



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“EFECTO DE LA ESTRATEGIA PBR (PURPOSE BUILT AND REBUILT) EN LA REPARACIÓN DE MOTORES DE CAMIONES CAT 793, PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD Y MEJORAR EL COSTO HORARIO DE LA FLOTA DE ACARREO EN MINERA YANACOCHA SRL., 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Fernando Antonio Salas Guillén

Jorge Eduardo Romero Correa

**Asesor:**

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca – Perú

2018

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios Por permitirme dar este paso tan importante en mi desarrollo profesional. A mi esposa Amparo y mis hijos Camila y Santiago por ser el motor de superación en mi vida, porque día a día apuestan y creen firmemente en mi esfuerzo, por apoyarme y alentarme siempre para asumir nuevos retos y ser cada día mejor. A mi madre por su eterno amor y deseo de que consiga realizar siempre mis anhelos. A los docentes de la UPN, por su orientación, enseñanza y profesionalismo ético, en la adquisición de nuevos conocimientos para enriquecer mi vida profesional.

Fernando Antonio Salas Guillén.

Dedico la ejecución de esta Tesis a toda mi familia, quienes han sido mi fuerza, soporte y motivación durante toda mi vida. Hago una mención especial a la Sra. Delia Rosa Correa de Romero, mi madre, quién ahora goza de la gloria de Dios. Ella siempre me animó en los momentos más difíciles que he pasado “Tu siempre has podido...” solía decirme; y ahora es cuando puedo dar testimonio de su Fe inquebrantable depositada en mi persona. Este logro va para ti también querida madre. A la UPN representada por su cuerpo Docente, Administrativo y Personal de Servicio, quienes hicieron posible mi profesionalización.

Jorge Eduardo Romero Correa

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### Contenido

ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ivv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT .....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	35
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....	40
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	95
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES .....	99
REFERENCIAS.....	100
ANEXOS .....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
1) Tabla 01. BCRF Budget de cambios requeridos .....	31
2) Tabla 02. Intencionalidad de Estrategia en Camiones.....	32
3) Tabla 03. Intencionalidad de Estrategia en Camiones.....	33
4) Tabla 04. Intencionalidad de Estrategia en Camiones.....	34
5) Tabla 05. Intencionalidad de Estrategia en Camiones.....	34
6) Tabla 06. Matriz Operacionalización de variable independiente .....	36
7) Tabla 07. Matriz Operacionalización de variable dependiente .....	36
8) Tabla 08. Matriz Operacionalización de variable dependiente .....	37
9) Tabla 09. Matriz Operacionalización de variable dependiente .....	37
10) Tabla 10. Detalle de motores de camiones CAT793 .....	42
11) Tabla 11. Disponibilidad del camión HT136 / SERIE MOTOR FDB100076518 .....	43
12) Tabla 12. Disponibilidad del camión HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504 .....	46
13) Tabla 13. Disponibilidad del camión HT109 / SERIE MOTOR ATY100076513 .....	48
14) Tabla 14. Disponibilidad del camión HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523 .....	50
15) Tabla 15. Disponibilidad del camión HT121 / SERIE MOTOR ATY100076519.....	52
16) Tabla 16. Disponibilidad del camión HT122 / SERIE MOTOR ATY100076509 .....	53
17) Tabla 17. Disponibilidad del camión HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507 .....	56
18) Tabla 18. Disponibilidad del camión HT103 / SERIE MOTOR ATY100076525 .....	58
19) Tabla 19. Disponibilidad del camión HT139 / SERIE MOTOR FDB100076520 .....	60
20) Tabla 20. Disponibilidad del camión HT101 / SERIE MOTOR ATY100076510 .....	62
21) Tabla 21. Detalle del Costo de Reparación de los motores (\$/Hr.).....	65
22) Tabla 22. Detalle de lista base de nueva reparación PBR.....	67
23) Tabla 23. Resumen de componentes en los dos tipos de reparación PBR .....	68
24) Tabla 24. Resumen horas trabajadas con la nueva estrategia PBR .....	69
25) Tabla 25. Detalle Disponibilidad del camión HT154 / SERIE MOTOR FDB100076523.....	72
26) Tabla 26. Detalle Disponibilidad del camión HT146 / SERIE MOTOR FDB100076520.....	76
27) Tabla 27. Detalle Disponibilidad del camión HT115 / SERIE MOTOR ATY100076510.....	81
28) Tabla 28. Detalle Disponibilidad del camión HT134 / SERIE MOTOR FDB100076518.....	87
29) Tabla 29. Detalle Disponibilidad del camión HT128 / SERIE MOTOR ATY100076525 ....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
1) Figura 01. Motor CAT serie 3500 .....	19
2) Figura 02. Eje de Levas .....	19
3) Figura 03. Válvulas de Culata .....	20
4) Figura 04. Culata de motor 3500 .....	20
5) Figura 05. Biela y sus partes .....	21
6) Figura 06. Metales de Biela y Bancada .....	21
7) Figura 07. Pistón.....	22
8) Figura 08. Plano de la Operación y pendientes .....	23
9) Figura 09. Matriz de Prioridad .....	25
10) Figura 10. Componentes del área de Estrategia .....	26
11) Figura 11. Componentes del área de Planeamiento .....	28
12) Figura 12. Componentes del área de Ejecución .....	29
13) Figura 13. Mapa de la Gestión de mantenimiento .....	30
14) Figura 14. Partes dañadas del camión HT136.....	45
15) Figura 15. Partes dañadas del camión HT149 .....	47
16) Figura 16. Partes dañadas del camión HT109 .....	49
17) Figura 17. Partes dañadas del camión HT137 .....	51
18) Figura 18. Partes dañadas del camión HT121 .....	53
19) Figura 19. Partes dañadas del camión HT122 .....	55
20) Figura 20. Partes dañadas del camión HT118 .....	57
21) Figura 21. Partes dañadas del camión HT103 .....	59
22) Figura 22. Partes dañadas del camión HT139 .....	61
23) Figura 23. Partes dañadas del camión HT101 .....	66

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pag.</b>
01) Gráfico 01. Detalle horas motor trabajadas por equipo y target horas de duración.....	42
02) Gráfico 02. Disponibilidad del camión HT136 / SERIE MOTOR FDB100076518 .....	44
03) Gráfico 03. Disponibilidad del camión HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504 .....	46
04) Gráfico 04. Disponibilidad del camión HT109/Motor ATY100076513.....	48
05) Gráfico 05. Disponibilidad del camión HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523 .....	50
06) Gráfico 06. Disponibilidad del camión HT121/Motor ATY0076519 .....	52
07) Gráfico 07. Disponibilidad del camión HT122/ATY100076509 .....	54
08) Gráfico 08. Disponibilidad del camión HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507 .....	56
09) Gráfico 09. Disponibilidad del camión HT103/Motor ATY100076525.....	58
10) Gráfico 10. Disponibilidad del camión HT139/Motor FDB100076520.....	60
11) Gráfico 11. Disponibilidad del camión HT101/Motor ATY100076510 .....	62
12) Grafico 12. Relación vida del camión vs. Ciclo de Reparación de motor.....	68
13) Grafico 13. Ciclo de cambio de Engranés y culatas por horas.....	68
14) Gráfico 14. Disponibilidad del camión HT154/Motor FDB100076523 .....	73
15) Gráfico 15. Disponibilidad del camión HT146/Motor FDB100076520.....	77
16) Gráfico 16. Disponibilidad del camión HT115/Motor ATY100076510.....	82
17) Gráfico 17. Disponibilidad del camión HT134/Motor FDB100076518.....	86
18) Gráfico 18. Disponibilidad del camión HT128/Motor ATY100076525.....	91
19) Gráfico 19. Total Horas Trabajadas de Motor con PBR y Target .....	95
20) Gráfico 20. Disponibilidad Real Vs. Target Flota camiones con motores sin PBR....	96
21) Gráfico 21. Disponibilidad Real Vs. Target Flota camiones con motores con PBR...	97

## RESUMEN

El presente trabajo detalla el efecto de la nueva estrategia de reparación de motores de camiones CAT 973 usados en una mina a tajo abierto en el norte del Perú. Esta implementación de la nueva estrategia de reparación, se soporta con la revisión de la data de las fallas recurrentes de los motores y los análisis de fallas de los componentes del motor, con un involucramiento del Dealer de Caterpillar en el Perú y el fabricante de los motores Caterpillar. El objetivo de la investigación es mejorar la confiabilidad y disponibilidad presupuestada de la flota de acarreo, asimismo reducir los costos adicionales debido a estas fallas, que impactan directamente al presupuesto general del área de Producción y Mantenimiento Mina; estableciendo una nueva estrategia de reparación de los motores CAT para la flota de acarreo aplicando una forma de reparación personalizada en este componente denominada PBR.

Esta nueva estrategia permitirá mejorar la confiabilidad de las partes internas del motor y lograr que este componente logre trabajar su ciclo de vida esperado (PCR) de 14,000 horas.

La investigación se realiza recopilando data de 10 equipos analizando los modos de falla de los mismos, con dicha información definir la vida útil total del motor antes de ser dado de baja definitiva y el tipo de reparación a realizar en el motor en cada reparación, demostrando el buen performance del motor que con la nueva estrategia aplicada en su reparación.

## ABSTRACT

The present work details the effect of the new repair strategy of CAT 973 truck engines used in an open-pit mine in northern Peru. This implementation of the new repair strategy is supported by the revision of the data of the recurring engine failures and failure analysis of the engine components, with an involvement of the Caterpillar Dealer in Peru and the manufacturer of the Caterpillar engines.

The objective of the research is to improve the reliability and budgeted availability of the haulage fleet, as well as to reduce the additional costs due to these faults, which directly impact the general budget of the Mine Production and Maintenance area; establishing a new repair strategy for CAT engines for the haulage fleet by applying a customized repair method in this component called PBR.

This new strategy will improve the reliability of the internal parts of the engine and ensure that this component manages to work its expected life cycle (PCR) of 14,000 hours.

The research is done by collecting data from 10 teams analyzing the modes of failure of the same, with this information define the total life of the engine before being definitively discharged and the type of repair to be performed on the engine at each repair, demonstrating the good performance of the engine that with the new strategy applied in its repair.



## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

El problema del rendimiento de los motores de camiones CAT 793 en la empresa minera Yanacocha tiene como objetivo cambiar la estrategia para la reparación de los motores de los camiones Caterpillar 793 de su flota de acarreo, incrementando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

La estrategia Purpose Built and Rebuild PBR (Estrategia de Construir y Reconstruir), surge como una necesidad de personalizar las reparaciones de motores de camiones CAT 793, los cuales presentan baja performance y confiabilidad debido a las constantes fallas de partes internas de motor a diferentes horas como consecuencia de problemas de producto y excesiva reusabilidad.

El PCR (Planning Component Replace) está definido en 14,000 horas según recomendación del fabricante. En el año 2015, los motores de los camiones CAT 793 alcanzaron sólo 9,181 horas en promedio.

Ese mismo año se cambiaron 10 motores por encima de presupuesto debido a las continuas fallas. Estos 10 motores significaron US\$ 6'400,000 por encima del presupuesto anual de mantenimiento. (Planeamiento y Estrategia de Mantenimiento MYSRL, 2015). Como una nueva propuesta se planea aumentar el rendimiento de los motores de camiones CAT 793 incrementando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de acarreo. Esta nueva estrategia PCR se diferencia de la anterior (PBR) porque demanda mayor uso de recursos financieros para la reparación, pero está justificado con el incremento de la vida útil de los motores CAT 793.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto del cambio en la estrategia de Reparación en los Motores de los camiones CAT 793 en MYSRL?

### 1.2.1 Problemas específicos

- ✓ ¿La nueva estrategia asegurará que los motores CAT 3500 de la flota de camiones CAT793 cumplan su vida total esperada de acuerdo al presupuesto en Minera Yanacocha SRL?.
- ✓ ¿Alcanzarán los motores CAT 3500 de la flota de camiones CAT793 el ciclo de vida esperada de 14,000 horas en Minera Yanacocha SRL?
- ✓ ¿La nueva estrategia asegurará que la flota de camiones CAT793 incremente su confiabilidad y disponibilidad presupuestada en Minera Yanacocha SRL?

## 1.3. Justificación

### 1.3.1. Justificación teórica.

Esta nueva estrategia PBR tiene como objetivo definir el ciclo de vida del motor PCR (Planning Component Replace) y la cantidad de ciclos de vida motor. Esto ayudará a definir las horas adecuadas de vida total del componente y la baja del activo.

La nueva estrategia de reparación PBR deberá también definir las partes a cambiar en cada reparación para mantener el performance del motor considerando el desgaste de cada componente interno del motor en cada ciclo de cambio.

### 1.3.2. Justificación técnica.

El desarrollo del estudio, tiene como finalidad analizar y definir una estrategia de reparación de los motores de camiones 793 que aseguren que el motor cumpla con su ciclo de trabajo establecido de

14,000 horas y para ello nos hemos enfocado en revisar las cinco categorías de falla: Diseño, Manufactura /Fabricante, Aplicación, Operación y Mantenimiento.

- ✓ Diseño: Condiciones que no son compatibles con la condición de operación (ejemplo: Turbos, Culatas, Mangueras, Rejillas, etc).
- ✓ Manufactura: Relacionado a la fabricación de los materiales del componente, (ejemplo: el fabricante advierte a sus clientes sobre problemas de producto en ciertos lotes en la cadena de producción).
- ✓ Aplicación: Contexto operativo que supera las especificaciones técnicas del equipo (ejemplo: Cargas, vías, velocidades, etc)
- ✓ Operación: Condiciones de uso del equipo (ejemplo: Carga útil, accidentes, abuso de transmisión, selección errónea de los cambios, entrenamiento deficiente, etc)
- ✓ Mantenimiento: No se sigue las prácticas adecuadas de mantenimiento preventivo, reparación de componentes inadecuado, salud de equipo, inspecciones, etc)

### **1.3.3. Justificación económica**

La implementación de esta estrategia de reparación de los motores de la flota de camiones 793 permitirá que estos componentes trabajen su ciclo vida esperada de 14,000 horas con lo cual evitará un gasto adicional en el presupuesto del área de mantenimiento por fallas prematura y mayor cambio de componentes que lo presupuestado, al mismo tiempo que con su confiabilidad y

disponibilidad no impactará en la producción proyectada por el área de operaciones mina.

#### **1.3.4. Justificación académica**

Aplicar los conocimientos adquiridos y experiencia de campo para poder recopilar y analizar información de una oportunidad y definir una nueva estrategia que permita conseguir los resultados esperados en la operación.

#### **1.4. Limitaciones**

- ✓ La demora de las definiciones de análisis de falla en el Centro de Reparaciones de Componentes (CRC) del Dealer.
- ✓ La falta de información de la estrategia de reparaciones de otras operaciones para poder ampliar el rango comparativo.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de la nueva estrategia de Reparación en los Motores de los camiones CAT 793C para mejorar su confiabilidad y logren cumplir con el ciclo de vida esperado.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- ✓ Definir el ciclo de vida total del motor CAT 3500 para Minera Yanacocha SRL. El cual constará de tres reparaciones, cuatro ciclos de vida de 14,000 horas de trabajo c/u logrando un total

de 56,000 horas. Así reducir los costos operativos por reparaciones prematuras no presupuestadas.

- ✓ Definir una reparación personalizada a los motores CAT 3500 de Minera Yanacocha SRL de acuerdo al número de reparación del componente según su ciclo de vida total proyectada considerando las principales partes del motor a cambiar en cada una de ellas (block, cigüeñal, culatas y engranajes).
- ✓ Incrementar la confiabilidad de la flota de Acarreo la cual se verá reflejada en el cumplimiento de la disponibilidad de la flota que estará por encima del 85%.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

- ✓ Ferrominera Orinoco, se encuentra ubicada en Venezuela (América del Sur), específicamente en el estado Bolívar. Cuenta con dos centros de operaciones en las ciudades de Piar y Guayana – Puerto Ordaz.
- ✓ La Superintendencia de Mantenimiento de San Isidro, realizó este trabajo con el fin de garantizar de manera eficiente la disponibilidad operativa de todos los equipos, Mantener la disponibilidad operativa haciendo uso adecuado, racional y sustentable de los recursos disponibles.
- ✓ En el Taller de Mantenimiento de esta empresa el 77.39% de los equipos existentes están comprendidas de las marcas CATERPILLAR, KOMATSU y el 46.07% de equipos presentan fallas en sus componentes mayores.
- ✓ Las causas identificadas de estos componentes se deben a que la planificación del cambio de componentes no está en concordancia con la ejecución de los cambios y la carencia de política para establecer prioridades en la asignación de recursos económicos.
- ✓ Las consecuencias de este problema son la variación en la disponibilidad de los equipos mineros, de los equipos averiados

se toman los componentes en buen estado para reparar otro equipo y la reducción en la producción de la empresa debido a la baja disponibilidad de equipos mineros.

- ✓ La importancia y necesidad de este proyecto radicó en que toda empresa estaba en busca de mejorar sus procesos y así aumentar sus índice de producción; por lo que buscó diseñar un sistema el cual permita evaluar el estado de los componentes principales de los diferentes equipos para definir un tipo de reparación y determinar si es favorable repáralos o adquirir componentes nuevos.
- ✓ La investigación abarcó los componentes principales de la flota CAT y Komatsu para definir la factibilidad técnico económico de las reparaciones, este trabajo se llevó a cabo con la participación de la Superintendencia de Mantenimiento y la Gerencia de Minera Ferrominerarinoco C.A).
- ✓ En este proyecto recopilaron la información y definieron los componentes principales a incluir en el análisis, usaron la metodología FODA para visualizar la situación actual, diseñaron el proceso y definieron los criterios de reparación de los componentes, realizaron un trabajo con un equipo multifuncional con Mantenimiento, Planificación y la empresa que realizaría las reparaciones, se determinaron los indicadores de mantenimiento a mejorar como disponibilidad, efectividad, demoras, elaboraron diagramas de Pareto para priorizar las oportunidades teniendo en

cuenta el costo y tiempo de reparación y finalmente realizaron un análisis para definir si era más conveniente reparar o reemplazar los componentes fallados.

- ✓ Se realizaron los ajustes del diseño del sistema y se crearon las instrucciones de los nuevos procesos de acuerdo a la evaluación y factibilidad técnica y/o económica de reparar el componente cuando presente falla. Finalmente luego de este estudio se definieron las siguientes recomendaciones.
- ✓ Establecer un sistema de gestión basada en la mejora continua, a través de la transformación de los procesos involucrados para el logro de la eficiencia y efectividad ofreciendo a operaciones equipos aptos para la producción en cuanto a cantidad y calidad.
- ✓ Que se cumpla el método establecido para decidir de forma rápida el tipo de reparación del componente desmontado por averías.
- ✓ Cumplir con el plan de cambio de componentes según la estrategia establecida para mejorar la disponibilidad, efectividad y disminuir las demoras o parada de los equipos.
- ✓ Realizar las reparaciones considerando los repuestos de calidad y definidos para cada reparación con alta calidad y con las recomendaciones dadas para cada reparación.



### 2.1.2. Antecedentes nacionales

- ✓ A inicios de la puesta en operación de los camiones CAT 793 en Minera Yanacocha en 1999 hasta el 2005 el mantenimiento de la flota de producción estaba a cargo del Dealer de CAT en el Perú Ferreyros SAA bajo la modalidad de contrato MARC. En dicha administración ellos ofrecían una ciclo de vida de motor de 14,000 horas teniendo como estrategia un tipo de reparación basado en las cartas de servicio sugeridas por el fabricante donde se realizaba el cambio de algunos componentes internos del motor como block, cigüeñal, culatas, engranajes, etc., adicionalmente se basaban en la guía de reusabilidad que tiene CAT para ciertas partes internas del componente.
  
- ✓ Considerando que en esta etapa de la mina la aplicación era totalmente diferente a la que se presentó años después hacia el 2009 – 2013 el promedio de ciclo de vida de los motores era variable, pero dicho costo asociado a las reparaciones de falla prematura no afectaban a Minera Yanacocha por el tipo de servicio que se tenía con Ferreyros (MARC) donde el costo era una tarifa fija mensual.
  
- ✓ Adicionalmente esta estrategia de reparación de los motores por parte de Ferreyros SAA. durante el servicio MARC, estaba también soportada por la experiencia y resultados de otras

operaciones mineras tales como Antamina y Sourthem Perú, donde ellos brindaban un servicio similar al que le daba a Minera Yanacocha SRL. Y donde sus resultados estaban dentro de los parámetros esperados y ofrecidos dentro de sus respectivos contratos, por otro lado esta estrategia estaba respaldada con un soporte logístico uniforme para todas sus operaciones en su almacén central y CRC (Centro de Reparación de Componentes). “Área de Planeamiento y Estrategia de Minera Yanacocha”.

## **2.2. Bases teóricas**

Este proyecto se realizó en base a la aplicación de la nueva tendencia en las empresas de primer nivel en el Asset Management. “Andrew K. S. Jardine & Albert H.C.Tsng, (2006). Maintenance, Replacement, and Reliability “Theory and Applications”. Adicionalmente a experiencias y buenos resultados en otras operaciones mineras, que frente a la problemática de las pocas horas de duración en el ciclo de vida de los motores de los camiones 793 se planteó en busca de alternativas de solución. “Mr. Greame Robinson - “Planeamiento y Estrategia de Mantenimiento de Equipo Minero, 2010”.

### **2.2.1. Motor Caterpillar 3500**

El motor Caterpillar 3516B es un motor diésel de 16 cilindros en V Pos enfriado y turbo cargado con un desplazamiento de 69 litros (4211 pulgadas cúbicas).

