.73	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0110
(Chasis) Cambiar Enfriador Frenos Post	20,728.04	30/09/2016	3000-20-40-00-HTK0105
(Chasis) Cambiar Enfriador Frenos Post	20,728.04	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0123
(Chasis) Cbiar Enfriador Frenos Post	20,728.04	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0125
(CHASIS) Cambio A Frame 793C	20,727.44	31/12/2016	3000-20-40-00-HTK0110

Anexo n°. 3. Instrumento de recolección de datos del tiempo de parada de los equipos

Observación de Datos				
----------------------	--	--	--	--

Aplicado a: Flota de Camiones CAT 793 - Mantenimiento Mina - MYSRL
 Fecha: 2017

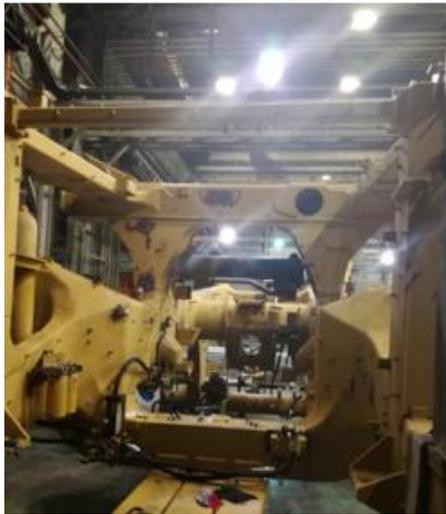
DOMINIO Y2: Disponibilidad operativa
 SUBDOMINIO Y2.1 Tiempo disponible para operar

--

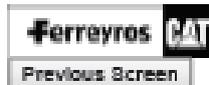
Y2.1	Y2.2	Y2.3	Y2.4	Y2.5
Fecha	Equipo	Descripción de la Parada	Flota	Tiempo
01-Ene	HT105	,GB,PM Total,Mantenimiento Preventivo,Blgs 2000 hras + Pre Carga Afra	793C	1.17
01-Ene	HT119	,GE,Desgaste,Llanta,Cbio llantas 1,2 y 3	793C	4.20
01-Ene	HT124	,GE,PM Motor,Mantenimiento Preventivo,PM050 Cbio Aceite Sintetico	793C	3.08
01-Ene	HT120	,GR,Evento Electrico,Sensor de Temperatura de Frenos,Temp freno RH F	793C	1.50
01-Ene	HT109	,GR,,,Espejo LH trizado	793C	0.98
01-Ene	HT119	,GE,PM Motor,Mantenimiento Preventivo,Cbio A/F blgs 2800 hras + Cbio	793C	4.47
01-Ene	HT113	,GR,Baja Presion,Sistema de Arranque,aire	793C	0.52
01-Ene	HT127	,PM,Desgaste,Llanta,N° 05	793C	0.22
01-Ene	HT105	314,GR,Roturas,Escaleras y Barandas,baranda rota	793C	1.55
01-Ene	HT119	,GR,Roturas,Guardafangos ,abolladura	793C	2.03
01-Ene	HT129	,GB,PM Total,Mantenimiento Preventivo,Bls 400 hras + CC RDD, CSDD+	793C	23.98
01-Ene	HT125		793C	23.98
01-Ene	HT123		793C	23.98
01-Ene	HT110	,PM,Inspeccion,Inspeccion PRE-PM,	793C	0.02
02-Ene	HT126	311,GR,Golpe Anormal,Tolva ,Golpe fuerte en la tolva en vacio	793C	1.60
02-Ene	HT113	,PM,Baja Presion,Sistema de Arranque,Falta aire para el arranque	793C	0.37
02-Ene	HT126	,GR,Golpe Anormal,Tolva ,	793C	1.65
02-Ene	HT109	,GR,,,Espejo LH trizado	793C	0.32
02-Ene	HT126	,GR,Golpe Anormal,Suspension o Gata Delantera,nivelar	793C	0.65
02-Ene	HT127	,GR,Golpe Anormal,Suspension o Gata Delantera,suspensiones	793C	2.55
02-Ene	HT126	,GR,Golpe Anormal,Suspension o Gata Delantera,nivelacion	793C	0.95
02-Ene	HT128	,GR,Baja Potencia,Motor,cc. val. watesgate	793C	0.03
02-Ene	HT128	302,GR,Baja Potencia,Motor,cc. val. watesgate	793C	0.67
02-Ene	HT128	,GR,Baja Potencia,Motor,cc. val. watesgate	793C	0.77
02-Ene	HT110	,GR,Evento Electrico,Extintor de Fuego,alarma	793C	0.12
02-Ene	HT128	,GR,Fuga,Radiador,x la tapa	793C	0.90
02-Ene	HT115	,GR,No Acciona,Calefaccion y A/C,aire acondicionado	793C	0.35
02-Ene	HT109	,GR,Inspeccion,Inspeccion PRE-PM,	793C	0.78
02-Ene	HT105	,GB,PM Total,Mantenimiento Preventivo,Blgs 2000 hras + Pre Carga Afra	793C	23.02
02-Ene	HT125		793C	23.98
02-Ene	HT123		793C	23.98
02-Ene	HT129	,GB,PM Total,Mantenimiento Preventivo,Bls 400 hras + CC RDD, CSDD+	793C	21.95
03-Ene	HT110	,GR,,,Espejo trizado LH	793C	1.52
03-Ene	HT115	302,GR,No Acciona,Arrancador Neumatico,Cbio de arrancador	793C	1.82
03-Ene	HT115	,PM,Baja Presion,Sistema de Arranque,	793C	0.78
03-Ene	HT121	,GR,PM Total,Mantenimiento Preventivo,PM02 2400 hras	793C	5.25
03-Ene	HT115	,PM,Bajo Nivel,Convertidor de Torque,	793C	0.22
03-Ene	HT105	,GR,Falla,Sist Control Electronico de Motor,Cbio de Modulo	793C	1.80