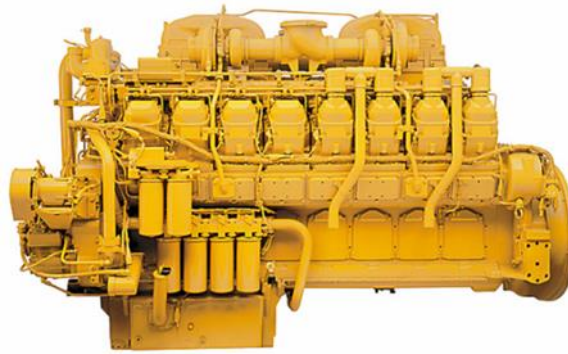


Figura 01. Motor CAT serie 3500

Fuente: Información técnica de CAT

### 2.2.2. Eje de Levas

El árbol de levas o eje de levas es el órgano del motor que regula el movimiento de las válvulas de admisión y escape.



Figura 02. Eje de Levas

Fuente: Información técnica de CAT

### 2.2.3. Válvulas

Las válvulas son elementos que tienen la simple función de cerrar y abrir los conductos de admisión y de escape de gases, teniendo función principal en la combustión de la mezcla aire – combustible válvulas de admisión y de escape.

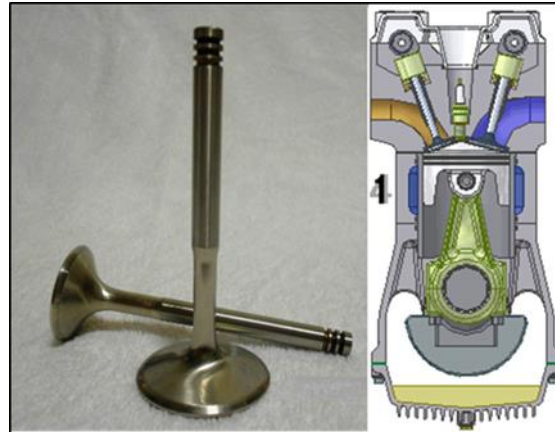


Figura 03. Válvulas de Culata  
Fuente: Información técnica de CAT

#### 2.2.4. Culata

Parte del motor que cierra los cilindros por su lado superior y en correspondencia con la cual suelen ir colocadas las válvulas de admisión y de escape.



Figura 04. Culata de motor 3500  
Fuente: Información técnica de CAT

#### 2.2.5. Biela

La biela es el elemento del motor encargado de transmitir la presión de los gases que actúa sobre el pistón al cigüeñal, o lo que es lo mismo, es un eslabón de la cadena de transformación del movimiento alternativo (pistón) en rotativo (cigüeñal).



Figura 05. Biela y sus partes

Fuente: Información técnica de CAT

### 2.2.6. Metales de Biela y Bancada

Son fabricados de metal blanco con estaño o plomo, esta aleación proporciona un rozamiento suave con el cigüeñal evitando un desgaste en el mismo, tienen una gran resistencia al calentamiento.



Figura 06. Metales de Biela y Bancada

Fuente: Información técnica de CAT

### 2.2.7. Pistón

Transmiten la fuerza de combustión a la biela y al cigüeñal, sellan la cámara de combustión y disipan el calor excesivo de la cámara de combustión.



Figura 07. Pistón

Fuente: Información técnica de CAT

### 2.2.8. Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento de la empresa consta de 3 áreas:

a) Estrategia (Intelecto): Es el área encargada de definir las estrategias de mantenimiento a aplicar a la flota de producción de la empresa, siendo su proyección a largo plazo es decir mayor a seis meses, esta es el área que tiene que ver con lo intelectual, dentro de este proceso se tiene:

a.1) Aplicación y Operación: Es una de las entradas que tiene que considerar el área de estrategia para poder definir ciertos valores que son predeterminantes para proyectar los parámetros de operación a los cuales estarán expuestos los componentes de los equipos y que son determinantes para duración de un ciclo de vida de los mismos. Dentro de estos valores o consideraciones que se deben de tener en cuenta

es la velocidad de trabajo, tipo de ruta (sube o baja cargado), pendientes de la rutas de la operación, clima, etc.

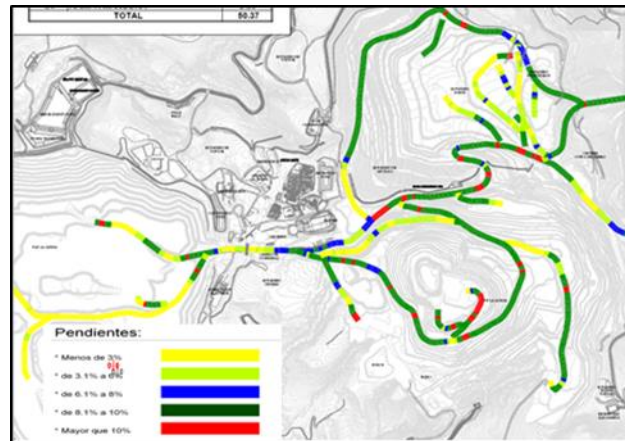


Figura 08. Plano de la Operación y pendientes

Fuente: Área de Ingeniería de MYSRL

a.2) Planeamiento Mina: Programa de producción de corto, mediano y largo plazo de una operación minera, que contempla a lo menos el ritmo de producción (toneladas de mineral y estéril), sectores por explotar, leyes y destinos de los diferentes materiales que se extraen.

a.3) Operaciones Mina: Es el carguío y el transporte constituyen las acciones que definen la principal operación en una operación minera. Son los responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en un proceso de voladura.

a.4) Ingeniería de Confiabilidad: Es una función de Staff cuya principal responsabilidad es asegurar que las técnicas de

mantenimiento son eficaces, que el equipo está diseñado y modificado para mejorar la mantenibilidad, que los problemas técnicos de mantenimiento en curso se investigan y se toman las acciones correctivas y de mejora correspondientes. Es parte del mantenimiento y asegura:

- ✓ Realizar cálculos de ingeniería y correlacionar datos para su análisis.
- ✓ Apoyar las operaciones de mantenimiento para mejorar la confiabilidad del equipo.
- ✓ Realizar análisis de datos de fallas usando herramientas de análisis estadístico.
- ✓ Guiar equipos de trabajo para la resolución de problemas para identificar, diseñar e implementar mejoras.
- ✓ Trabajar en estrecha relación con el área de mantenimiento para enfocarse en temas de mantenibilidad, bajo costo, y mejora de producción.
- ✓ Identificar oportunidades para crear valores usando recolección de información confiable y herramientas para aplicar en casos de negocio.
- ✓ Trabajar en estrecha colaboración con operaciones y mantenimiento para comunicar las oportunidades de los trabajos con valor agregado.
- ✓ Promover el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad y el programa de monitoreo de condiciones y salud de equipo.
- ✓ Gestionar proyectos fiables, interactuar con los proveedores y trabajar en estrecha colaboración con los ingenieros de proyectos.



a.5) Salud de Equipo: Es una estrategia de mantenimiento basada en medir la condición del equipo y sus componentes con el fin de comprobar si este fallará durante un tiempo futuro y definir planes de acción para evitar estas fallas, esta salud de equipo consta de tener en monitoreo de:

- ✓ Análisis de Aceite SOS.
- ✓ Análisis de termografía o análisis de vibraciones.
- ✓ Monitoreo de ferrografía.
- ✓ Parámetros operacionales.

Dando el análisis de todos estos parámetros y algunos más particulares de cada componente un control del comportamiento de los componentes mediante una matriz de prioridad.

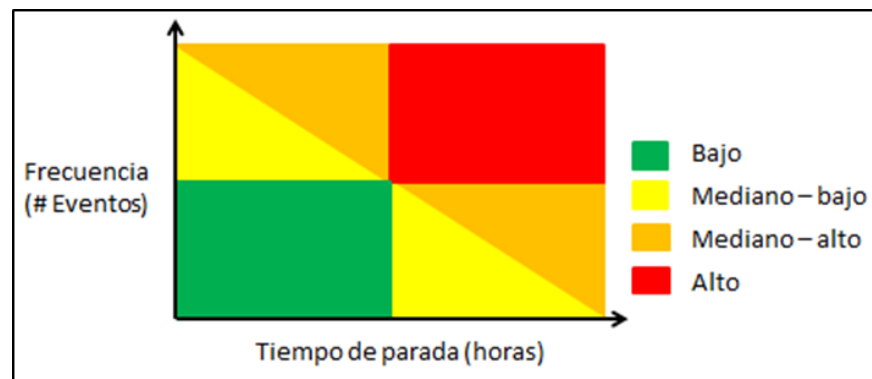


Figura 09. Matriz de Prioridad

Fuente: Área de Ingeniería de Confiabilidad de MYSRL

Dentro de esta área de encuentra todos los valores técnicos que ayuda a definir un correcto plan de mantenimiento basado en una estrategia aplicada a la necesidad de la operación.

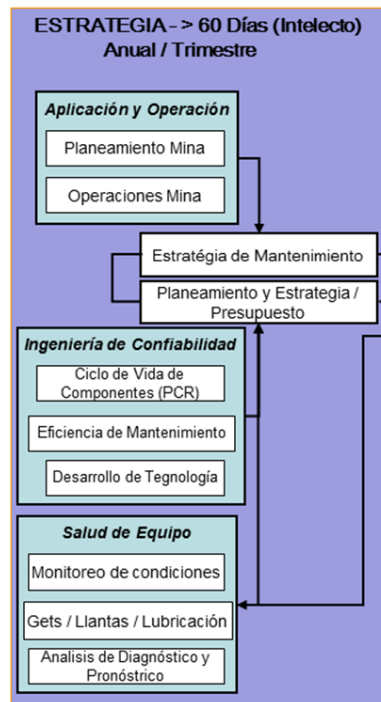


Figura 10. Componentes del área de Estrategia

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

b) Planeamiento (eficiencia): Es el área encargada de definir los trabajos de mantenimiento a realizar en un corto tiempo (menor a 60 días). La planificación es determinar los recursos necesarios para el desarrollo de las acciones previstas en un trabajo programado, esta planificación está soportada por el sistema ERP de la empresa (SAP) donde se administra todas las ordenes de trabajo que se tienen para un equipo sea que se generen por una tarea estratégica que tiene un ciclo de tiempo para ser ejecutada o producto de las inspecciones realizadas en campo previo a su ingreso , observaciones del operador, mejoras, etc.

b.1) Mantenimiento Preventivo: Mantenimiento soportado por una estrategia, basado en la sustitución, revisión o re-fabricación de un componente o equipo en un intervalo fijo determinado,

independientemente de su condición en el tiempo. Por ejemplo los cambios de aceites y fluidos varios en un equipo.

- b.2) **Mantenimiento Planificado:** Actividad de mantenimiento predeterminado donde todos los trabajos están documentados y para realizar el trabajo se tiene, materiales, herramientas, facilidades y recursos necesarios para llevar a cabo la tarea que ha sido estimada y asegura la disponibilidad de todo lo antes mencionado antes de iniciar el trabajo.
  
- b.3) **Mantenimiento Predictivo:** Es una estrategia de mantenimiento basado en medir la condición del equipo con el fin de comprobar si este fallará en algún periodo de tiempo futuro y tomar acciones apropiadas para evitar que las consecuencias de estas fallas dañe el equipo como tal. La condición del equipo puede ser monitoreada utilizando, el monitoreo de condiciones, análisis de aceite (SOS), Ferrografía, termografía o análisis de vibración.
  
- b.4) **Mantenimiento Proactivo:** Cualquier tarea o acción realizada para predecir, controlar y prevenir fallas en los equipos.
  
- b.5) **Mantenimiento Programado:** Cualquier trabajo de mantenimiento que haya sido planeado y colocado en un programa de mantenimiento revisado y aprobado.
  
- b.6) **Reemplazo de Componentes Planificado (PCR):** Se aplica principalmente a las piezas críticas o componentes de una máquina o equipo que están especificados en la estrategia de mantenimiento de un proceso en particular, es una herramienta de la Gestión de Activos. El cumplimiento de este programa se mide:

$$\text{Cumplimiento de PCR} = \frac{\text{PRC Real alcanzado (horas, toneladas, volumen, etc.)}}{\text{PCR esperado definido por la estrategia de mantenimiento (horas, toneladas, volumen, etc.)}} \times 100$$

b.7) Backlogs (trabajos pendientes): Todos aquellos trabajos que por algún motivo específico no fue planificada ni programada en un ingreso del equipo o máquina a mantenimiento programado y que se tiene listo para ser programado a futuro.

Dentro de este proceso también se maneja el tema de garantías del OEM tanto en lo que concierne a repuestos y componentes nuevos como a los reparados, Se mantiene también la salud de la información en el sistema mediante la administración y gestión de órdenes de trabajo.

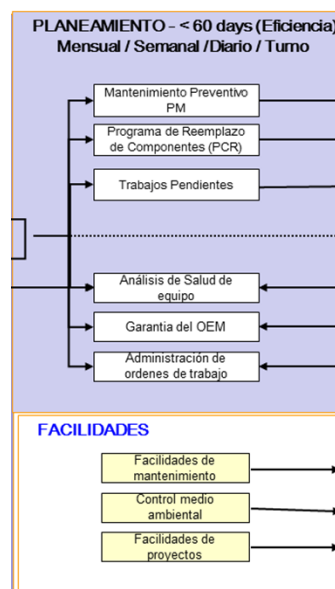


Figura 11. Componentes del área de Planeamiento

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

- c) **EJECUCIÓN (CALIDAD):** Proceso de Mantenimiento encargado de realizar los trabajos planificados y programados son la fuerza laboral que están encargados de la calidad del proceso y esto basado a las tareas que ejecuta dentro del mismo como el mantenimiento del equipo o máquina, el cumplimiento del programa de cambio de componentes, ejecución de los backlogs (trabajos pendientes), realizar los trabajos correctivos identificados durante el mantenimiento, la apertura y cierre de órdenes de trabajo, cumplimiento de procedimientos de trabajo seguro, diagnostico de fallas, cumplimiento de la ejecución de los trabajos en el tiempo programado para no impactar en los indicadores de calidad y producción, principalmente en la disponibilidad.

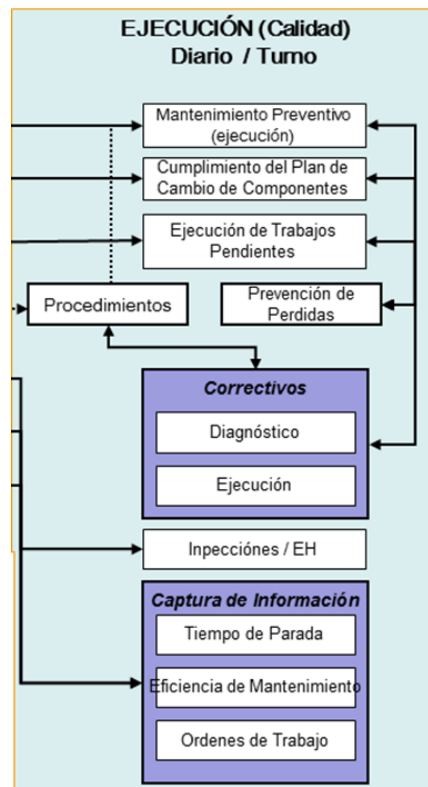


Figura 12. Componentes del área de Ejecución

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

En resumen la gestión de mantenimiento en la operación está soportada por un trabajo coordinado y entrelazado de las tres sub áreas y basada en una metodología de fórmula uno con el objetivo de lograr con el objetivo planteado en el tiempo adecuado, con la calidad esperada y a un óptimo costo.

### GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

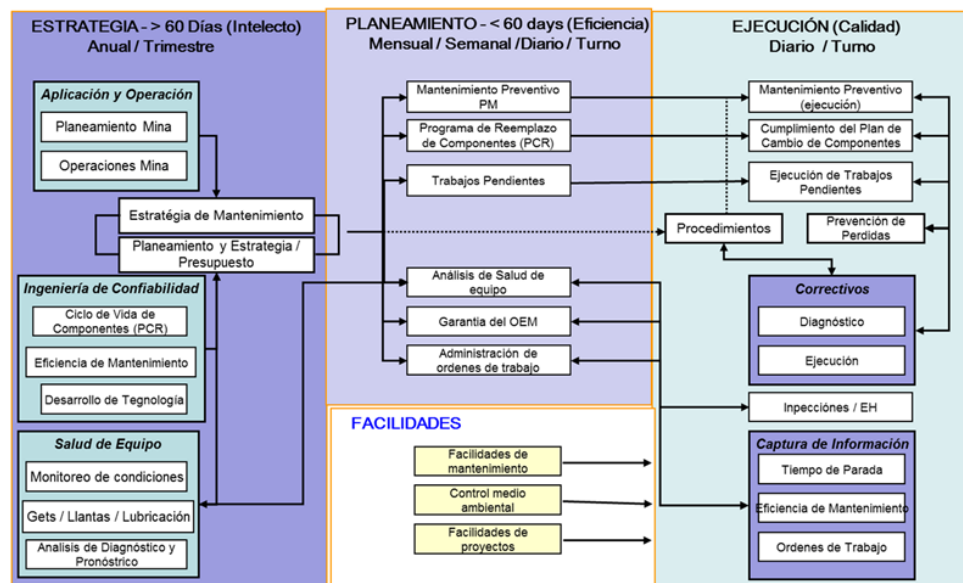


Figura 13. Mapa de la Gestión de mantenimiento  
 Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

#### 2.2.9 Definición e implementación de BCRF para la planificación estratégica de la gestión de Mantenimiento.

El BCRF es el documento en el cual se maneja todas las estrategias de reparación o cambio definidas para la flota este Formato de Cambios Requeridos Presupuestado comprende de las estrategias a nivel de componente, sub componentes y por sistema de un equipo. Para poder desarrollar este documento se tiene en cuenta varias variables que son consideradas para su desarrollo con el fin de que

nos permita tener el máximo desempeño de los componentes y equipos a un óptimo costo, dentro de las diferentes consideraciones a tener en cuenta tenemos:

- ✓ Partes a reparar o cambiar
- ✓ Frecuencia de cambio de partes o componentes
- ✓ Tipo de repuestos o componentes a considerar en el cambio (preparado o nuevo)
- ✓ Reparación o cambio de partes o componentes en el site o en el taller de reparaciones del proveedor.
- ✓ Costo de la reparación o cambio de componentes.

Entre otras consideraciones.