Anexo n°.4. Registro Fotográfico del Cambio de Chasis





Anexo n°.5. Procedimiento de Cambio de Chasis - Resumen



Service Information System

< Product: NO EQUIPMENT SELECTED
Model: NO EQUIPMENT SELECTED
Configuration: NO EQUIPMENT SELECTED

Welcome: r080ic4

Special Instruction

Procedimiento de armado para el Camión de Obras 793C{7000, 7960}

Media Number -RSN50879-01

Publication Date -01/08/2001

Date Updated -15/11/2001

01400062

Procedimiento de armado para el Camión de Obras 793C{7000, 7960}

SMCS - 7000-016; 7006-016; 7960

Camión de Obras:
793C (N/S: ATY216-Y SIG.)

Introducción

Esta Instrucción Especial contiene los siguientes procedimientos necesarios para el Camión de Obras 793C (N/S: ATY216-Y SIG.): preparación del terreno, armado y procedimiento de preparación para puesta en marcha.

Nota: Las fotografías que aparecen en esta publicación son para propósitos ilustrativos.

La configuración de embarque consiste en la caja del eje trasero que tiene la transmisión y los mandos finales conectados. El grupo del eje trasero no está conectado al chasis.

Las herramientas y el equipo sugeridos deben estar presentes antes del armado. Si las herramientas y el equipo recomendados no están presentes, el armado será más difícil y será necesario emplear más tiempo para completarlo.

No realice ningún procedimiento ni ordene ninguna pieza hasta que haya comprendido la información contenida en esta publicación.

Después que el armado esté completo, prepare la máquina para su uso. El Manual de Operación y Mantenimiento muestra la preparación de la máquina. Use el Manual de Piezas y el Manual de Servicio con esta Instrucción Especial.

ReferenciaManual de Operación y Mantenimiento, SSBU7175, "Camión de Obras 793C (N/S: 4GZ1-Y SIG.; ATY1-Y SIG.) "

ReferenciaManual de Piezas, SSBP3022, "Camión de Obras 793C (N/S: ATY1-Y SIG.) "

ReferenciaInformación técnica, SEPD0531 03 de julio de, "Hay disponibles eslingas de estructuras y manguitos de protección para levantar la caja del camión"

ReferenciaInstrucción Especial, SMHS7867, "Uso del Grupo de Inflado 6V-4040 "

espaciadora es una varilla de acero que tiene 4,191 mm (165 pulg) de longitud y un diámetro de 89 mm (3,5 pulg). Dos horquillas y cables se conectan a la parte delantera del bastidor. Levante la parte delantera y la parte trasera del bastidor. Conduzca el remolque hacia adelante. El bastidor está listo para ser bloqueado.