COMPONENT/SYSTEM/STRUCTURE DETAILS		YANACOCCHA	FIRST CHANGE	LIFE CYCLE INTERVAL	LIFE CYCLE INTERVAL COSTS					TOTAL INTERVA	TOTAL EVENTS	TOTAL COST	REMARKS	
					Revised & Inclusive & Material Cost	Overhaul & Replacement Cost	Parts & Materials	Labor	Excess Depreciation					
					Labor Cost	Labor Cost	Parts & Materials	Labor Cost	Excess Depreciation					
<b>193C - ENGINE</b>														
Unshaded-Engine			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ENGINE	CAMBIA MOTOR	✓	48.000	12.000	200	4.333	7.000	0	380.047	69	391.367	4	1.555.458	
AR INDUCTION & EXHAUST SYS	REPARACIONES DEL SISTEMA DE ADMISION Y ESCAPE	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1.210	0	3.693	
TURBOCHARGER-HIGH PRESSURE	REPARACIONES TURBO EQUIPADO	0	0	0	180	400	0	10.603	0	11.803	0	0	89.454	
TURBOCHARGER-HIGH PRESSURE	REPARACIONES TURBO DETACHO	0	0	0	180	400	0	10.603	0	11.803	0	0	89.454	
TURBOCHARGER-LOW PRESSURE	REPARACIONES TURBO POSTERIOR	0	0	0	180	400	0	10.603	0	11.803	0	0	89.454	
TURBOCHARGER-LOW PRESSURE	REPARACIONES TURBO DEL ANTERIO	0	0	0	180	400	0	10.603	0	11.803	0	0	89.454	
EXHAUST BY PASS VALVE	CAMBIA VALVULA WASTEGATE / SOLIDORE	✓	2.000	2.000	4	60	50	0	1.500	4	1.974	471	75.870	
MUFFLER	REPARACIONES DEL MUFFLER	✓	24.000	24.000	5	75	0	0	5.600	5	5.875	3	17.025	
CYLINDER HEADS	REPARACIONES DE CULATAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VALVE ADJUSTMENT	CALIBRAR VALVULAS DE MOTOR	✓	250	12.000	12	180	300	0	0	0	6	480	0	
ACCESSORY DRIVE - PTO	REPARACIONES ACCESORIOS DEL PTO	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	3.501	
ACCESSORY DRIVE - ALTERNATOR	REPARACIONES ACCESORIOS DE MANEJO ALTERNADOR	✓	0	0	0	0	200	0	0	144	6	434	0	
CAMSHAFT	REPARACIONES DE EJE DE LEVAS	0	0	0	0	120	0	0	0	0	24	6.700	0	
FUEL SYSTEM	REPARACIONES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	0	0	0	0	500	0	0	0	12	680	0	5.440	
FUEL TRANSFER PUMP	REPARACIONES DE BOMBA DE TRANSFERENCIA	0	0	0	0	10	0	0	480	2	490	0	3.440	
FUEL TANK	CAMBIO EN TANQUE DE COMBUSTIBLE	✓	48.000	12.000	16	240	300	0	0	0	0	0	4.860	
UNIT INJECTOR	REPARACIONES EN INYECTOR DEL MOTOR	0	0	0	0	250	0	0	3.500	0	3.870	0	30.360	
LUBRICATION SYSTEM	REPARACIONES EN SISTEMA DE LUBRICACION	0	0	0	0	30	0	0	0	3	30	471	4.200	
PRELUBE PUMP	CAMBIA MOTOR BOMBA DE PRELUBRICACION	✓	16.000	12.000	2	30	170	0	4.500	2	4.900	7	52.300	
COOLING SYSTEM	REPARACIONES EN SISTEMA DE REFRIGERACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.200	
RADIATOR	CAMBIA RADIADOR	✓	16.000	12.000	24	360	1.800	0	0	0	12	9.300	7	57.300
WATER REGULATOR - THERMOSTAT	CAMBIA THERMOSTAT	✓	0	0	0	40	400	0	0	0	4	460	0	
FAN - SPIDER	CAMBIA FAN SPIDER	✓	24.000	24.000	3	45	0	0	5.500	3	5.945	3	16.670	
V-BELTS-OF-FAN DRIVE	REPARACIONES Y AJUSTE DEL VENTILADOR	0	0	0	0	0	0	0	0	2	170	15	10.850	
V-BELTS-OF-ALTERNATOR COMPRESSOR	REPARACIONES FAJAS ALTERNADOR COMPRESOR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	24	2.800	
BELT TIGHTENER	CAMBIA TEMPLADOR DE FAJAS	✓	0	0	0	40	0	0	0	0	4	760	0	
FAN DRIVE	REPARACIONES EN FAN DRIVE	0	0	0	0	16	240	0	0	0	0	0	73.300	
WATER PUMP - MAIN	REPARACIONES BOMBA PRINCIPAL DE AGUA	0	0	0	0	10	30	0	0	0	0	0	7.840	
INTERCOOLER WATER PUMP	CAMBIA BOMBA AGUA PARA INTERCOOLER	✓	0	0	0	10	120	0	1.800	5	1.970	0	14.960	
STARTING SYSTEM	DAR MANTENIMIENTO AL SISTEMA DE ARRANQUE	0	0	0	0	100	300	0	0	0	0	13	2.860	
AR STARTING MOTOR	REPARACIONES EN MOTOR DE ARRANQUE	0	0	0	0	45	0	0	2.800	3	2.845	7	15.975	
AIR COMPRESSOR	REPARACIONES EN COMPRESOR DE AIRE	0	0	0	0	150	850	0	1.650	4	1.950	7	13.440	
ENGINE ELECTRONIC CONTROL SYSTEM	REPARACIONES EN SISTEMA DE CONTROL (ECM)	0	0	0	0	260	0	0	1.000	24	1.260	7	9.550	

Tabla 01. BCRF Budget de cambios requeridos

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

## 2.2.10 Elaboración de la estrategia de reparación de componentes.

La elaboración de una estrategia de reparación de componentes está basada en identificar las partes a reparar o cambiar en un componente de acuerdo a una frecuencia de horas o días

determinada. Para la definición de esta estrategia se tiene en cuenta las recomendaciones del fabricante o el Dealer, la aplicación en operación, las consideraciones técnicas del componente según los manuales de servicio. Como resultado de ello tenemos una lista de partes aplicadas (APL) para cada reparación.

En dichas reparaciones el fabricante recomienda el uso de partes REMAN (Reconstruidas en fábrica), partes nuevas, reutilización de partes, re manufactura de partes, etc.

Para el caso de estudio mencionaremos la Intensión de estrategia establecida para los motores de la flota de camiones CAT 793.

Equipment Strategy Intent  
Hauling Fleet: 793

Component/ System / Structure	Task Type	Change out Principle	Life Cycle	Replacement / Repair Strategies	Likely Modes of Failure	Strategic Tasks to be Performed Through the Life Cycle	S.E.
1000.ENGINE	Strategy	1. PCR-Target 2. On condition	12,000	1. CRC 2. REMAN 3. New	1. Combustion leakage 2. Low power 3. Valve train 4. Internal failure 5. Bearing wear 6. External leakage 7. Contamination 8. Overheating	1. Oil analysis 2. Filter / Plug inspections 3. PM – OEM 4. Valve adjustment 5. Monitoring condition by MSH	Yes
1050.AIR INDUCTION & EXHAUST SYS	Non Planning	1. None 2. On condition	1. 12,000 2. Note: First change out is at 8,000 Hrs	1. All intake hoses. 2. Two clamps.	1. Exhaust manifold gasket leakage.	1. Air induction leakage pressure test	No
1052.TURBOCHARGER HIGH PRESSURE	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 12,000 2. Note: Life of engine	1. CRC rebuilt turbo 2. Note: Do not use turbo cartridge as a replacement.	1. Contamination internal or external 2. Turbo shaft failure 3. Compressor/Turbine contact with housings 4. Oil leakage	1. Visual inspections (External) 2. Regular Air Induction testing 3. Good air filter maintenance 4. Boost pressure 5. VIMS overspeeds	No
1052.TURBOCHARGER LOW PRESSURE	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 12,000 2. Note: Life of engine	1. CRC rebuilt turbo. 2. Note: Do not use turbo cartridge as a replacement.	1. Contamination internal or external 2. Compressor/Turbine contact with housings 3. Oil leakage	1. Visual inspections (External) 2. Regular Air Induction testing 3. Good air filter maintenance 4. Boost pressure 5. VIMS overspeeds	No
1057.EXHAUST BY PASS VALVE	Strategy	1. Note: Greater than midpoint of engine life	1. 15,000 2. Note: First change out is at 9,000 Hrs	1. New component 2. Note: Air control/solenoid valves and filter must be changed as part of this event	1. Cylinder head leakage 2. Water leakage into exhaust manifold	1. Mechanical test with override parameters (ET) 2. Visual inspections for leakage	No
1062.MUFFLER	Non Planning	1. None	1. 32,000 2. Note: Every second life of an engine	1. New component including replacement of clamps and hardware (bolts, nuts, etc)	1. Leakage 2. Lost of structural integrity	1. Visual inspection	No

Tabla 02. Intencionalidad de Estrategia en Camiones

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL



Component/ System / Structure	Task Type	Change out Principle	Life Cycle	Replacement / Repair Strategies	Likely Modes of Failure	Strategic Tasks to be Performed Through the Life Cycle	S.E.
1250.FUEL SYSTEM	Non Planning	1. None 2. Note: Standardized fuel system must be done on the whole fleet.	1. 16,000 2. Note: First change out is at 8,000 Hrs	1. New parts- as required	1. Leakage- internal/external 2. Low fuel pressure 3. Contamination	1. Visual inspection 2. Oil Analysis 3. PM – OEM drain the fuel tank	No
1255.FUEL TRANSFER PUMP	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 16,000 2. Note: First change out is at 8,000 Hrs	1. REMAN component	1. Leakage- internal/external 2. Low fuel pressure	1. Visual inspection 2. Oil Analysis 3. Pressure test	No
1273.FUEL TANK	Non Planning	1. None 2. On condition aligned with the engine change out	1. 16000	1. New parts- replace fuel hoses and check condition of screens, sensors and quick fuel adapters and breather 2. Inspect condition of mounts and replace as required	1. Leakage – external 2. Structural cracking/damage	1. Visual Inspection 2. Drain waste from bottom of the tank and analyze material	No
1290.UNIT INJECTOR	Non Planning  Note: For budget purposes 50% of injectors replacement will be included in budget costing	1. None 2. On condition 3. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 16,000 2. Note: First change out is at 8,000 Hrs	1. REMAN injectors	1. Leakage – internal/external 2. Low power 3. Overheating	1. Visual inspection using black light technology 2. Oil analysis 3. Engine performance test 4. Thermocouples test 5. Exhaust temperature trend 6. PM – OEM drain the fuel tank	No
1300.LUBRICATION SYSTEM	Non Planning	1. None 2. On condition 3. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 2,000 2. Note: First change out is at 2,000 Hrs	1. New parts- as required	1. Leakage – external 2. Hoses wear 3. Hoses crack 4. Couplings wear 5. Bolts lost of torque 6. Catastrophic failure of the engine	1. Visual inspection 2. Oil Analysis 3. PM – OEM drain the fuel tank	No
1319.PRELUBE PUMP	Strategy	1. PCR-Target 2. On condition 3. Note: Changed as a part of engine change out	1. 16,000	1. New component 2. Note: Hoses and clamp must be replaced.	1. Leakage – internal/external 2. Electrical failure 3. Short cut and fire	1. Visual inspection 2. Performance testing 3. Wiring checks at PM - OEM	No

Tabla 03. Intencionalidad de Estrategia en Camiones

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

Equipment Strategy Intent  
Hauling Fleet: 793

Component/ System / Structure	Task Type	Change out Principle	Life Cycle	Replacement / Repair Strategies	Likely Modes of Failure	Strategic Tasks to be Performed Through the Life Cycle	S.E.
1349.OIL RENEWAL SYSTEM	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 16,000	1. New parts- as required	1. Highersoot in engine oil 2. Low oil refill by day	1. Trend of oil refill 2. PM – OEM adjustment of the system	No
1350.COOLING SYSTEM	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 2,000	1. New parts- as required	1. Leakage – Internal and external 2. Higher Sodium 3. Higher refills 4. Overheating 5. Hose & coupling failures 6. Product issues	1. Trend of leakages 2. RCA improvements	Yes
1353.RADIATOR	Strategy	1. PCR-Target 2. On condition 3. Note: Changed as a part of engine change out	16,000	1. CRC overhaul 2. REMAN Radiator 3. On site overhaul 4. Note: All hoses from the shunt tank, relief valves, hoses, gaskets and hardware must be changed.	1. Leakage 2. Engine overheating 3. Blockage – internal and external 4. Premature cores leakage	1. Visual inspection 2. Pressure testing 3. Cooling System pressure test in PM – OEM performance test. 4. Hoses strategy must be applied	No
1355.WATER REGULATOR	Strategy	1. PCR-Target	6,000	1. New parts 2. Note: The water regulators, seals and vent valves MUST BE CHANGED each 6,000 hrs	1. Engine ring failure 2. Overheating	1. Find the appropriate water regulator for our own application 2. Monitoring condition by Mine Star Health	No
1356.FAN - SPIDER	Strategy	1. To be changed with every second engine life	32,000	1. New parts- replace fan spider and hardware (nuts, bolts, washers)	1. Fatigue- cracking of fan blades	1. Visual inspection	No
1357.V.BELTS-OF FAN DRIVE	Non Planning	1. None	1. 6,000	1. New parts- as required	1. Overheating	1. Visual inspection	No
1357.V.BELTS-OF ALTERNATOR, COMPRESSOR	Non Planning	1. None	2. 3,000	2. New parts- as required	2. Overheating	2. Visual inspection	No

Equipment Strategy Intent  
Hauling Fleet: 793

Component/ System / Structure	Task Type	Change out Principle	Life Cycle	Replacement / Repair Strategies	Likely Modes of Failure	Strategic Tasks to be Performed Through the Life Cycle	S.E.
1356 BELT TIGHTENER	Strategy	PCR-Target Note: Greater than midpoint of engine life. Note: Review CRC overhauls scope to ensure this is included.	1. 16,000 2. Note: First change out is at 9,000 Hrs	1. New parts-replace bearings, o-rings seals, springs, V-Belts and gaskets 2. Fan control valve 3. Replace pulleys on condition	1. Bearing failure 2. Engine Overheating 3. Fan clutch failure	1. Visual inspection 2. Test fan speed with ET 3. Operator complaint 4. Oil Analysis 5. Engine filter cutting	No
1359 FAN DRIVE	Non Planning	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 16,000 2. Note: First change out is at 9,000 Hrs	1. CRC engine overhaul	1. Bearing failure 2. Engine Overheating 3. Clutch failure 4. Shaft breakage	1. Fan speed performance 2. Oil Analysis 3. Engine filter cutting	No
1361 WATER PUMP – MAIN	Non Planning Note: For budget purposes cost of new item will be included at mid point of engine life cycle	1. None 2. Note: Changed as a part of the engine change out	1. 16,000 2. Note: First change out is at 8,000 Hrs	1. REMAN component	1. Leakage-internal/external 2. Engine overheating	1. Visual inspection 2. Performance testing 3. Oil analysis	No
1363 AFTERCOOLER WATER PUMP	Strategy	1. PCR-Target 2. Note: Greater than mid point of engine life	1. 16,000 2. Note: First change out is at 9,000 Hrs	1. New component	1. Leakage-internal/external	1. Visual inspection 2. Oil analysis	No
1450 STARTING SYSTEM	Non Planning	1. None	1. 8,000	1. New parts- as required	1. Air leakage-externally 2. No start	1. Visual inspection 2. PM air system testing	No
1451 AIR STARTING MOTOR	Non Planning	1. To be changed with the engine 2. Note: As part of the engine R&I scope solenoid and fuel injection control to be replaced	1. 16,000	1. REMAN-Overhaul as part of engine overhaul scope	1. No start 2. Air leakage-externally	1. Visual inspection 2. PM air system testing	No

Tabla 04. Intencionalidad de Estrategia en Camiones

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

Equipment Strategy Intent  
Hauling Fleet: 793

Component/ System / Structure	Task Type	Change out Principle	Life Cycle	Replacement / Repair Strategies	Likely Modes of Failure	Strategic Tasks to be Performed Through the Life Cycle	S.E.
1803 AIR COMPRESSOR	Non Planning Note: This record can be used for future strategy changes	1. To be changed with the engine 2. Note: As part of the engine R&I scope hoses must be replaced and air dryer serviced	1. 16,000	1. REMAN-Overhaul with engine overhaul scope 2. Note: Ensure that a new governor is installed with the overhaul and set with the right pressure	1. Oil in the air system 2. Low air pressure buildup 3. Aeration of the cooling system 4. Coolant in engine oil	1. Air dryer inspections 2. Operator reporting 3. Oil Analysis	No
1900 ENGINE ELECTRONIC CONTROL SYSTEMS	Non Planning	1. After failure	1. 16,000	1. New parts 2. Note: ensure that the correct software is installed with the right configuration	Electronic faults	VIMS reporting Note: ECM replacement is the last option	No

Tabla 05. Intencionalidad de Estrategia en Camiones

Fuente: Área de Planeamiento y Estrategia de MYSRL

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Evaluación de la Implementación de la nueva estrategia de reparación PBR.	Cambio de estrategia de reparación de motores, buscando incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la flota de acarreo.	Costo horario de los motores un equipo de acarreo.	Confiabilidad y Disponibilidad Mecánica (%).
		Cumplir con el presupuesto de cambio de motores de equipos de acarreo.	Opex actual vs. Opex Presupuestado.

Tabla 06. Matriz Operacionalización de variable independiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Disponibilidad Mecánica	Tiempo total calendario que el equipo está disponible para la producción.	Ciclo de Vida del Motor	Horas
		Operatividad del equipo	%

Tabla 07. Matriz Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Análisis del Opex de Mantenimiento.	Cantidad de dinero presupuestado y gastado en mantenimiento para mantener la operatividad de la flota a condiciones definidas por el fabricante.	Costo actual del Opex.	Cálculo del \$/hr.
		Desviación del costo operativo.	Opex presupuestado Vs. Opex actual.

Tabla 08. Matriz Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
PCR	Es el plan de cambio de componentes de acuerdo a un número de horas de trabajo definido.	Vida útil del componente	Horas

Tabla 09. Matriz Operacionalización de variable dependiente

### 3.2 Diseño de investigación

(Fleiss, 2013; O'Brien, 2009 y Green, 2003) definen como un investigación experimental se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador.

De acuerdo a la descripción planteada por Fleiss, O'Brien y Green, nuestra investigación propuesta cumple las características planteadas por los autores, por lo que podemos definir que esta investigación es experimental porque recoge toda la información de las fallas, tiempo de paradas, impacto de la disponibilidad, desde la base de datos de la empresa SAP y Jigsaw, también se incluyó en el análisis el impacto en los costos operativos de la base de datos del sistema AMT, de los motores incluidos en el estudio durante su funcionamiento adicionalmente se tomó los resultados de los análisis de falla de los diferentes componentes del motor entregados por el Dealer con los cuales se realizó cuadros estadísticos que dieron como

resultado la repetitividad del modo de falla, así mismo se usó la información de las desviaciones del presupuesto y el impacto en la disponibilidad de la flota de acarreo en la producción de la operación.

### 3.3 Unidad de estudio

Motores de la flota de acarreo camiones CAT 793

### 3.4 Población

Teniendo en cuenta el concepto de (Walpole y Myers, 1996). “...el total de observaciones en las cuales se está interesado, sea su número finito o infinito, constituye lo que se llama una población,”. Este concepto nos permite determinar nuestra población de estudio, el cual está determinado por 10 motores de los Camiones de Gran Minería CAT 793. Especifica el conjunto total de individuos, objetos o circunstancias de los sujetos con características comunes observables en un lugar y momento determinado.

### 3.5 Muestra (muestreo o selección)

De acuerdo con Briones (1995) “una muestra es representativa cuando reproduce las distribuciones y los valores de las diferentes características de la población..., con márgenes de error calculables,”

Al desarrollar este proyecto de investigación, podemos decir que nuestra muestra es una parte representativa de la población objeto del estudio.

Por lo que hemos creído conveniente utilizar un Muestreo Sistemático Probabilístico o Aleatorio que es el que se obtiene determinando cada n-ésima unidad o k-ésimos casos. Un k-ésimo caso representa el intervalo de selección de unidades de análisis que serán integradas a la muestra, se obtiene mediante la expresión:

$$K = \frac{N}{\quad}$$

**n**

K= Intervalo muestral

N= Población

n= Tamaño de la muestra

En nuestro trabajo de investigación se ha trabajado con población (N) de 10 motores que fallaron antes de su vida útil esperada de 14,000 horas y nuestra muestra (n) de 5 motores a los que se aplicó la nueva estrategia PBR.

Aplicando la fórmula indicada tenemos:

$$K = \frac{N}{n} \quad K = \frac{10}{5} \quad K = 2$$

Este resultado, del intervalo muestral igual a 2, lo que significa que tomamos de cada dos unidades un elemento sucesivamente hasta completar el tamaño de muestra con el que el que trabajamos y el cual pertenece a las unidades muestrales.

### 3.6 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Según Hernandez (2002) la recolección de datos requiere de las siguientes actividades: La selección del instrumento o método de recolección, la aplicación del mismo y preparar las observaciones, registros y mediciones obtenidas para que se analicen.

En nuestro estudio está basada en:

- Los resultados de los análisis y modos de falla: Estos Análisis de Falla (AFA) son desarrollados por el Dealer en el Centro de Reparación de Componentes (CRC) en base al historial del componente como a las evidencias físicas encontradas durante el desarmado y evaluación del componente como parte de su reparación. Para la identificación de los problemas de producto, manufactura y reparación, se realizó la revisión de cada caso el cual está detallado en el análisis de falla.
- Revisión de los costos operativos (Opex): Es el cálculo del \$/hora del componente este es calculado por:

$$\text{Costo de Reparación / Horas Trabajadas} = \$/\text{hora}$$

- Se Analizó y calculó el impacto de la disponibilidad: Esta información es obtenida del sistema de gestión de la empresa Jigsaw donde se registra todas las paradas de los equipos y las causas de las mismas. Se recolectó la información de los equipos parte de este estudio para revisar la disponibilidad de cada uno de ellos y el impacto de las fallas correspondientes al motor para obtener el impacto de las mismas en la disponibilidad obtenida.

### 3.7 Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Se recolectó la información de cada motor fallado (AFAs), la misma que nos fue entregada por el dealer de CAT en Perú. En estos análisis de falla viene detallada toda la información de las actividades realizadas en el componentes durante su periodo de trabajo, horas trabajadas, mantenimientos realizados, resultados de monitoreo de condiciones, tendencias, razones de la causa de falla y recomendaciones.

Luego se realizó el trabajo de gabinete donde se revisó minuciosamente cada resultado de los AFA para poder cruzar información, definir un patrón de falla

y continuar con el análisis respectivo, determinando la nueva estrategia de reparación PBR.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

- ✓ Definir el ciclo de vida total del motor CAT 3500 para Minera Yanacocha SRL. El cual constará de tres reparaciones, cuatro ciclos de vida de 14,000 horas de trabajo c/u logrando un total de 56,000 horas. Así reducir los costos operativos por reparaciones prematuras no presupuestadas.

En este capítulo, se presentan las actividades, tareas y procesos realizados en el área de Mantenimiento Mina donde se identificó las horas promedio de vida de los motores con la reparación estándar en CRC del Dealer. Se procedió a revisar los Análisis de Falla (AFA) de los motores escogidos para el estudio, considerando la repetitividad de falla en algunos de los componentes comprendidos en el motor y que tipo de acción se realizaba con los mismos en CRC. Se verificó el costo de las reparaciones y se realizó el cálculo de las reparaciones y según las horas trabajadas se definió el costo del \$/h dólar hora de estos componentes y se comparó con el presupuesto para poder identificar las desviaciones en el mismo. Posteriormente se revisó el impacto en la disponibilidad de la flota debido a las continuas fallas en los motores de la flota de camiones CAT793. Posteriormente se realizó la definición de la nueva propuesta de reparación PBR para aplicar a los cinco motores y realizamos el mismo análisis en estos motores, vida de motor (horas trabajadas), disponibilidades de los motores (disponibilidad), costo de las reparaciones o paradas de los motores en este periodo (costo horario), siendo los resultados de desarrollo de este estudio el siguiente:

### 4.1 Horas de vida de los motores de camiones CAT793



Como parte de la estrategia de mantenimiento definida para la operación se determinó que los motores de combustión CAT3500 de la flota de camiones tenga un ciclo de vida (PCR) de 14,000 horas, teniendo como estrategia para los mismos la reconstrucción de estos motores luego de falla en los talleres de reparación (CRC) del Dealer, con una estrategia estándar de reparación y cuya vida total sería de 56,000 horas, siendo su número de reparaciones tres durante su vida total.

Siguiendo el caso de estudio se analizó las evaluaciones del comportamiento de los motores CAT3500 de la flota de camiones para poder definir e identificar la problemática presentada en el performance de los motores de esta flota, tomamos los impactos en:

- ✓ Promedio de vida de los motores CAT3500 de la flota de camiones.
- ✓ Impacto de las fallas por motor en la disponibilidad del camión.
- ✓ Costo de reparación de los motores CAT3500 de la flota de camiones (\$/hr).

Se realizó la revisión de la información y cálculo de los impactos en estos tres campos en los diez motores escogidos para el análisis, teniendo como información base el número de serie del motor, número de serie de equipo donde trabajó el motor, costo de la reparación de cada motor enviada a reparar después de falla.

#### **4.2 Horas promedio de vida de los motores CAT 3500 de la flota de camiones**

Se consideró la información de diez motores instalados y cambiados entre los periodos 2014 – 2016, considerando que el impacto de la implementación de la nueva estrategia tiene como objetivo de que los motores duren 14,000 horas que en días es aproximadamente dos años.

Serie de Equipo	ID Equipo	Serie de Motor	Fecha de Instalación	Fecha de Cambio por Falla	Total de Horas Calendario	Down Time del Equipo	Total horas trabajadas de Motor
FDB00564	HT136	FDB100076518	12/03/2014	26/09/2014	4980	844	4136
FDB01178	HT149	FDB100076504	01/05/2016	01/11/2016	4443	525	3918
ATY00407	HT109	ATY100076513	07/08/2014	02/10/2015	10058	1603	8455
FDB00566	HT137	FDB100076523	02/04/2015	18/12/2015	5827	428	5399
ATY00697	HT121	ATY100076519	05/06/2014	03/02/2015	5742	688	5054
ATY00698	HT122	ATY100076509	02/06/2014	24/02/2015	6079	698	5381
ATY00689	HT118	ATY100076507	19/05/2014	26/04/2015	8128	1068	7060
ATY00401	HT103	ATY100076525	28/12/2013	18/07/2014	4933	771	4162
FDB00568	HT139	FDB100076520	24/05/2015	05/08/2015	1893	293	1600
ATY00232	HT101	ATY100076510	11/01/2014	05/09/2015	14324	2404	11920

Average Duración de Motor	5,708
Target Presupestado Motor (PCR)	14,000

Tabla 10. Detalle de motores de camiones CAT793.

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Luego del análisis estadístico básico realizado en los 10 motores CAT 3500 de la flota de camiones queda evidenciado que el PCR de 14,000 horas esperado está muy por debajo del PCR real cuyo average de los diez equipos incluidos en el análisis es de 5,708 horas.

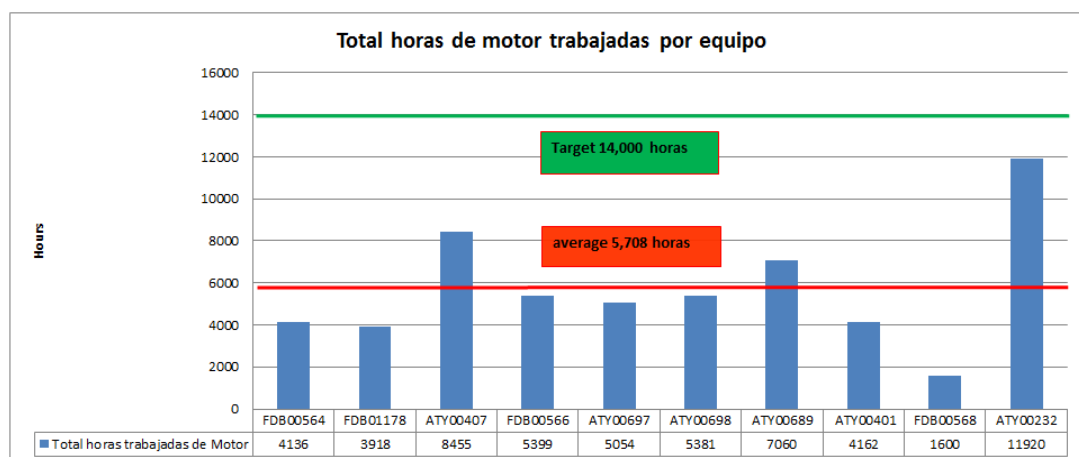


Gráfico 01. Detalle de horas de motor trabajadas por equipo y target de horas de duración.

Fuente: Elaboración Propia, 2018

### 4.3 Análisis de la Disponibilidad como flota de los diez equipos parte del análisis

La empresa tiene implementado un sistema de control de despacho Jigsaw, donde se registran en tiempo real las paradas de los equipos de las diferentes flotas ello nos sirvió para poder acceder a la base de datos de donde tomamos la información de los equipos seleccionados para el estudio y calcular la disponibilidad de cada uno de ellos. Adicionalmente revisamos la información de la razón de falla del motor y con esto poder realizar nuestro análisis.

#### ➤ FDB00564 - HT136 / SERIE MOTOR FDB100076518

En este equipo el motor fue instalado el 12 de marzo del 2014 y falló el 26 de setiembre del 2014 trabajando un total de 4,136 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 81.7% como equipo y un promedio de impacto de la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 4.86%

FDB00564 - HT136 / SEIRE MOTOR FDB100076518							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
mar-14	456	113.48	18.27	75.11%	24.89%	4.01%	87.70%
abr-14	720	110.98	13.12	84.59%	15.41%	1.82%	88.50%
may-14	744	60.92	10.6	91.81%	8.19%	1.42%	88.86%
jun-14	720	142.92	16.22	80.15%	19.85%	2.25%	89.62%
jul-14	744	117.28	10.23	84.24%	15.76%	1.38%	89.49%
ago-14	744	153.45	57.78	79.38%	20.63%	7.77%	89.09%
sep-14	624	145.10	95.73	76.75%	23.25%	15.34%	89.06%

Tabla 11. Detalle de disponibilidad del camión HT136 / SERIE MOTOR FDB100076518.

Fuente: Elaboración Propia, 2018

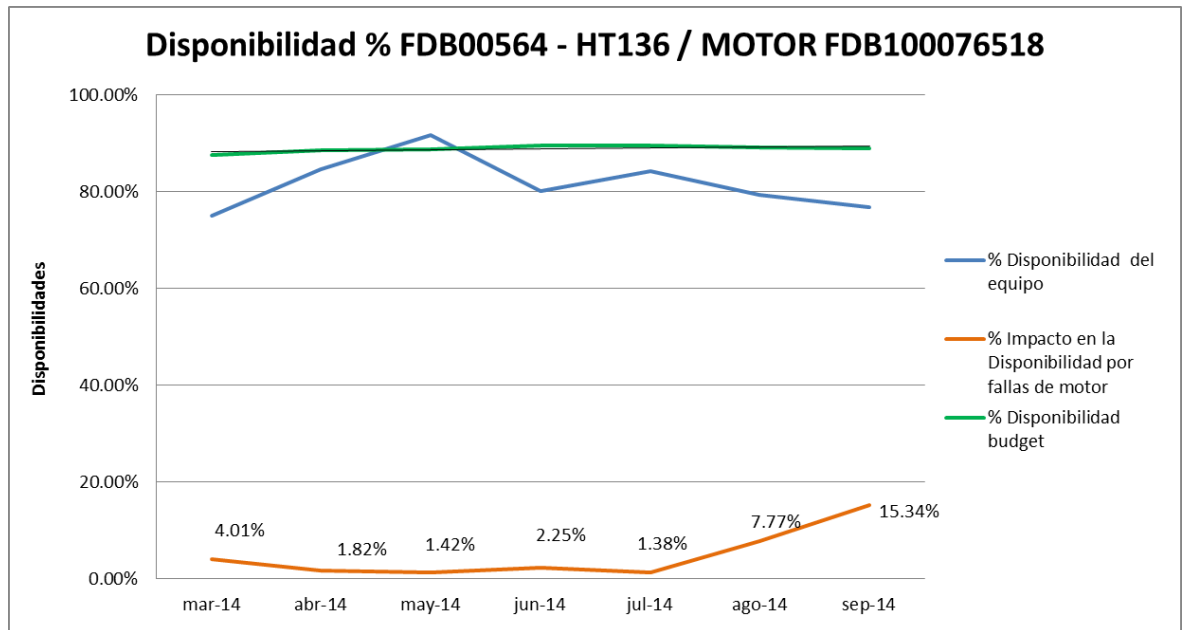


Gráfico 02. Detalle de disponibilidad del camión HT136 / SERIE MOTOR FDB100076518.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La falla producida en este motor se inicia con el desgaste adhesivo generado en el cojinete de bancada #6, de donde se desprendió y desgastó en forma adhesiva la capa plomo estaño del mismo. Las partículas generadas por este cojinete son enviadas hacia los cojinetes de biela #7 y 8 a través del conducto de lubricación que va desde el muñón de bancada hasta el muñón de biela.

El ingreso de estas partículas desgasta la capa plomo estaño de los cojinetes de biela #7 y 8, hasta exponer el metal base de acero. El cojinete de biela #7 sufre el mayor desgaste llegándose a laminar en su totalidad (sólo se encontró fragmentos altamente laminados de este cojinete), para luego incrementar las holguras entre la biela y el muñón del cigüeñal. Estas mismas holguras provocan que el aceite de lubricación ya no ingrese al cojinete de biela #6 y se alivie por dichas holguras de la biela #7 con lo que el cojinete #6 también sufre desgaste acelerado de las capas antifricción. Con las holguras excesivas también se generan impactos entre el agujero de la biela #7 y el muñón del cigüeñal, con lo que la tapa de biela y sus pernos asumen estas cargas, generándose un proceso de fatiga rápida en los pernos “A” y “B” (el perno “B” presenta una zona muy pequeña con

signos de fatiga y la mayor parte de la cara de fractura muestra patrones dúctiles), los cuales luego de fracturarse permitieron el abisagramiento de la tapa en el extremo de los pernos “C” y “D”. La biela #7 se suelta y queda colgada del cilindro, es impactada por el cigüeñal y golpeada contra el block de cilindros generando la fractura de este último.

La falla del cojinete de bancada #6 está relacionado a problemas inherentes al producto, el cual habría sufrido desprendimiento de la capa superficial plomo estaño (flaking), tal como el que se aprecia en el cojinete de bancada #9 y en los cojinetes de biela 1, 2, 4, 6, 9, 13, 15.



Figura 14. Partes dañadas del camión HT136.  
Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA

#### ➤ **FDB01178 - HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504**

En este equipo el motor fue instalado el 01 de mayo del 2016 y falló el 01 de noviembre del 2016 trabajando un total de 3,918 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 88.15% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 2.40%.

FDB01178 - HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de	% Disponibilidad budget
may-16	744	105.97	24.05	85.76%	14.24%	3.23%	86.35%
jun-16	720	65.77	8.18	90.87%	9.13%	1.14%	86.38%
jul-16	744	42.18	0.00	94.33%	5.67%	0.00%	86.36%
ago-16	744	76.53	0.00	89.71%	10.29%	0.00%	86.36%
sep-16	720	61.98	0.00	91.39%	8.61%	0.00%	86.36%
oct-16	744	172.42	74.74	76.83%	23.17%	10.05%	86.22%

Tabla 12. Detalle de disponibilidad del camión HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

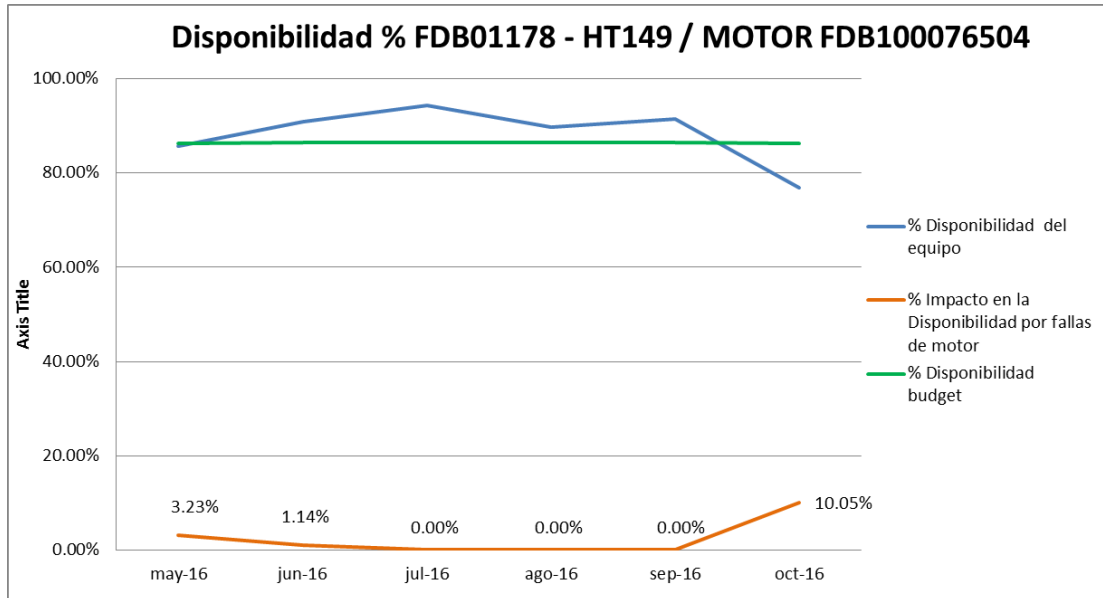


Gráfico 03. Detalle de disponibilidad del camión HT149 / SERIE MOTOR FDB100076504.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La falla de este motor se inició con un sonido extraño reportado en el motor luego del análisis se definió que este sonido tuvo su origen en el cilindro #14, el cual presentó fracturas de sus cabezas de válvulas y daños consecuentes en camisa y corona de pistón. La falla en el cilindro #14 se inició con la fractura de su válvula de escape superior N/P 194- 4897, la cual presentó un patrón de fractura frágil por tracción. El fragmento desprendido de dicha válvula fue impactada por el pistón, provocando además de los golpes en la corona y la culata, impactos en las demás válvulas haciendo que estas se doblen y se fracturen posteriormente. Producto de estos daños el pistón se desalineó fracturando la camisa y permitiendo el ingreso de refrigerante a este cilindro.

En los registros Vims se observa una tendencia normal de la temperatura de gases de escape en el mayor tiempo de operación. Se observaron 2 eventos de alta temperatura de gases del banco izquierdo el 28 y 31 de agosto del 2011, siendo el tiempo de duración del primero 5 minutos y el segundo de 33 segundos.

De lo anteriormente mencionado y dado el patrón de fractura de la válvula de escape superior, según se describe en el presente informe, no se descarta que su fractura se encuentre relacionada a un problema de producto.

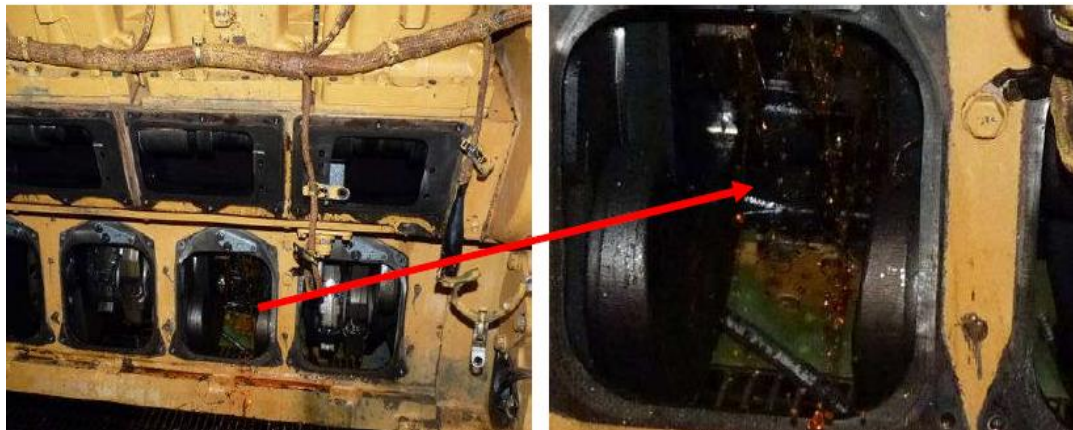


Figura 15. Partes dañadas del camión HT149

Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA

#### ➤ **ATY00407 - HT109 / SERIE MOTOR ATY100076513**

En este equipo el motor fue instalado el 07 de agosto del 2014 y falló el 02 de octubre del 2015 trabajando un total de 8,455 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 79.44% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 13.57%.

ATY00407 - HT109 / SERIE MOTOR ATY100076513							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de	% Disponibilidad budget
ago-14	576	97.62	7.78	83.05%	16.95%	1.35%	89.09%
sep-14	720	36.28	11.12	94.96%	5.04%	1.54%	89.06%
oct-14	744	103.92	22.68	86.03%	13.97%	3.05%	88.96%
nov-14	720	139.42	68.25	80.64%	19.36%	9.48%	88.96%
dic-14	744	60.98	9.37	91.80%	8.20%	1.26%	88.64%
ene-15	720	89.98	3.05	87.50%	12.50%	0.42%	84.83%
feb-15	672	41.77	12.50	93.78%	6.22%	1.86%	84.81%
mar-15	744	141.25	77.05	81.01%	18.99%	10.36%	84.98%
abr-15	720	104.4	80.78	85.50%	14.50%	11.22%	85.99%
may-15	744	106.00	39.67	85.75%	14.25%	5.33%	86.29%
jun-15	720	220.48	218.27	69.38%	30.62%	30.32%	86.34%
jul-15	744	121.35	80.43	83.69%	16.31%	10.81%	86.42%
ago-15	744	107.07	16.68	85.61%	14.39%	2.24%	86.69%
sep-15	720	138.25	118.57	80.80%	19.20%	16.47%	86.64%
oct-15	96	93.98	93.93	2.10%	97.90%	97.84%	85.74%

Tabla 13. Detalle de disponibilidad del camión HT109 / SERIE MOTOR ATY100076513.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

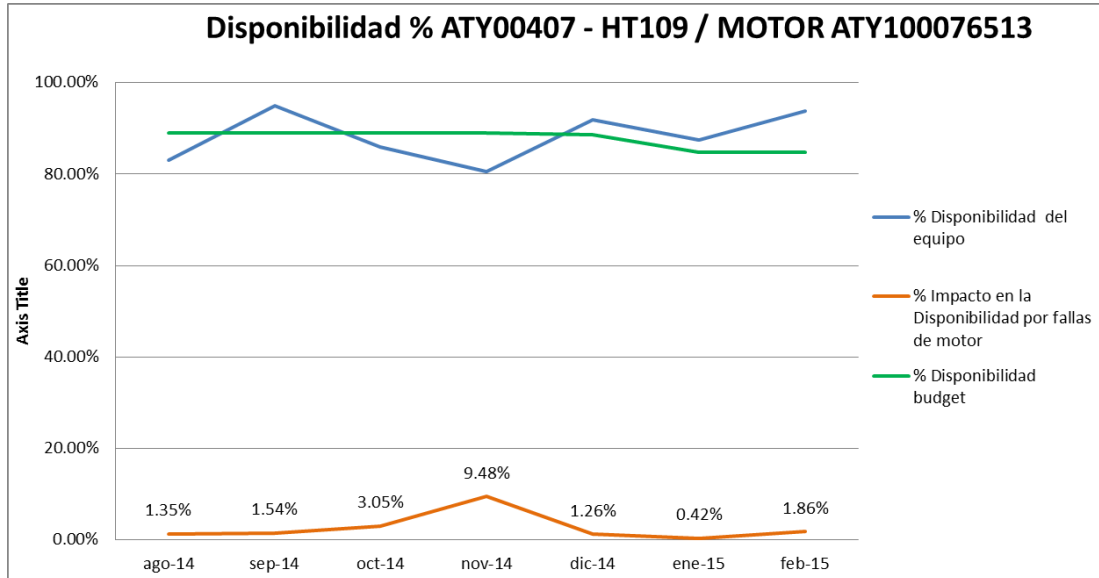


Gráfico 04. Detalle de disponibilidad del camión HT109/Motor ATY100076513

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La rotura del cárter a la altura del cilindro #16 se debió al impacto de la fracción del contrapeso #16 que cayó luego de separarse del cigüeñal. Luego de fraccionarse el contrapeso en dos partes, una de ellas quedó sujeta por los tres pernos al cigüeñal y la otra parte impactó a la altura de la tapa de inspección de biela #16 fracturando una pequeña parte del block y luego al caer al cárter, este se fracturó producto del impacto.

Las evidencias encontradas durante el desarmado en CRC, las evaluaciones realizadas y la información disponible al momento de la emisión del presente informe nos conducen a las siguientes causas más probables de falla: problema de diseño en el contrapeso, o inclusiones en el material del contrapeso durante el proceso de manufactura. Por tanto la falla está relacionada a un problema inherente al producto.

Se han descartado las siguientes posibles causas: desajuste de pernos, inadecuada instalación, sobre-velocidades e impactos sobre el contrapeso.