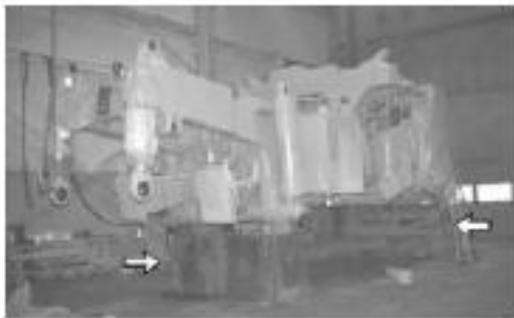


Ilustración 9
Vista del bastidor bloqueado

g00678801



Ilustración 10
Vista del bastidor bloqueado

g00679038

Los bloques de madera, que son de 203 mm (8 pulg), se apilan alternadamente. Se usa una tarima metálica debajo de la parte trasera del bastidor. La altura de los bloques de madera es de 1.320 mm (52 pulg).



Ilustración 11
Vista del chasis en tarimas

g00812964

Instale el Grupo de la caja del eje trasero 124-7721

Tabla 30

Piezas que se requieren para instalar el Grupo de la caja del eje trasero 124-7721			
Artículo	Cant.	Número de pieza	Descripción
1	24	9X-6152	Perno
2	24	3S-6162	Arandela dura



Ilustración 20

g00817820

1. Alinee el grupo de eje trasero con el conjunto de bastidor. Bloquee la transmisión.



Ilustración 21

g00817822

13. Quite los bloques y la tornillería de embarque.



Ilustración 34

g00817833

14. Levante el conjunto de eje trasero al conjunto de bastidor.



Ilustración 127

g00814113



Ilustración 128

g00814114

12. Use un tirapalanca y un soporte de levantamiento para evitar el movimiento del cilindro de la suspensión delantera.



Ilustración 129

g00814117



Ilustración 305

g00704993

13. Quite la barra de la parte trasera del bastidor.



Ilustración 306

g00705098

Vista de la horquilla y la correa que se conectan a la parte trasera del conjunto de caja



Ilustración 307

g00705434

Vista de la horquilla y la correa que se conectan a la parte delantera del conjunto de caja

Anexo n°.6. Registro de Implementación de las nuevas estrategias de Mantenimiento dentro del sistema AMT

Forecast Worksheet



Hierarchy : [Branch: MYSRL] [Fleet: (+1/249) 3000-20-40-01 CAT793C] [Equipment: (-
Date Range : [Jul-2018 - Jun-2019]
Additional Filters : [Task Type: (+1/55) 005 - Component Changeout] [Cost Bearer: (+2/4) ***]
 [Costs:To Date,Future] [Parts/Labour/Misc:Parts,Misc] [Workorder:None]
Analyse by : Month (Year Start Month: January)