Figura 16. Partes dañadas del camión HT109.  
Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

➤ **FDB00566 - HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523**

En este equipo el motor fue instalado el 02 de abril del 2015 y falló el 18 de diciembre del 2015 trabajando un total de 5,399 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 86.26% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 7.17%.

FDB00566 - HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
abr-15	672	167.92	125.12	75.01%	24.99%	18.62%	85.99%
may-15	744	34.50	4.38	95.36%	4.64%	0.59%	86.29%
jun-15	720	81.58	10.7	88.67%	11.33%	1.49%	86.34%
jul-15	744	66.90	12.38	91.01%	8.99%	1.66%	86.42%
Romero ago-15	744	103.50	4.37	86.09%	13.91%	0.59%	86.69%
sep-15	720	160.02	100.52	77.78%	22.23%	13.96%	86.64%
oct-15	744	103.88	9.03	86.04%	13.96%	1.21%	85.74%
nov-15	720	86.50	1.48	87.99%	12.01%	0.21%	85.82%
dic-15	600	190.35	157.45	68.28%	31.73%	26.24%	85.38%

Tabla 14. Detalle de disponibilidad del camión HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

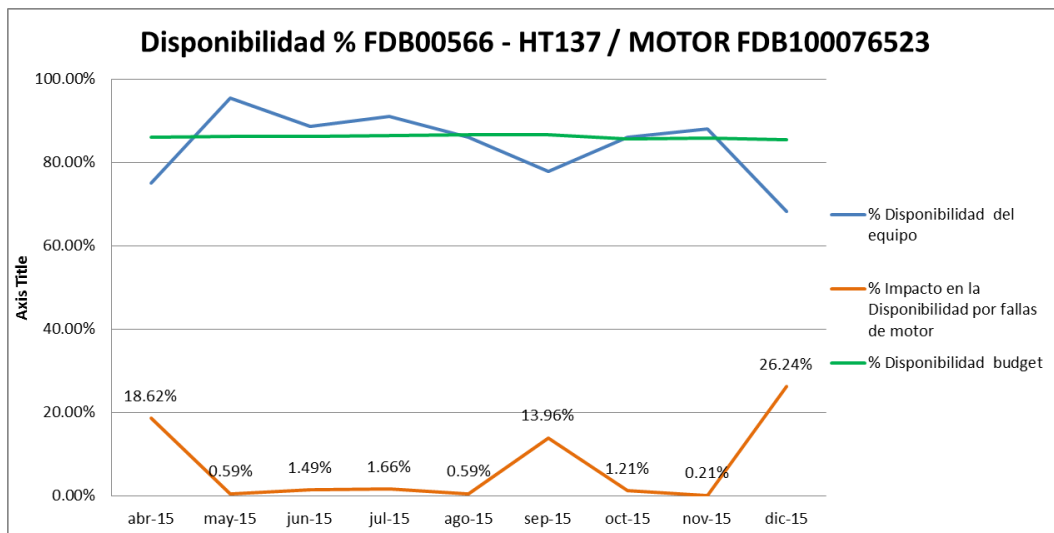


Gráfico 05. Detalle de disponibilidad del camión HT137 / SERIE MOTOR FDB100076523.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Durante el desarmado en CRC del motor, se pudo verificar que el turbo de baja posterior no falló, las partículas encontradas en el sistema de admisión provinieron del turbo de alta LH, el cual está acoplado en serie al turbo de baja posterior.

La falla del turbo de alta LH se dio como consecuencia del desbalance del rodete del compresor por la pérdida de masa del rodete debido a la fractura de alguna sección de sus álabes, producto de esta condición el rodete comenzó a rozar contra su housing y su plato de apoyo. A consecuencia de este rozamiento y/o interposición de partes fracturadas entre rodete de compresor y housing, el rodete se sobreajusta contra el eje de turbina (ajuste de rodete es en sentido antihorario – giro de rodete es en sentido horario) originando así la fractura de la zona roscada del rodete de compresor y consecuente desacople entre rodete de compresor y eje de turbina.

De los hechos registrados y de la información disponible al momento de la emisión del presente informe que concluye que la falla tiene dos posibles orígenes no excluyentes entre si:

- ✓ Altas temperaturas del aire después del compresor.
- ✓ Problema de diseño manufactura y/o baja resistencia de material del rodete del compresor, el cual no habría soportado las altas temperaturas de trabajo a las que estuvo sometido.



Figura 17. Partes dañadas del camión HT137.  
Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY00697 - HT121 / SERIE MOTOR ATY100076519**

En este equipo el motor fue instalado el 05 de junio del 2014 y falló el 03 de febrero del 2015 trabajando un total de 5,054 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 82.90% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 4.66%.

ATY00697 - HT121 / SERIE MOTOR ATY100076519							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
jun-14	624	114.17	47.83	81.70%	18.30%	7.67%	89.62%
jul-14	744	34.73	0	95.33%	4.67%	0.00%	89.49%
ago-14	744	60.35	3.8	91.89%	8.11%	0.51%	89.09%
sep-14	720	63.90	11.12	91.13%	8.88%	1.54%	89.06%
oct-14	744	37.45	7.95	94.97%	5.03%	1.07%	88.96%
nov-14	720	113.20	4.95	84.28%	15.72%	0.69%	88.96%
dic-14	744	12.47	0.08	98.32%	1.68%	0.01%	88.64%
ene-15	720	48.68	3.73	93.24%	6.76%	0.52%	84.83%
feb-15	240	203.35	71.80	15.27%	84.73%	29.92%	84.81%

Tabla 15. Detalle de disponibilidad del camión HT121 / SERIE MOTOR ATY100076519  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

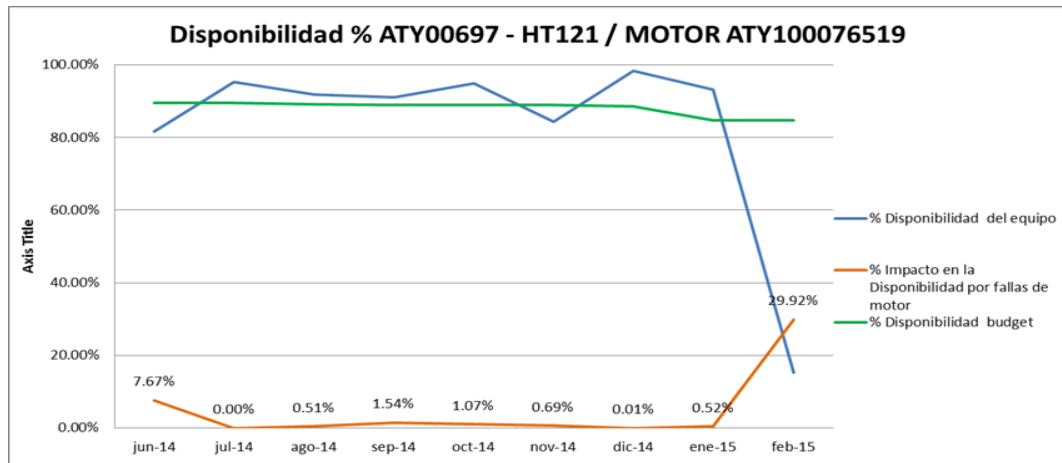


Gráfico 06. Detalle de disponibilidad del camión HT121/Motor ATY0076519  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La falla de este motor se debió a la fractura del contrapeso #16 (N/P183-8814), el cual se fragmentó en dos partes y habiéndose desarrollado la fractura a lo largo de uno de los agujeros para el perno de contrapeso.

Dentro de las causas más probables para el desarrollo de esta falla en el contrapeso se han considerado:

1. Dureza no apropiada de la superficie plana rectificada del contrapeso.
2. Centro de gravedad elevado del lóbulo del contrapeso.

Estas dos posibilidades están relacionadas a temas de producto (diseño / manufactura).

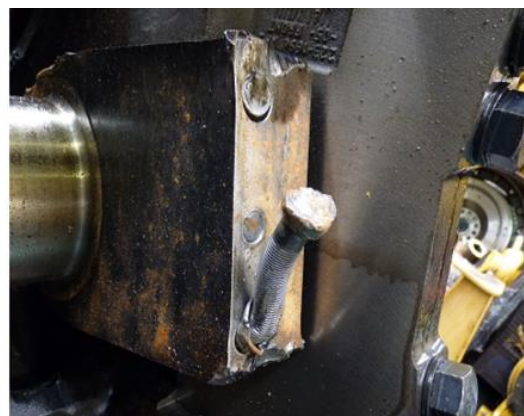


Figura 18. Partes dañadas del camión HT121.

Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY00698 - HT122 / SERIE MOTOR ATY100076509**

En este equipo el motor fue instalado el 02 de junio del 2014 y falló el 24 de febrero del 2015 trabajando un total de 5,381 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 83.94% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 3.09%.

ATY00698 - HT122 / SERIE MOTOR ATY100076509							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
jun-14	696	123.22	76.73	82.30%	17.70%	11.02%	89.62%
jul-14	744	65.42	0.00	91.21%	8.79%	0.00%	89.49%
ago-14	744	93.80	0.00	87.39%	12.61%	0.00%	89.09%
sep-14	720	35.53	1.37	95.07%	4.93%	0.19%	89.06%
oct-14	744	74.38	9.37	90.00%	10.00%	1.26%	88.96%
nov-14	720	89.35	12.05	87.59%	12.41%	1.67%	88.96%
dic-14	744	23.13	3.85	96.89%	3.11%	0.52%	88.64%
ene-15	720	63.42	3.58	91.19%	8.81%	0.50%	84.83%
feb-15	576	130.07	72.88	77.42%	22.58%	12.65%	84.81%

Tabla 16. Detalle de disponibilidad del camión HT122 / SERIE MOTOR ATY100076509.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

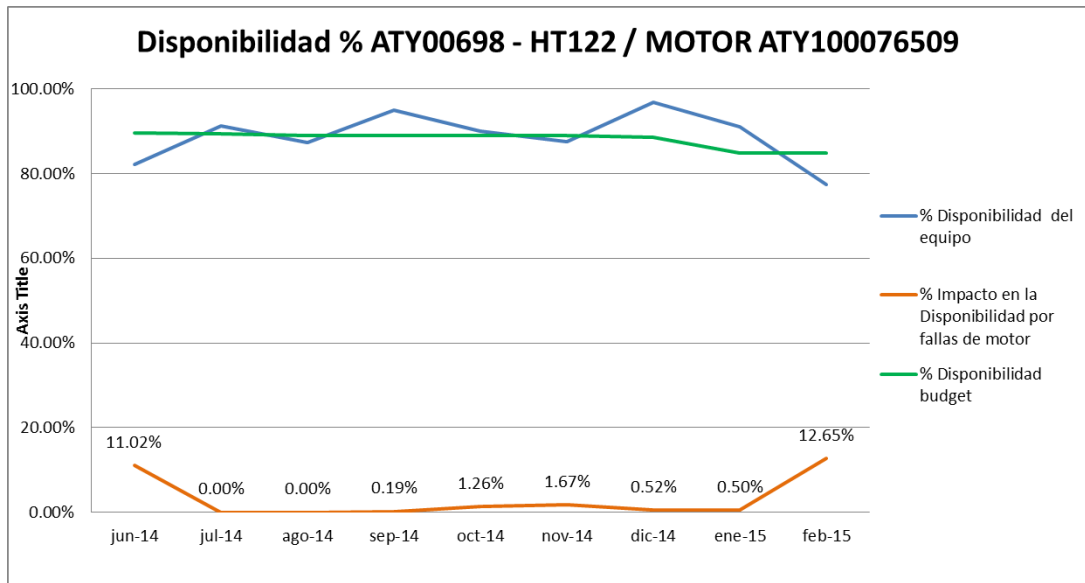


Gráfico 07. Detalle de disponibilidad del camión HT122/ATY100076509.  
 Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La falla de este motor se debió a la fractura del contrapeso #16 (n/p 183-8814), el cual se fragmentó en dos partes. La fractura se inició en la superficie plana donde asienta el contrapeso contra el pad del cigüeñal y se desarrolló a lo largo de uno de los agujeros de los pernos de sujeción del contrapeso, según de muestra en el presente informe. Las caras de fractura del contrapeso mostraron las características de un proceso de fatiga de bajas cargas y altos ciclos.

Es importante tener en cuenta que ninguno de los 03 pernos que sujetan el contrapeso #16 se encontraron sueltos. Tampoco se han registrado eventos relevantes de sobre velocidad que hubiesen contribuido al desarrollo de la fractura del contrapeso #16.

En la reparación anterior del motor éste sólo ingreso para vestido, en la cual no se realizó ningún trabajo en el cigüeñal.

Dentro de las causas más probables para el desarrollo de la falla de este contrapeso se consideran:

1. Dureza no apropiada de la superficie plana rectificada del contrapeso, relacionada a problemas de manufactura. La fractura inicia desde la cara de asentamiento del contrapeso sobre el pad del cigüeñal

2. Centro de gravedad elevado del lóbulo del contrapeso, relacionado a problema de diseño y/o manufactura. Esto puede conllevar a que el lóbulo concentre una mayor fuerza centrífuga sobre esta zona durante el giro del cigüeñal. Estas dos posibilidades están relacionadas a temas de producto (diseño / manufactura).

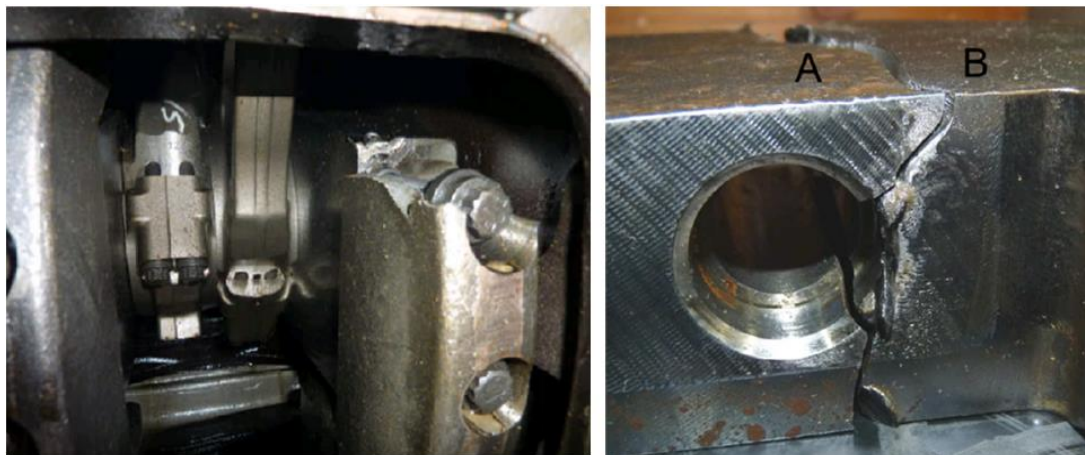


Figura 19. Partes dañadas del camión HT122.  
Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY00689 - HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507**

En este equipo el motor fue instalado el 19 de mayo del 2014 y falló el 26 de abril del 2015 trabajando un total de 7,060 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 86.32% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 2.99%.

ATY00689 - HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
may-14	288	58.52	25.23	79.68%	20.32%	8.76%	88.86%
jun-14	720	27.00	0.25	96.25%	3.75%	0.03%	89.62%
jul-14	744	82.72	23.15	88.88%	11.12%	3.11%	89.49%
ago-14	744	40.08	3.00	94.61%	5.39%	0.40%	89.09%
sep-14	720	135.15	1.08	81.23%	18.77%	0.15%	89.06%
oct-14	744	35.07	2.25	95.29%	4.71%	0.30%	88.96%
nov-14	720	58.95	6.13	91.81%	8.19%	0.85%	88.96%
dic-14	744	127.22	10.2	82.90%	17.10%	1.37%	88.64%
ene-15	720	39.68	5.80	94.49%	5.51%	0.81%	84.83%
feb-15	672	300.77	34.40	55.24%	44.76%	5.12%	84.81%
mar-15	744	56.95	2.93	92.35%	7.65%	0.39%	84.98%
abr-15	624	105.60	91.17	83.08%	16.92%	14.61%	85.99%

Tabla 17. Detalle de disponibilidad del camión HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507  
Fuente: Elaboración Propia, 2018

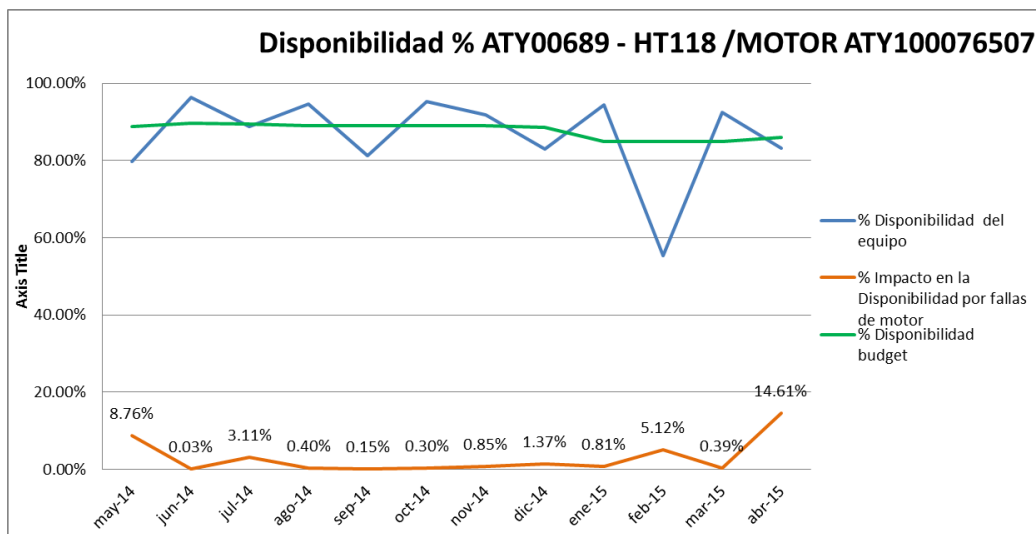


Gráfico 08. Detalle de disponibilidad del camión HT118 / SERIE MOTOR ATY100076507  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

La fuga externa de refrigerante se ha dado por las tomas de ingreso de refrigerante a los turbos de alta.

En el turbo de alta izquierdo se observó la fractura del adaptador n/p 163-4277 y falta de arandela en uno sus pernos de sujeción.

En el turbo de alta derecho se observó la ausencia del perno n/p 1A-2029.



Ambas condiciones generaron pérdida de hermeticidad en las líneas de ingreso de refrigerante a los turbos de alta, hecho que se vió manifestado en fuga externa por ambos bancos.

Se descartó que la fuga externa de refrigerante observada en mina provenga de los gaskets de culata y/o band filler, teniendo en cuenta la inspección realizada en el desarmado donde no se encontraron daños anormales en los ferrules ni estructura de los band filler.



Figura 20. Partes dañadas del camión HT118.

Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY00401 - HT103 / SERIE MOTOR ATY100076525**

En este equipo el motor fue instalado el 28 de diciembre del 2013 y falló el 18 de julio del 2014 trabajando un total de 4,162 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 82.87% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 4.30%.

ATY00401 - HT103 / SERIE MOTOR ATY100076525							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
dic-13	72	7.52	0.00	89.56%	10.44%	0.00%	88.24%
ene-14	720	17.37	1.62	97.59%	2.41%	0.23%	87.05%
feb-14	744	34.23	11.6	95.40%	4.60%	1.56%	87.89%
mar-14	744	90.47	0.00	87.84%	12.16%	0.00%	87.70%
abr-14	720	109.18	1.55	84.84%	15.16%	0.22%	88.50%
may-14	744	233.30	61.25	68.64%	31.36%	8.23%	88.86%
jun-14	720	38.83	1.32	94.61%	5.39%	0.18%	89.62%
jul-14	432	239.93	103.53	44.46%	55.54%	23.97%	89.49%

Tabla 18. Detalle de disponibilidad del camión HT103 / SERIE MOTOR ATY100076525  
Fuente: Elaboración Propia, 2018

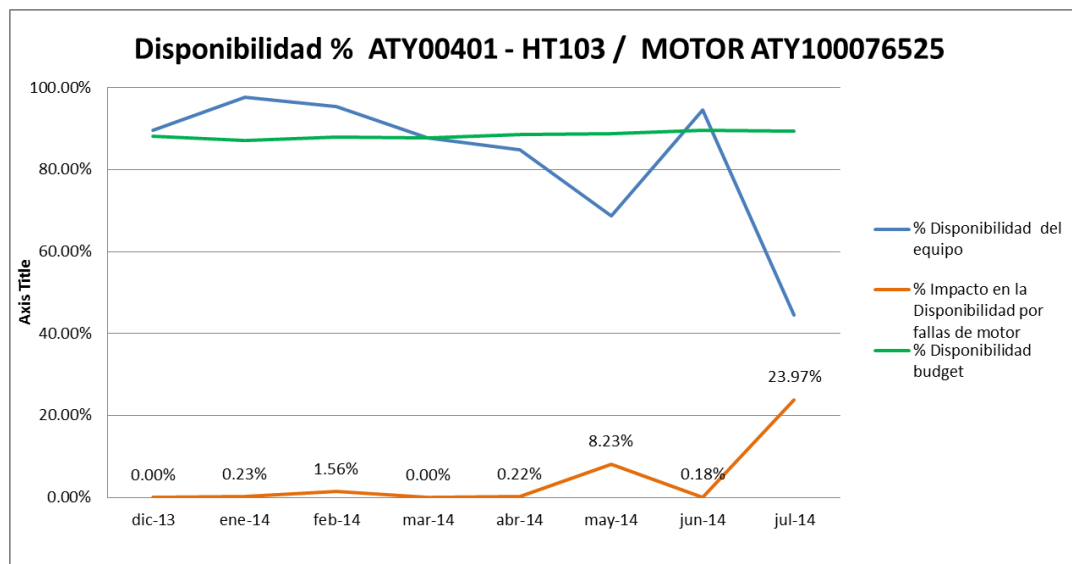


Gráfico 09. Detalle de disponibilidad del camión HT103/Motor ATY100076525  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Durante el desarmado del motor se encontraron fracturadas las cuatro válvulas de la culata N°2 y su respectiva camisa. Dos de éstas no se encontraron en el motor (hubo desmontaje de culata en mina). De la evidencia recolectada durante el desarmado y de las pruebas realizadas en el taller, se descarta que la falla haya sido consecuencia de una traba hidráulica como se indicó inicialmente desde el proyecto: se descartó la falta de hermeticidad de alguno de los componentes que pudieron haber causado el pase de refrigerante al cilindro N° 2. Se concluye que la secuencia de la falla se inició con la fractura de la válvula de escape

superior y que el resto de daños encontrados en la camisa, balancines y puentes son consecuencia de la fractura de esta válvula. Todas las caras de fractura de las válvulas presentan fracturas frágiles.

Se tiene registrado en el historial de mantenimiento que el motor falló poco tiempo después de un mantenimiento preventivo, en el cual se realizó un trabajo de presurización de culatas (no se cuenta con información detallada acerca del procedimiento realizado). De acuerdo con este antecedente, no es posible descartar que un objeto externo o ajeno al motor haya ingresado a la cámara de combustión del cilindro N° 2 causando todos los daños encontrados, de acuerdo con las evidencias analizadas.

Se descarta que la falla de las válvulas haya sido consecuencia de una inadecuada calibración de válvulas (valores dejado están dentro de especificación). No se encontraron evidencias de esto en las partes fracturadas y tampoco se encontraron mal calibradas las válvulas antes del desarmado.



*Figura 21. Partes dañadas del camión HT103.*

*Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.*

#### ➤ **FDB00568 - HT139 / SERIE MOTOR FDB100076520**

En este equipo el motor fue instalado el 24 de mayo del 2015 y falló el 05 de agosto del 2015 trabajando un total de 1,600 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 62.71% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 12.78%.

FDB00568 - HT139 / SERIE MOTOR FDB100076520							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
may-15	168	80.25	7.90	52.23%	47.77%	4.70%	86.29%
jun-15	720	57.97	0.12	91.95%	8.05%	0.02%	86.34%
jul-15	744	50.75	0.20	93.18%	6.82%	0.03%	86.42%
ago-15	120	103.83	55.65	13.48%	86.53%	46.38%	86.69%

Tabla 19. Detalle de disponibilidad del camión HT139 / SERIE MOTOR FDB100076520.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

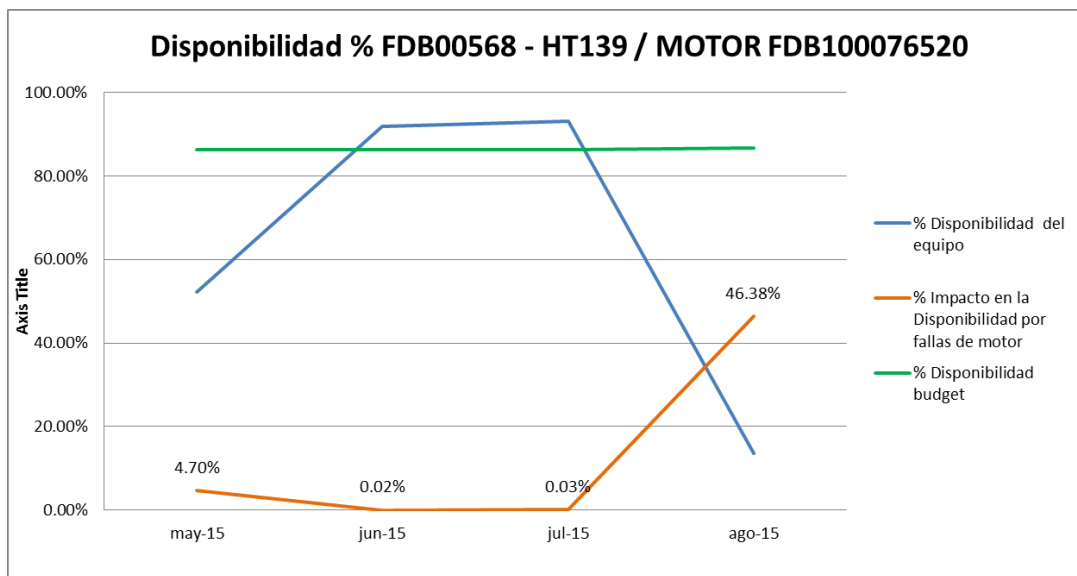


Gráfico 10. Detalle de disponibilidad del camión HT139/Motor FDB100076520

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

El sonido anormal del motor en operación se debió a la falla de la culata #1 donde se encontró fracturadas las cuatro válvulas de la culata, además de encontrar su respectiva camisa rajada. De la evidencia recolectada durante el desarmado y de las pruebas realizadas en el taller se concluye que la secuencia de la falla se inició con la fractura de la válvula de escape superior, cuyo vástago se halló sin dobladura (recto) a diferencia de las otras que si lo están. En la cara de fractura de las válvulas dobladas se observa patrones de tipo frágil, producto de impactos, pero en la cara de fractura de la válvula recta se observa golpes, por lo que no se puede establecer el tipo de fractura. Además se encontraron en buenas condiciones todo el mecanismo de válvula de la culata #1 (resortes,

rotadores, puentes, buzos, varillas), estos están sin daños, solo se encontró fracturado el perno de sujeción del inyector ya que este sufrió impacto en su punto de inyección luego de la fractura de válvulas.

Se descarta que la falla haya sido consecuencia de una mala calibración ya que se tomaron las medidas en CRC encontrándose dentro de especificaciones, también los reportes SOS, tendencia de VIMS (temperatura de escape, flujos de aceite y refrigerante) se encontraron dentro de rango especificados, atribuyendo esta falla a un problema puntual en una de las válvulas de escape, la cual sufrió un desprendimiento de su cabeza, bajo condiciones normales de operación del motor en base a la información disponible y analizada a la fecha.

Este caso está siendo estudiado por el fabricante, quien ha solicitado las partes de esta culata para determinar la causa raíz de la rotura de la válvula.



Figura 22. Partes dañadas del camión HT139.

Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

#### ➤ **ATY00232 - HT101 / SERIE MOTOR ATY100076510**

En este equipo el motor fue instalado el 11 de enero del 2014 y falló el 05 de septiembre del 2015 trabajando un total de 11,920 horas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 81.14% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas de motor de es de 6.62%.

ATY00232 - HT101 / SERIE MOTOR ATY100076510							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
ene-14	480	84.64	11.22	82.37%	17.63%	2.34%	87.05%
feb-14	672	117.35	17.55	82.54%	17.46%	2.61%	87.89%
mar-14	744	127.27	0.65	82.89%	17.11%	0.09%	87.70%
abr-14	720	108.28	2.17	84.96%	15.04%	0.30%	88.50%
may-14	744	108.82	1.42	85.37%	14.63%	0.19%	88.86%
jun-14	720	128.26	24.30	82.19%	17.81%	3.38%	89.62%
jul-14	744	139.03	19.23	81.31%	18.69%	2.58%	89.49%
ago-14	744	128.31	5.77	82.75%	17.25%	0.78%	89.09%
sep-14	720	112.36	15.70	84.39%	15.61%	2.18%	89.06%
oct-14	744	150.12	56.20	79.82%	20.18%	7.55%	88.96%
nov-14	720	98.63	7.42	86.30%	13.70%	1.03%	88.96%
dic-14	744	164.62	12.30	77.87%	22.13%	1.65%	88.64%
ene-15	720	91.33	19.33	87.32%	12.68%	2.68%	84.83%
feb-15	672	106.95	2.30	84.08%	15.92%	0.34%	84.81%
mar-15	744	104.83	27.88	85.91%	14.09%	3.75%	84.98%
abr-15	720	32.38	6.60	95.50%	4.50%	0.92%	85.99%
may-15	744	193.62	58.88	73.98%	26.02%	7.91%	86.29%
jun-15	720	95.32	73.27	86.76%	13.24%	10.18%	86.34%
jul-15	744	154.10	94.66	79.29%	20.71%	12.72%	86.42%
ago-15	720	73.32	30.38	89.82%	10.18%	4.22%	86.69%
sep-15	120	85.91	85.91	28.41%	71.59%	71.59%	86.64%

Tabla 20. Detalle de disponibilidad del camión HT101 / SERIE MOTOR ATY100076510  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

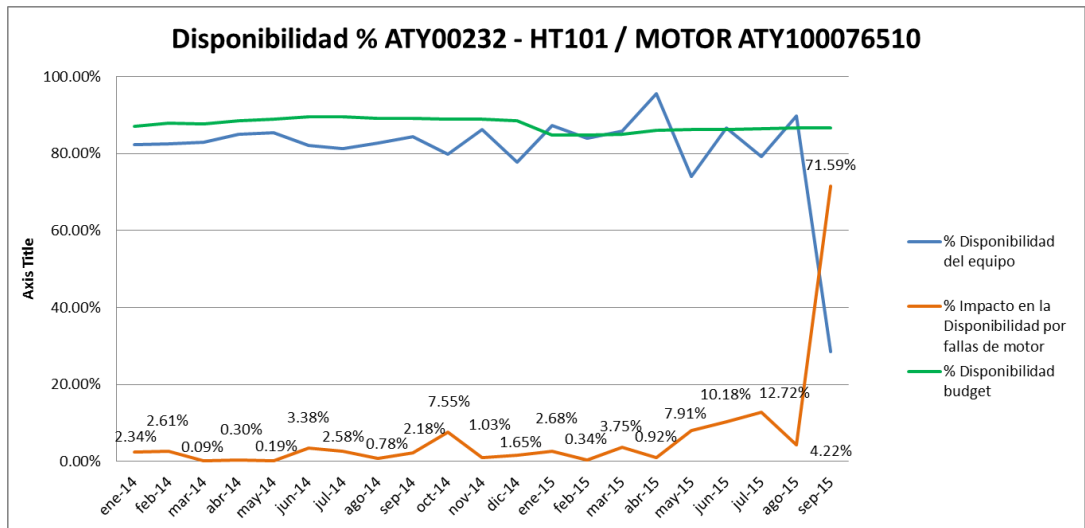


Gráfico 11. Detalle de disponibilidad del camión HT101/Motor ATY100076510.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Luego de observar y analizar los componentes del motor se llega a la conclusión que la traba hidráulica reportada por el Cliente se debió al ingreso de refrigerante a la cámara de combustión del cilindro #9. El

refrigerante ingresó a la cámara a través de una fisura pasante observada en la camisa. La fisura en la camisa es consecuencia de la falla en los componentes del cilindro #9, la cual se detalla a continuación.

Durante el desarmado del motor se notó que la falla fue localizada en el cilindro #9. En este cilindro se observaron huellas de impacto en la superficie de combustión de la culata y la corona del pistón, así como la fractura de sus válvulas de escape y admisión. Las huellas de impacto en los componentes mencionados anteriormente fueron ocasionados por el ingreso a la cámara de combustión de los segmentos de las válvulas fracturadas.

Luego de observar y analizar los componentes relacionados con la falla se concluye que ésta fue focalizada en la válvula de escape superior del cilindro #9, que a diferencia de los demás vástagos de las válvulas del cilindro (los cuales aún se encontraban alojados en la culata), no se halló doblada. Esto indicaría que la fractura de la válvula de escape superior no se dio a consecuencia de algún tipo de impacto con el pistón o el ingreso de algún material extraño entre estos dos componentes. La cara de fractura de esta válvula presentó apariencia áspera y leñosa, característica típica de las fracturas frágiles y teniendo en cuenta que los vástagos de las válvulas resisten cargas de tensión, se determina que la fractura es de tipo frágil por cargas de tracción pura. La fractura de la válvula no se originó en las zonas de alta concentración de esfuerzos, por ende se concluye que la fractura está relacionado con la baja resistencia del material o a un inadecuado tratamiento térmico, siendo ambas causas atribuibles a problemas de producto.

El fragmento desprendido de la válvula de escape del lado superior fue impactado por el pistón, provocando además de los golpes en la corona y la culata, impactos en las demás válvulas haciendo que éstas se doblen y se fracturen posteriormente.

En general las tendencias de las temperaturas de los gases de escape de ambos bancos se encontraron por debajo de 720°C, los eventos registrados en el VIMS relacionados a la temperatura de los gases de

escape sólo fueron eléctricos. Se observaron 10 eventos de sobre-velocidades del motor sin embargo éstos eventos fueron de corta duración, de categoría 2 y estuvieron espaciados durante el tiempo de operación del motor.

Se observaron daños por impacto entre el button del balancín y la parte superior del puente del lado de admisión del cilindro #9.

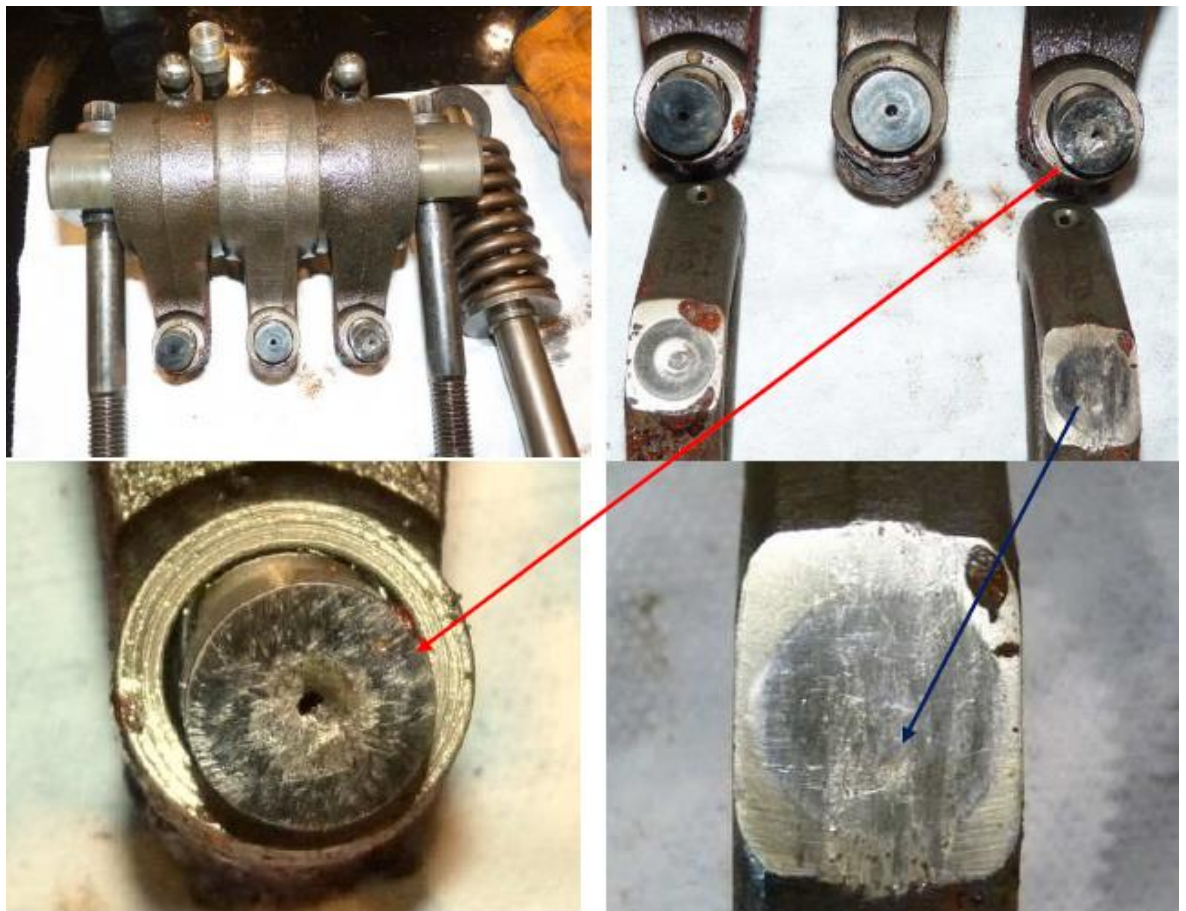


Figura 23. Partes dañadas del camión HT101.  
Fuente: Elaboración AFA-CRC/Ferreyros SA.

#### 4.4 Análisis del costo horario presupuestado versus el real

El costo de la reparación del motor de la flota 793 cuenta con tres rubros:

- ✓ Mano de obra
- ✓ Materiales
- ✓ Trabajos de recuperación



La tarifa para la operación estuvo fijada según lo indicado en el cuadro adjunto.

		Costo de Reapación (Sin adicionales)
<b>TOTAL DE REPUESTOS</b>	<b>US\$</b>	<b>311,911</b>
MANO DE OBRA + MATERIALES	US\$	32,142
TRABAJOS DE RECUPERACIÓN	US\$	24,165
<b>MONTO TOTAL DE REPARACION</b>	<b>US\$</b>	<b>368,218</b>

Donde el costo hora está calculado de la siguiente forma:

$$\$/h = \frac{\text{Costo de Reparación}}{\text{Horas de operación}}$$

Para el caso de esta operación minera el dólar hora esperado para sus motores es:

$$\$/h = \frac{368,218}{14,000 \text{ h}} = 26.30$$

Luego de la recolección de información realizada a los diez motores de la flota 793 de la operación podemos identificar que el costo del dólar hora real está muy por encima del dólar hora esperado o presupuestado, debido a las diferentes fallas presentadas en este componente. Teniendo como consecuencia un impacto considerable en el presupuesto del área.

Serie de Equipo	ID Equipo	Serie de Motor	Fecha de Instalación	Fecha de Cambio por Falla	Total horas trabajadas de Motor	Costo de Reparación \$	\$/h
FDB00564	HT136	FDB100076518	12/03/2014	26/09/2014	4,136	368,218	89.03
FDB01178	HT149	FDB100076504	01/05/2016	01/11/2016	3,918	368,218	93.98
ATY00407	HT109	ATY100076513	07/08/2014	02/10/2015	8,455	368,218	43.55
FDB00566	HT137	FDB100076523	02/04/2015	18/12/2015	5,399	368,218	68.20
ATY00697	HT121	ATY100076519	05/06/2014	03/02/2015	5,054	368,218	72.86
ATY00698	HT122	ATY100076509	02/06/2014	24/02/2015	5,381	368,218	68.43
ATY00689	HT118	ATY100076507	19/05/2014	26/04/2015	7,060	368,218	52.16
ATY00401	HT103	ATY100076525	28/12/2013	18/07/2014	4,162	368,218	88.47
FDB00568	HT139	FDB100076520	24/05/2015	05/08/2015	1,600	368,218	230.14
ATY00232	HT101	ATY100076510	11/01/2014	05/09/2015	11,920	368,218	30.89
<b>Average \$/h de Motor</b>					<b>57,085</b>	<b>3,682,180</b>	<b>64.50</b>
<b>Target \$/h Presupuestado</b>					<b>140,000</b>	<b>3,682,180</b>	<b>26.30</b>

Tabla 21. Detalle del Costo de Reparación de los motores (\$/Hr.)

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

#### **4.5 Definición de la nueva propuesta de reparación PBR para los motores CAT3500**

- ✓ Definir una reparación personalizada a los motores CAT 3500 de Minera Yanacocha SRL de acuerdo al número de reparación del componente según su ciclo de vida total proyectada considerando las principales partes del motor a cambiar en cada una de ellas (block, cigüeñal, culatas y engranajes).

Luego de la información revisada y analizada se definió implementar una nueva estrategia de reparación de los motores CAT3500 de la operación para poder llegar a obtener la confiabilidad adecuada del componente y poder cumplir con las horas de trabajo presupuestadas de los mismos, para realizar este cambio de estrategia se trabajó en conjunto Cliente, Dealer y Fabricante, donde tomando en cuenta las mejoras de producto, una nueva estrategia de cambio de partes y mantenimiento en la operación se definió realizar la reparación de los motores basados a una nueva estrategia llamada PBR y que se basó en los análisis de los modos de falla con lo cual se definió cambiar por nuevas ciertas partes que anteriormente estaban definidas para ser usadas por REMAN, reparadas o por aquellas que pasaran la guía de reusabilidad de CAT. En el cuadro adjunto podemos apreciar las más relevantes y el detalle lo podemos revisar en los anexos.