Equipment

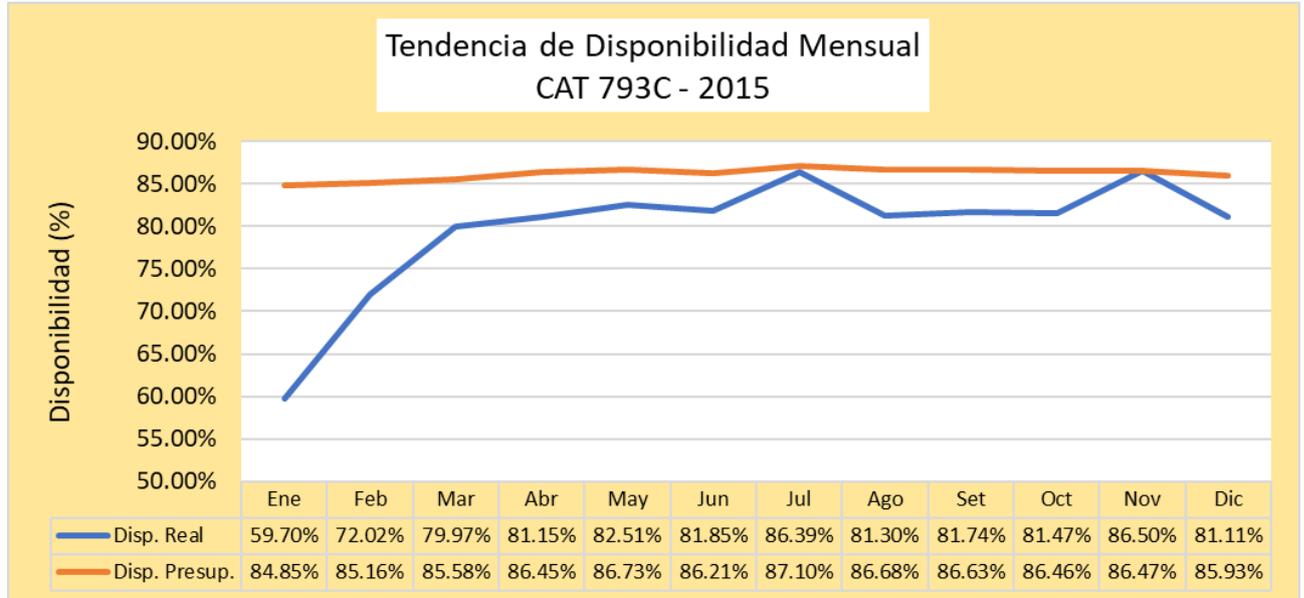
	Tipo de Estrategia	07-2018	08-2018	09-2018	10-2018	11-2018	12-2018	
3000-20-40-00-HTK0105	Cambio de Chasis principal	1,001	25,229	5,323	9,908	1,609	39,913	3000-20-40-00-HTK0105
3000-20-40-00-HTK0109	Cambio de Chasis principal	7,705	64,523	44,607	2,591	3,339	1,137	3000-20-40-00-HTK0109
3000-20-40-00-HTK0110	Cambio de Chasis principal	45,812	5,726	5,152	5,143	10,881	7,860	3000-20-40-00-HTK0110
3000-20-40-00-HTK0113	Cambio de Chasis principal	1,216	4,390	18,543	24,467	36,554	18,653	3000-20-40-00-HTK0113
3000-20-40-00-HTK0114	Cambio de Chasis principal	999	50,206	36,586	27,381	2,868	1,137	3000-20-40-00-HTK0114
3000-20-40-00-HTK0115	Cambio de Chasis principal	56,722	392	1,045	34,559	16,625	3,762	3000-20-40-00-HTK0115
3000-20-40-00-HTK0116	Cambio de Chasis principal	1,216	6,880	16,201	56,887	1,001	1,320	3000-20-40-00-HTK0116
3000-20-40-00-HTK0117	Cambio de Chasis principal	1,001	70,482	16,625	45,697	25,457	1,929	3000-20-40-00-HTK0117
3000-20-40-00-HTK0120	Cambio de Chasis principal	18,284	28,175	4,303	71,239	2,066	2,236	3000-20-40-00-HTK0120
3000-20-40-00-HTK0121	Cambio de Chasis principal	1,609	68,223	4,441	0	1,001	3,704	3000-20-40-00-HTK0121
3000-20-40-00-HTK0122	Cambio de Chasis principal	11,547	7,676	35,837	34,126	25,353	7,329	3000-20-40-00-HTK0122

		07-2018	08-2018	09-2018	10-2018	11-2018	12-2018	
3000-20-40-00-HTK0123	Cambio de Chasis principal	11,470	3,392	1,001	608	13,413	21,616	3000-20-40-00-HTK0123
3000-20-40-00-HTK0124	Cambio de Chasis principal	1,139	2,236	9,038	8,622	5,118	3,797	3000-20-40-00-HTK0124
3000-20-40-00-HTK0125	Cambio de Chasis principal	1,139	1,609	1,609	7,182	1,379	799	3000-20-40-00-HTK0125
3000-20-40-00-HTK0126	Cambio de Chasis principal	15,717	6,779	18,639	9,354	16,809	746	3000-20-40-00-HTK0126
3000-20-40-00-HTK0127	Cambio de Chasis principal	1,609	26,545	16,232	2,375	5,617	11,949	3000-20-40-00-HTK0127
3000-20-40-00-HTK0128	Cambio de Chasis principal	5,257	1,216	7,601	40,628	16,809	10,754	3000-20-40-00-HTK0128
3000-20-40-00-HTK0129	Cambio de Chasis principal	1,609	531	1,001	1,438	22,601	4,623	3000-20-40-00-HTK0129

Mediante la implementación de la estrategia del cambio de Chasis del equipo, el sistema AMT proyecta las fechas posibles en las que se deberá programar el cambio del chasis, esto con la finalidad de asegurar la ejecución del trabajo, así como el estimar presupuesto anual.

Anexo n°.7. Desempeños de los costos y la disponibilidad antes de la implementación del proyecto

7.1. Desempeño de la disponibilidad 2015



– Se aprecia que la disponibilidad se encuentra por debajo de lo presupuestado durante el 2015

7.2. Desempeño de los costos totales durante 2016 y 2017

Flota	793C
Etiquetas de fila	Suma de Costo (\$)
2016	\$ 14,951,069.28
2017	\$ 7,796,769.80
Total general	\$ 22,747,839.08

–Se aprecian costos elevados durante el 2016: \$ 14.9 M vs \$ 7.7 M del 2017