CRITERIOS DE REPARACIÓN CRC - PBR MOTOR 793					
MODELO	COMPONENTE	PARTE	CRITERIO DE CAMBIO	MINA	CONDICIÓN DEL COMPONENTE NUEVO / REMAN / REPARADO
793	MOTOR	AFTERCOOLER	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ASIENTO DE VÁLVULA WASTEGATE	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		BALANCINES	<28000 HORAS CADA 2 OVERHAUL	✓	NUEVO
		BELLOWS ADMISIÓN	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		BELLOWS ESCAPE	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		BIELAS	POR CONDICION / (RECOMENDACIÓN CAT <48000 HORAS)	✓	NUEVO
		BIELAS (PERNOS DE)	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		BLOCK	<56000 HORAS CADA 4 OVERHAULS	✓	NUEVO
		BLOCK (INSERTOS)	16 upper sleeve + 128 pases de agua / POR CONDICION DE BLOCK	✓	
		CIGÜEÑAL	POR CONDICION / (RECOMENDACIÓN CAT <48000 HORAS)	✓	NUEVO
		CULATAS	<28000 HORAS CADA 2 OVERHAUL (REEMPLAZO OBLIGATORIO EN PBR2)	✓	NUEVO
		DAMPER RUBBER	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		EJE DE LEVAS	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ENFRIADOR DE MOTOR	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ENFRIADORES MAQUINA	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ENGRANAJES	<28000 HORAS CADA 2 OVERHAUL (REEMPLAZO OBLIGATORIO EN PBR2)	✓	NUEVO
		INYECTORES	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		LIFTER	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		MANIFOLDS DE ESCAPE	POR CONDICION	✓	NUEVO
		PISTONES	< 28000 HORAS CADA 2 OVERHAUL	✓	NUEVO
		SENSOR / SWITCH / HARNES	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		TERMOCUPLAS	NO INSTALAR	X	
		TURBOS DE ALTA (CARTRIDGE)	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		TURBOS DE BAJA (CARTRIDGE)	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		VALVULA WASTEGATE	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		VALVULAS DE ADMISIÓN MOTOR	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		VALVULAS DE ESCAPE MOTOR	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ARRANCADOR - prelub	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		ARRANCADOR NEUMATICO	POR CONDICION / (REPARACION)	✓	NUEVO
		BOMBA DE ACEITE	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO
		BOMBA DE AGUA PRIMARIA	CADA OVERHAUL	✓	REMAN
		BOMBA DE AGUA SECUNDARIA	CADA OVERHAUL	✓	REMAN
		BOMBA DE BARRIDO DE ACEITE	CADA OVERHAUL	✓	REMAN
		BOMBA DE TRANSFERENCIA	CADA OVERHAUL	✓	REMAN
		COMPRESOR DE AIRE	POR CONDICION / (REPARACION)	✓	NUEVO
		COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO	CADA OVERHAUL	✓	NUEVO

Tabla 22. Detalle de lista base de nueva reparación PBR.

Fuente: Planeamiento y Estrategia MYSRL.

#### 4.6 Resumen de cálculo de costo de la nueva propuesta de reparación PBR para los motores CAT3500

Luego de revisar, analizar y definir la nueva estrategia a ser aplicada para las reparaciones de los motores de la flota de camiones CAT 793, donde se definió también la frecuencia de cambio de las nuevas partes incluidas en la nueva estrategia definiendo nuevos ciclos y tipos de reparación.

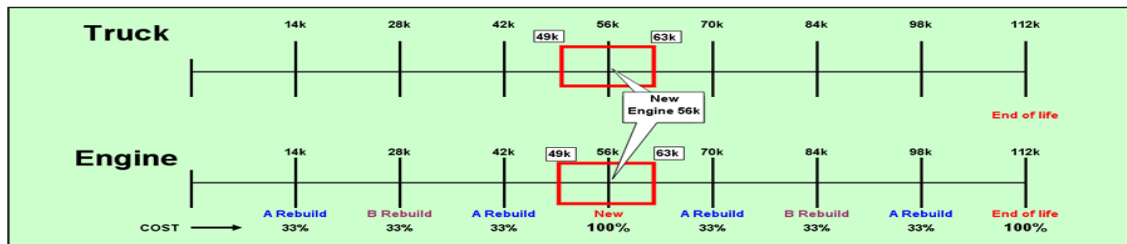


Gráfico 12. Relación vida del camión vs. Ciclo de Reparación de motor

Fuente: Planeamiento y Estrategia MYSRL

Se definió dos tipos de reparación la reparación PBR A1 y la reparación PBR B, donde en resumen se tiene las consideraciones de cambio de componentes relevantes para la reparación como se muestra en el cuadro adjunto.

REPARACIÓN PBR A1	REPARACIÓN PBR B
Cambio de inyectores por nuevos	Cambio de las 16 culatas por nuevas o REMAN
Cambio de enfriadores de Motor y Transmisión por nuevos	Cambio de todos los engranajes
Cambio de los Turbos de Alta en cada reparación usando nuevos	Cambio de los Turbos de Alta en cada reparación usando nuevos
Cambio del Catridge o todo el Turbo de Baja por nuevo	Cambio del Catridge o todo el Turbo de Baja por nuevo
Cambio de eje del PTO y los engranajes	

Tabla 23. Resumen de componentes a considerar en los dos tipos de reparación PBR

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Adicionalmente se definió consideraciones que puedan dar el soporte necesario para el control de los tipos de reparación y los costos asociados a la misma, teniendo ciclos y horas definidas en las cuales se debe de cambiar los engranes (Gear) y las culatas.

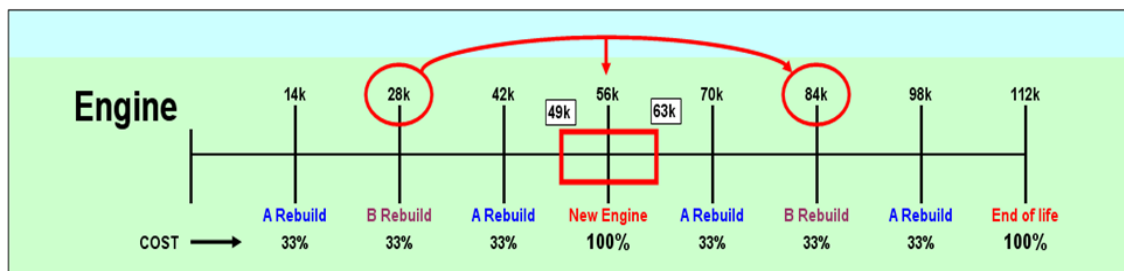


Gráfico 13. Ciclo de cambio de Engranajes y culatas por horas.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Las consideraciones que se muestran en el cuadro adjunto tienen como objetivo:

- Asegurar que el sistema de engranajes lleguen a las 28,000 horas.
- Cambiar los engranajes y Washer del PTO cada 14,000 horas.
- Realizar el cambio de todo el sistema de engranajes cada 28,000 horas en la reparación (PBR “B”).
- Asegurar que las culatas lleguen a las 28,000 horas de trabajo.
- Las culatas se cambiarán cada dos reparaciones cada 28,000 horas y se usarán nuevas.
- A las 56,000 horas instalará un motor nuevo.

Adicionalmente se definió que:

- Si todo el sistema de engranajes o culatas requieran ser reemplazados antes de las 28,000 deberán tener un sustento técnico para ello, y serán identificados para realizar un monitoreo personalizado.

Con estas consideraciones se pasó luego a revisar el impacto que se tendría en el presupuesto al aplicar esta nueva estrategia que consideraba cambiar partes adicionales o cambiar el reemplazo de partes REMAN o aquellas que pasaban el control de reusabilidad por partes nuevas.

Se calculó el nuevo costo a aplicar para las nuevas reparaciones, teniendo como resultado un incremento en la reparación del 2.96%.

**RESUMEN DE CALCULO DE TARIFA FIJA MOTOR 3516B - 793D**

2018R1

		Estrategia MYSRL (Sin adicionales)	Observaciones
<b>TOTAL DE REPUESTOS</b>	US\$	325,907	
MANO DE OBRA + MATERIALES	US\$	35,141	
TRABAJOS DE RECUPERACIÓN	US\$	33,670	
<b>MONTO TOTAL DE REPARACION</b>	US\$	394,718	Se incluye USD 12,080 por recuperación del cylinder block. Este trabajo de recuperación ya no será cobrado como adicional a la tarifa.
Descuento de Trabaj Recup x Estrateg		(4,317)	De acuerdo a lo revisado de manera conjunta en la estrategia algunos de los trabajos de recuperación ya no se realizarán por reemplazar la reparación por componente nuevo o reman (Monto final por recuperación de partes <b>USD 29,211</b> )
Descuento de Mano Obra x Estrateg		(1,438)	De acuerdo a lo revisado de manera conjunta en la estrategia parte de la mano de obra será utilizada por reemplazar la reparación por componente nuevo o reman
Descuento de Repuesto por uso de cartridge reman turbo y camshafts y lifters nuevos		(4,937)	De acuerdo a revisión este descuento se aplica por la necesidad de utilizar ejes de levas y lifters nuevos, en lugar de los kits camshaft reman (cliente asume US\$ 2,400 de la diferencia el resto es asumido por FSA)
Descuento de repuestos		(4,911)	Descuento de 1.53% sobre precio de repuestos
<b>MONTO FINAL DE REPARACIÓN</b>	US\$	<b>379,115</b>	
<b>Adicionales</b>			
+ Cylinder block		X (Desc USD 12,080)	Criterio de reemplazo: inspección y 60K hrs operac (extensión de vida condicionada a inspección y estado de parte)
+ Crankshaft		X (Desc USD 1,632)	Descuento aplicable al reemplazo por un crankshaft nuevo o reman UTN (por dejar de realizar trabajos de recuperación). Criterio de reemplazo: inspección y 48K hrs operac (extensión de vida condicionada a inspección y estado de parte)
+ Housing Front		X (Desc USD 1,082)	Descuento aplicable al reemplazo por un housing front nuevo (por dejar de realizar trabajos de recuperación). Criterio de reemplazo: inspección.
+ Housing Flywheel		X (Desc USD 1,103)	Descuento aplicable al reemplazo por un housing fly wheel nuevo (por dejar de realizar trabajos de recuperación). Criterio de reemplazo: inspección.
+ Flywheel		X	
+ Control Gp - ECM		X	
+ Support (Lifting Gp - Engine)		X	
+ Pan Gp Oil		X (Desc USD 1,280)	Descuento aplicable al reemplazo por un pan oil nuevo (por dejar de realizar trabajos de recuperación). Criterio de reemplazo: inspección.
+ Rods		X	
33% calculado por culatas y engranajes	US\$	13,375.94	Considerado para ajustes en la emisión de presupuestos para reparación de motores en transición hacia estrategia PBR (PBR A1, PBR B, PBR A2)

Garantía: 12 Meses sin límite de horas  
Vigencia: Hasta el 31/12/2018  
Tarifa en Dólares americanos, no incluye IGV

Con este nuevo cálculo del costo de la reparación el nuevo dólar hora de los motores sería:

$$\$/h = \frac{\$ 379,115}{14,000 \text{ h}} = \$27.08$$

#### 4.7 Revisión de la Disponibilidad Obtenida con la Nueva Estrategia - PBR para la Reparación de Motores CAT 3500.

- ✓ Incrementar la confiabilidad de la flota de Acarreo la cual se verá reflejada en el cumplimiento de la disponibilidad de la flota que estará por encima del 85%.

Como parte del trabajo realizado con la recolección de data de las paradas de los equipos en la operación y haber revisado y analizado la información de los análisis de falla (AFA) emitidos por el Dealer en cada motor que presentó una falla prematura y finalmente en un trabajo en equipo donde se incluyó al Fabricante, Dealer y Cliente se definió implementar la nueva estrategia PBR de reparación para los motores CAT3500 de la flota de camiones de la operación, se realizó el seguimiento y análisis de la data de los motores a los cuales se les aplicó la nueva estrategia para confirmar los resultados esperados que ayuden a mejorar la confiabilidad de los motores y la flota consiguiendo cumplir con la disponibilidad presupuestada y logrando que los motores cumplan con la proyección de ciclo de vida (PCR) de 14,000 horas, luego del seguimiento y análisis podemos mostrar que los motores lograron superar el PCR esperado y a un costo óptimo, los resultados mostrados a continuación son de cinco motores escogidos aleatoriamente a los cuales se les aplicó la reparación considerando la nueva estrategia PBR planteada por el equipo.

Modelo	Equipo	Serie Equipo	Descripción Componente	Fecha de Instalación	Fecha de Remoción	Código de Componente Removido	Horas de Motor	Tipo y Detalles de Reparación	Razón para cambio
793D	HT154	FDB01184	ENGINE	30-abr-15	14-ene-18	FDB100076523	16,258	PBR B: GENERAL - NORMAL - TF - CLIENTE	PCR
793D	HT146	FDB01084	ENGINE	13-oct-15	14-feb-18	FDB100076520	15,600	PBR B: GENERAL - NORMAL - TF - CLIENTE	PCR
793C	HT115	ATY00686	ENGINE	10-dic-15	22-may-18	ATY100076510	15,245	PBR A2: GENERAL - NORMAL - TF - CLIENTE	PCR
793D	HT134	FDB00560	ENGINE	13-dic-14	27-ene-18	FDB100076518	14,129	PBR B: GENERAL - NORMAL - TF - CLIENTE	PCR
793C	HT128	ATY01122	ENGINE	22-dic-14	12-feb-17	ATY100076525	15,089	PBR A1: GENERAL - NORMAL - TF - CLIENTE	PCR

Tabla 24. Resumen de horas trabajadas de motores reparados con la nueva estrategia PBR

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

➤ **FDB01184 - HT154 / SERIE MOTOR FDB100076523**

En este equipo el motor fue instalado el 30 de abril del 2015 y fue cambiado programado por horas de trabajo el 14 de enero del 2018 trabajando un total de 16,258 horas operativas y 16,780 horas VIMS, de 14,000 horas presupuestadas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 87.90% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas en el motor durante su ciclo de vida trabajado de 1.4%.

MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
abr-15	24	8.23	0.00	65.7%	34%	0.0%	86.0%
may-15	744	149.56	92.48	79.9%	20%	12.4%	86.0%
jun-15	720	97.90	1.13	86.4%	14%	0.2%	86.2%
jul-15	744	50.42	0.60	93.2%	7%	0.1%	86.3%
ago-15	744	92.31	0.00	87.6%	12%	0.0%	86.9%
sep-15	720	145.72	11.48	79.8%	20%	1.6%	86.5%
oct-15	744	68.66	4.93	90.8%	9%	0.7%	85.6%
nov-15	720	134.60	24.80	81.3%	19%	3.4%	85.5%
dic-15	744	116.12	1.68	84.4%	16%	0.2%	85.1%
ene-16	744	124.25	13.95	83.3%	17%	1.9%	83.7%
feb-16	696	136.03	3.93	80.5%	20%	0.6%	84.3%
mar-16	744	131.51	1.37	82.3%	18%	0.2%	84.5%
abr-16	720	121.9	3.31	83.1%	17%	0.5%	85.3%
may-16	744	133.38	12.72	82.1%	18%	1.7%	85.8%
jun-16	720	84.51	0.00	88.3%	12%	0.0%	85.8%
jul-16	744	78.53	20.96	89.4%	11%	2.8%	85.8%
ago-16	744	135.78	3.02	81.8%	18%	0.4%	85.8%
sep-16	720	93.76	14.32	87.0%	13%	2.0%	85.8%
oct-16	744	46.95	16.88	93.7%	6%	2.3%	85.5%
nov-16	720	155.91	26.61	78.3%	22%	3.7%	85.3%
dic-16	744	171.87	10.83	76.9%	23%	1.5%	84.6%
ene-17	744	0.00	0.00	100.0%	0%	0.0%	83.8%
feb-17	672	0.00	0.00	100.0%	0%	0.0%	84.1%
mar-17	744	0.00	0.00	100.0%	0%	0.0%	84.4%
abr-17	720	0.00	0.00	100.0%	0%	0.0%	84.9%
may-17	744	0.00	0.00	100.0%	0%	0.0%	85.5%
jun-17	720	33.91	33.01	95.3%	5%	4.6%	86.0%
jul-17	744	169.46	17.35	77.2%	23%	2.3%	86.4%
ago-17	744	51.62	0.83	93.1%	7%	0.1%	85.3%
sep-17	720	42.05	0.32	94.2%	6%	0.0%	85.2%
oct-17	744	94.43	6.28	87.3%	13%	0.8%	85.3%
nov-17	720	12.48	1.67	98.3%	2%	0.2%	85.2%
dic-17	1056	121.38	40.52	88.5%	11%	3.8%	84.5%
ene-18	-1034736	140.06	18.19	100.0%	0%	0.0%	87.5%

Tabla 25. Detalle de disponibilidad del camión HT154 / SERIE MOTOR FDB100076523

Fuente: Elaboración Propia, 2018.



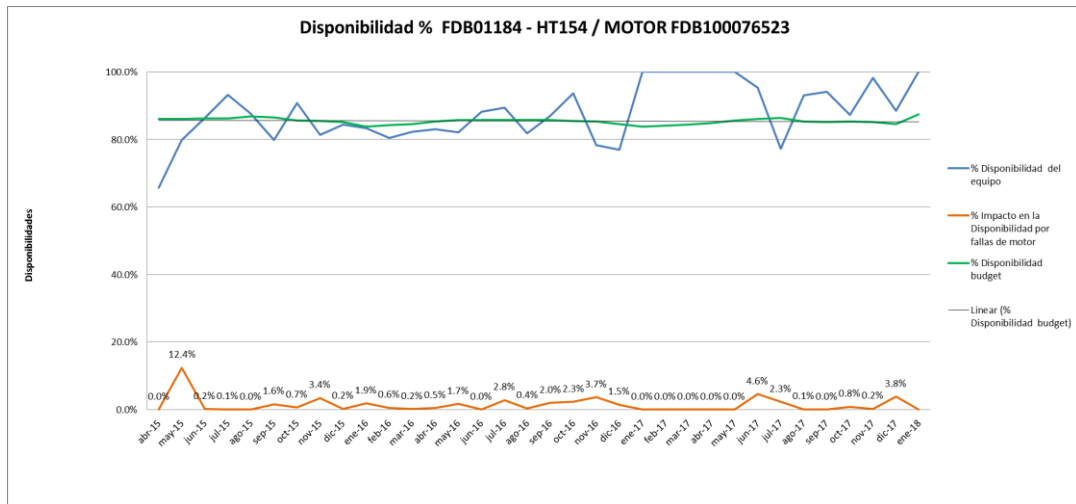


Gráfico 14. Detalle de disponibilidad del camión HT154/Motor FDB100076523.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Luego de observar y analizar los componentes del motor tenemos los siguientes resultados:

- Metales de biela y bancada presentan un desgaste normal de acuerdo a las horas trabajadas.
- Monoblock ingresó a reparación general con OT CR50778 con 16,258 horas de trabajo, el block tiene un total de 27,861 horas de trabajo acumulados.
- El Block se encuentra con el Túnel en estándar. medidas dentro las respectivas tolerancias.
- Superficies de trabajo de los sellos de camisas LOWER con picaduras y desgaste, medidas exceden las tolerancias; superficies de trabajo de los Band Filler con picaduras en la zona del sello; bordes de los asientos de camisas y agujeros de pases de agua con desgaste.
- En los asientos de superficie de culata nº 1,3,7,9 y 13, se encuentran con desgaste.
- Alojamientos de tapones zona de admisión sin RAJADURAS.
- Se revisa los agujeros de guía de culata y agujeros de lubricación encontrándose OK.
- En los asientos de superficie de culata nº 1,3,7,9 y 13, se encuentran con desgaste.

- El block se envió para realizar PPM a las 02 superficies de carpeta, encontrándose con fisuras en los siguientes cilindros: Cilindro # 3 con fisura en el pase de agua # 6, alojamiento de perno # 6 que se prolongan hasta la zona de roscada interna y pase de agua # 7. Cilindro # 9 con fisura en alojamiento de perno # 6 se prolonga hasta las zona roscada interna.
- Fabrica recomienda no recuperar las fisuras encontradas en el block.
- Los dos turbos de baja N/P: 352-6147, el RING-NOZLE y housing en buenas condiciones; por política se cotiza cartridge reman 20R-0607
- Los dos turbos N/P: 416-2711, desgaste normal, se cambian por política PBR. Se cotizan turbos nuevos.
- Cigüeñal N/P 128-6788 ingresó a reparación general con OT CR50778 con 16,780 horas de trabajo. Por lo tanto el Cigüeñal tiene un total de 27861 horas de trabajo acumulados.
- Cigüeñal con los Muñones de Bielas y Bancadas en estándar. todas las medidas dentro las tolerancias respectivas.
- Algunos puños de bancada se encuentran cerca al límite de la medida de estándar y presentan ralladuras; los puños de biela se encuentran dentro de las especificaciones en sus medidas estándar, pero presentan ralladuras; en ambos casos se recomienda pulir.
- PPM del cigüeñal y contrapesos. SIN RAJADURAS.
- 16 pistones N/P 299 5204 ingresaron como reparación general con OT CR50778 con 16780 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 27,861 horas de trabajo acumulados.
- Los 16 pistones se encuentran F/S, se aplica PBR B.
- Los 16 Pines pistones se encuentran F/S, se aplica PBR B.
- Se solicita 16 juegos de anillos, 32 seguros, seguros, 16 pistones y 16 pines.
- Los 04 segmentos de eje de levas llegan con 16780 horas de trabajo, se encuentran dentro de la tolerancia técnica en todas sus medidas; presenta hendiduras y picaduras en sus camones.

- Las 16 camisas presentan desgaste de acuerdo a las horas trabajadas se aplica reparación a PBR "B"; se hará el pedido de 16 camisas nuevas y 16 kits de sellos de camisa.
- Las 6 culatascon N/P 154-1612 ingresaron a reparación general con OT CR50778 con 16780 horas de trabajo. Las culatas tiene un total de 27861 horas de trabajo acumulados.
- Las 16 culatas salen fuera de servicio por política de reparación PBR B.
- Las tendencias de Boost, presión de aceite motor y temperatura de gases de escape se encontraron dentro de los rangos normales de operación.

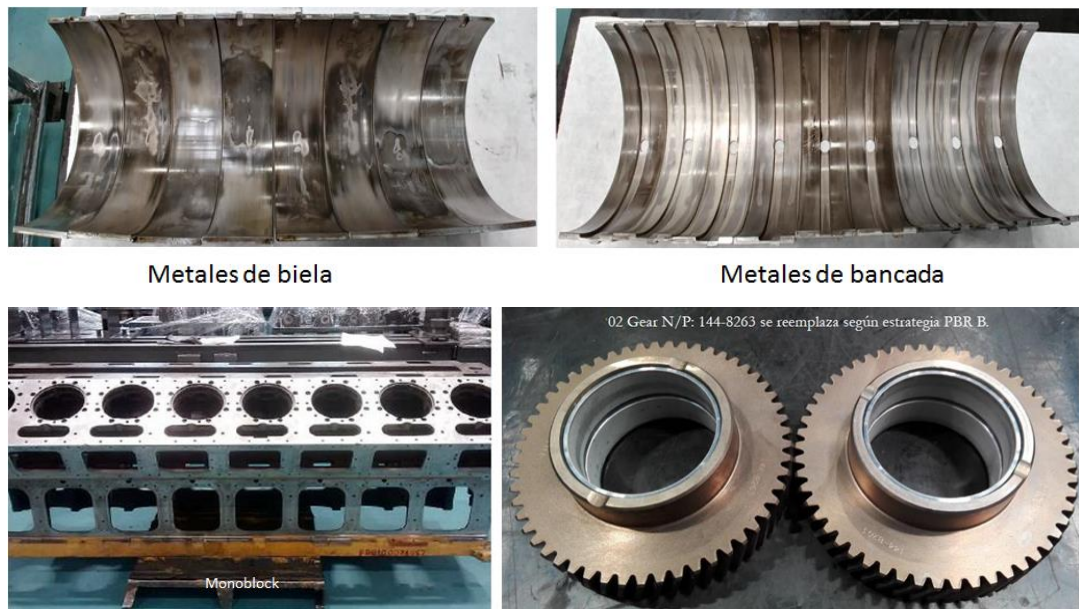


Figura 24. Partes evaluadas en reparación de motor con reparación anterior PBR del camión HT146.  
 Fuente: Elaboración Informe de Reparación - CRC/Ferreyros SA.

#### ➤ **FDB01084 - HT146 / SERIE MOTOR FDB100076520**

En este equipo el motor fue instalado el 13 de octubre del 2015 y fue cambiado programado por horas de trabajo el 14 de febrero del 2018 trabajando un total de 15,600 horas operativas y 16,589 horas VIMS de 14,000 horas presupuestadas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 85.29% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas en el motor durante su ciclo de vida trabajado de 1.4%.

FDB01084 - HT146 / SEIRE MOTOR FDB100076520							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
oct-15	456	128.34	24.88	71.86%	28.14%	5.46%	85.56%
nov-15	720	189.34	35.73	73.70%	26.30%	4.96%	85.47%
dic-15	744	100.52	5.55	86.49%	13.51%	0.75%	85.12%
ene-16	744	77.06	0.00	89.64%	10.36%	0.00%	83.72%
feb-16	696	89.85	2.36	87.09%	12.91%	0.34%	84.30%
mar-16	744	29.95	0.56	95.97%	4.03%	0.08%	84.50%
abr-16	720	113.12	4.48	84.29%	15.71%	0.62%	85.30%
may-16	744	25.18	3.43	96.62%	3.38%	0.46%	85.78%
jun-16	720	458.73	109.75	36.29%	63.71%	15.24%	85.83%
jul-16	744	29.57	0.00	96.03%	3.97%	0.00%	85.80%
ago-16	744	45.01	9.76	93.95%	6.05%	1.31%	85.80%
sep-16	720	96.11	5.86	86.65%	13.35%	0.81%	85.80%
oct-16	744	72.05	8.98	90.32%	9.68%	1.21%	85.50%
nov-16	720	59.68	5.48	91.71%	8.29%	0.76%	85.30%
dic-16	744	108.66	6.73	85.40%	14.60%	0.90%	84.59%
ene-17	744	120.16	1.62	83.85%	16.15%	0.22%	83.76%
feb-17	672	106.80	0.00	84.11%	15.89%	0.00%	84.10%
mar-17	744	112.53	5.82	84.88%	15.13%	0.78%	84.35%
abr-17	720	45.51	12.23	93.68%	6.32%	1.70%	84.89%
may-17	744	81.73	3.28	89.01%	10.99%	0.44%	85.54%
jun-17	720	101.06	9.28	85.96%	14.04%	1.29%	85.99%
jul-17	744	22.28	2.36	97.01%	2.99%	0.32%	86.38%
ago-17	744	91.66	1.57	87.68%	12.32%	0.21%	85.34%
sep-17	720	70.85	3.85	90.16%	9.84%	0.53%	85.18%
oct-17	744	89.43	0.00	87.98%	12.02%	0.00%	85.31%
nov-17	720	45.52	2.90	93.68%	6.32%	0.40%	85.16%
dic-17	744	100.16	3.51	86.54%	13.46%	0.47%	84.49%
ene-18	744	59.33	6.83	92.03%	7.97%	0.92%	87.50%
feb-18	336	146.23	2.17	50.92%	49.08%	0.65%	87.53%

Tabla 26. Detalle de disponibilidad del camión HT146 / SERIE MOTOR FDB100076520  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

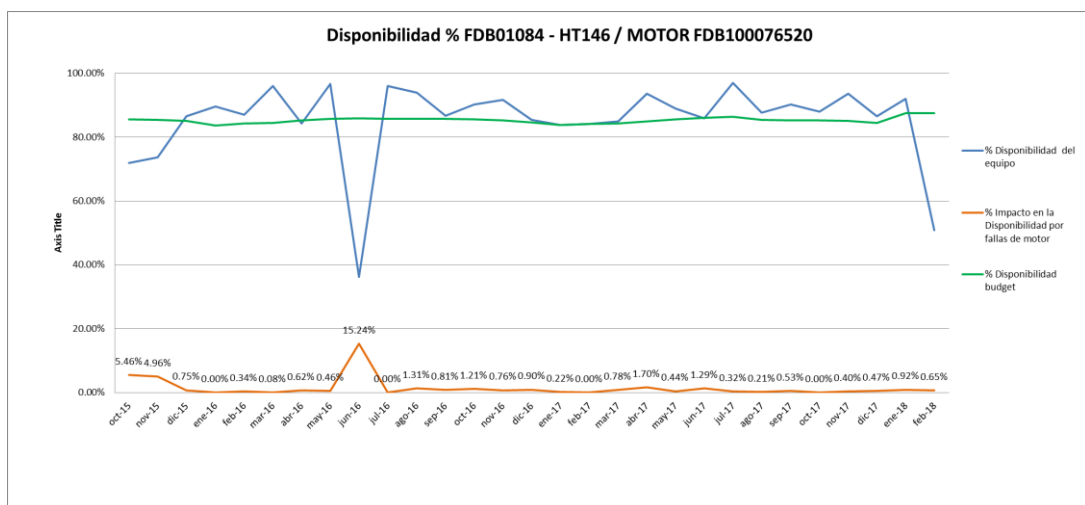


Gráfico 15. Detalle de disponibilidad del camión HT146/Motor FDB100076520.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Luego de observar y analizar los componentes del motor tenemos los siguientes resultados:

- Metales de biela y bancada presentan un desgaste normal de acuerdo a las horas trabajadas.
- Monoblock ingresó a reparación general con OT CR50860 con 15,600 horas de trabajo. Por lo tanto el block tiene un total de 36,005 horas de trabajo acumulados.
- Túnel en estándar. medidas dentro las tolerancias respectivas.
- Superficies de trabajo de los sellos de camisas Lower con desgaste, es necesario reconstruir en los 16 cilindros.
- Los upper con picaduras en la zona de trabajo se consideran reconstruir en los 16 cilindros.
- Todos los agujeros de pases de agua con picaduras y desgaste en las zonas de asiento de las culatas parte inferior y en los espacios entre culatas recomendable reconstruir las zonas indicadas; desgaste en los bordes de los asientos de camisas y en los mismos asientos.
- Se rectifica superficies de ambas carpetas.
- PPM en los alojamientos de tapones zona de admisión, SIN RAJADURAS.
- Se realizó PPM a las 02 superficies de carpeta presentando fisuras en los cilindros, 10, 11,12 y 13 (profundidad de fisuras desde 1mm hasta 10 mm).
- El block sale fuera de servicio, por las fisuras encontradas durante el PPM.
- Se realiza el pedido de 01 block reman UTN 10R8417
- Los dos turbos de baja N/P: 352-6147, el RING-NOZLE y housing en buenas condiciones; por política se cotiza cartridge reman 20R-0607; los housing se enviaron a trabajo exterior para que lo realicen prueba de partículas magnéticas, teniendo como resultado que se encuentran en buenas condiciones para reutilizarlos.
- Los dos turbos de alta N/P: 416-2711, se cambian por política PBR.

- Cigüeñal N/P 128-6788 ingresó a reparación general con OT CR50860 con 16,589 horas de trabajo. Por lo tanto el Cigüeñal tiene un total de 36,005 horas de trabajo acumulados.
- El cigüeñal llega dentro de la tolerancia técnica, los puños de biela se encuentran en .025" US y los de bancada en estándar. Los puños de biela y de bancada se encuentran dentro de las especificaciones de fábrica, pero presenta ralladuras, se recomienda pulir según BIT FESA0604.
- Se envió a trabajo exterior para realizar PPM al cigüeñal y a los contrapesos, no se encontraron fisuras.
- Los pistones N/P 2995204 ingresaron como reparación general con OT CR50860 con 16,589 horas de trabajo. Por lo tanto, tienen un total de 36,005 horas de trabajo acumulados.
- Motor ingresa como Reparación General estrategia PBR B.
- Los 16 pistones se encuentran en su segunda reparación F/S, se aplica PBR B.
- Los 16 pines se encuentran en su segunda reparación, quedan F/S.
- Pin de pistón N° 13 se reemplaza en la reparación anterior, el mismo que presenta la medida del diámetro fuera de especificaciones, queda F/S.
- Los 04 segmentos de eje de levas llegan con 16589 horas de trabajo, se encuentran dentro de la tolerancia técnica en todas sus medidas, presenta hendiduras ralladuras y picaduras en sus camiones.
- Los 04 segmentos de eje de levas se piden nuevos, en la evaluación quedaron F/S por ser una reparación PBR B, solo trabaja 01 OVERHAUL.
- Según políticas de reparación PBR B se solicitan 04 segmentos de eje de levas nuevos y 16 pernos.
- 16 camisas N/P 211-7826 ingresaron a reparación general con OT CR50860 con 16,589 horas de trabajo. Por lo tanto, tienen un total de 36,005 horas de trabajo acumulados.
- Las camisas N° 11, 16 presentan picaduras internas.

- Las camisas N° 1, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15 presentan picaduras externas (estas picaduras se encuentran en su mayor parte alrededor del asiento de pestaña de camisa, zona de contacto con el upper del monoblock).
- Las camisas N° 5, 9, 11, 16 presentan ralladuras internas.
- Las camisas N° 2, 9, 10, 11, 13 presentan desgaste inusual en la parte interna inferior.
- Las 16 camisas salen F/S por los daños encontrados.
- Reparación a PBR "B"; se hará el pedido de 16 camisas nuevas y 16 kits de sellos de camisa.
- 16 culatas con N/P 154-1612 ingresaron a reparación general con OT CR50860 con 16589 horas de trabajo. Por lo tanto, tienen un total de 36005 horas de trabajo acumulados.
- Las 16 culatas salen fuera de servicio por política de reparación PBR B.
- Se realiza el pedido de 16 culatas reman UTN 10R-8618.
- Los pernos de la culata salen fuera de servicio por política de reparación PBR B.
- Se realiza el pedido de pernos mejorados.
- Las 16 bielas llegaron a la reparación general con O/T CR50860 con 16,589 horas de trabajo. Por lo tanto, las bielas tienen 21,435 horas acumuladas de trabajo.
- La biela N° 10 se encuentra con desgaste de .008" entre la tapa y la biela, siendo el máximo permisible de .007", por lo cual queda fuera de servicio.
- Las restantes bielas se encuentran con la medida del diámetro del túnel dentro de especificaciones de acuerdo a la fórmula de redondez. Medidas de Torsión, Paralelismo y Distancia entre Centros se encuentran en buenas condiciones.
- Durante los periodos de trabajo del motor, la presión boost en promedio se mantuvo dentro de sus rangos normales de trabajo.
- Durante los periodos se observa que la presión de aceite en bajas está dentro de los rangos normales de operación, en altas RPM se encontró

cercano a los límites inferiores. La temperatura del refrigerante se encontró también en los rangos normales.

- Durante los periodos se observa que la diferencia de temperaturas de escape de los bancos izquierdo y derecho, se encontraron dentro de los rangos normales de operación.



Figura 24. Partes evaluadas en reparación de motor con reparación anterior PBR del camión HT146.  
 Fuente: Elaboración Informe de Reparación - CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY00686 - HT115 / SERIE MOTOR ATY100076510**

En este equipo el motor fue instalado el 10 de diciembre del 2015 y fue cambiado programado por horas de trabajo el 22 de mayo del 2018 trabajando un total de 15,245 horas operativas y 16,550 horas VIMS de 14,000 horas presupuestadas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 87.00% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas en el motor durante su ciclo de vida trabajado de 1.0%.



ATY00686 - HT115 / SEIRE MOTOR ATY100076510							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
dic-15	528	217.42	35.97	59%	41%	7%	85.98%
ene-16	744	45.68	0.00	94%	6%	0%	85.38%
feb-16	696	81.06	12.66	88%	12%	2%	85.70%
mar-16	744	117.42	2.32	84%	16%	0%	86.50%
abr-16	720	53.45	7.13	93%	7%	1%	86.90%
may-16	744	109.81	0.83	85%	15%	0%	86.90%
jun-16	720	141.83	5.16	80%	20%	1%	86.90%
jul-16	744	362.43	1.4	51%	49%	0%	86.90%
ago-16	744	111.85	12.76	85%	15%	2%	86.90%
sep-16	720	24.40	0.00	97%	3%	0%	86.90%
oct-16	744	121.5	3.28	84%	16%	0%	86.90%
nov-16	720	202.93	3.45	72%	28%	0%	86.60%
dic-16	744	119.22	21.40	84%	16%	3%	85.98%
ene-17	744	58.23	8.78	92%	8%	1%	87.06%
feb-17	672	101.51	0.52	85%	15%	0%	87.39%
mar-17	744	4.88	0.00	99%	1%	0%	88.21%
abr-17	720	0.00	0.00	100%	0%	0%	87.82%
may-17	744	0.00	0.00	100%	0%	0%	87.82%
jun-17	720	75.5	3.05	90%	10%	0%	87.82%
jul-17	744	81.86	0.15	89%	11%	0%	87.87%
ago-17	744	69.68	36.37	91%	9%	5%	87.87%
sep-17	720	96.66	18.97	87%	13%	3%	87.87%
oct-17	744	64.60	0.00	91%	9%	0%	87.51%
nov-17	720	116.75	18.13	84%	16%	3%	87.85%
dic-17	744	85.15	11.77	89%	11%	2%	87.22%
ene-18	744	69.64	4.5	91%	9%	1%	88.54%
feb-18	672	71.56	1.22	89%	11%	0%	88.53%
mar-18	744	53.15	0.57	93%	7%	0%	88.49%
abr-18	720	43.25	1.72	94%	6%	0%	88.73%
may-18	504	109.75	12.89	78%	22%	3%	88.83%

Tabla 27. Detalle de disponibilidad del camión HT115 / SERIE MOTOR ATY100076510

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

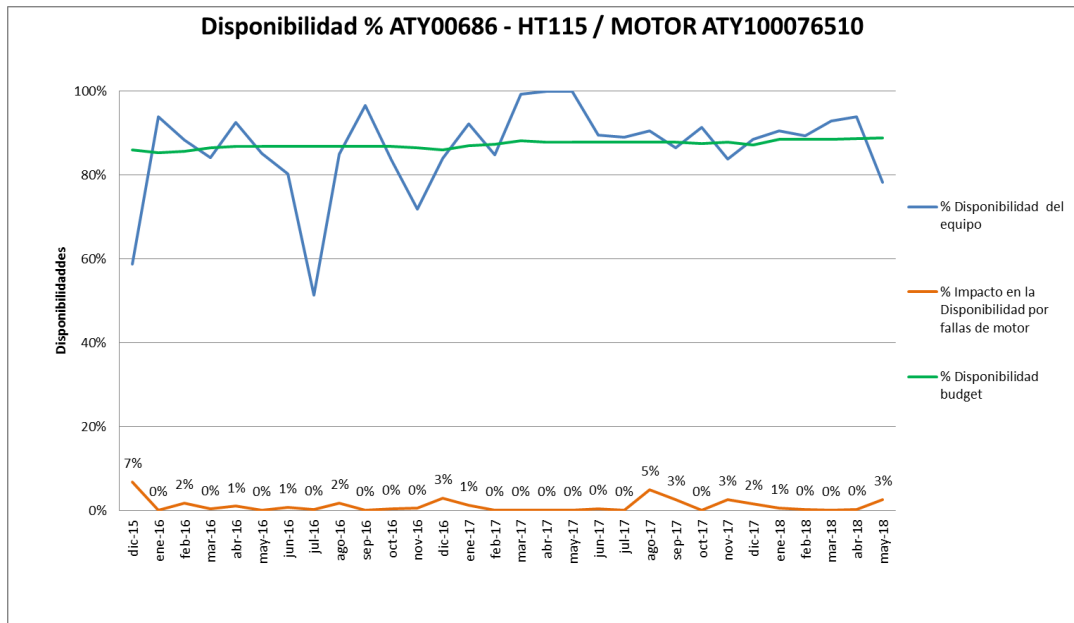


Gráfico 16. Detalle de disponibilidad del camión HT115/Motor ATY100076510.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Luego de observar y analizar los componentes del motor tenemos los siguientes resultados:

- Los metales de biela y bancada serán reemplazadas por política de reparación PBR-A2 descritos en la solicitud de servicio.
- Monoblock ingresó a reparación general con OT 51452 con 15,245 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 48,444 horas de trabajo acumulados.
- Diámetro del túnel de bancada se encuentra con sus medidas abierto fuera de especificaciones, requiere rectificar a estándar.
- Superficies de carpetas se encuentran metalizadas con insertos en los asientos Upper, los cuales requieren ser reemplazados y rectificar la superficie de carpetas.
- Apoyos de sellos de camisa presentan desgaste y ralladuras, requiere instalar insertos Lower en los 16 cilindros.
- Otras partes del block se encuentran en buenas condiciones.
- Se solicita repuestos de Reparación.
- Turbos de alta con N/P 416-2711, se cambian por nuevos por política de reparación PBR A2.

- Turbos de baja con N/P 352-6147, presentan múltiples fisuras en el RING-NOZLE y por política se debe pedir cartridge reman.
- Cigüeñal N/P 128-6788 ingresó a reparación general con OT 51452 con 16,550 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 48,444 horas de trabajo acumulados.
- Cigüeñal con los muñones de Bancadas rectificadas en -0.050" y los de bielas en 0.025", todas las medidas dentro las tolerancias respectivas. Además, hay ralladuras en la superficie de los muñones, se considera pulir las bielas y bancadas.
- Asiento de contrapeso y agujeros roscados en buenas condiciones.
- PPM. del cigüeñal y contrapesos, no presenta rajaduras.
- 16 pistones con N/P 299 5204 ingresaron como reparación general con OT CR51452 con 16550 horas de trabajo, la reparación anterior fue de la OT CR45406 con 31894 horas de trabajo (general) donde fueron reemplazado los 16 pines, 16 pistones y 16 juegos de seguros y anillos. Por lo tanto tienen un total de 16550 horas de trabajo acumulados.
- Todos los pines serán re-utilizados, sus medidas se encuentran acorde a tolerancias y físicamente se encuentran en buen estado.
- Los Ejes de levas RH y LH se encuentran dentro de tolerancias técnicas.
- Los puños de apoyo y los camones se encuentran con leves ralladuras y hendiduras.
- Ambos segmentos y pernos en general se reemplazan por políticas de reparación general PBR A2.
- 16 camisas N/P 211-7826 ingresaron a reparación general con OT CR51452 con 16,550 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 16,550 horas de trabajo acumulados.
- Llegan al área 16 camisas como reparación general /paralelo. PBR A2 a tarifa fija.
- Las 16 culatas con N/P 154-1612 ingresaron como reparación general tipo PBR A2 con OT CR51452 con 16,550 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 16,550 horas de trabajo acumulados.

- 04 culatas (#s10, 13, 14,16) quedan F/S por presentar fisuras en alojamiento de perno #1 con dirección a la cámara de combustión. Se realizó el pedido de culatas reman UTN según políticas PBR.
- 01 culata #15 queda F/S por presentar picadura profunda en superficie de combustión (Zona de anillo de fuego) mayor a 0.3 mm, que al ser rectificado el espesor quedaría fuera del mínimo permisible 141.62 mm. Se realiza el pedido de 01 culata reman UTN 10R-8618 según política PBR.
- Las 16 bielas con N/P 299-5204 ingresaron como reparación general con OT CR51452 con 16,550 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 48,444 horas de trabajo acumulados.
- Las bielas #2, #4, #10, #14 y #16 presentan rajadura en la ranura para el pin de tapa por lo que estas bielas salen F/S.
- Las bielas #1, #5, #6, #7, #9, #13 y #15 su desviación del diámetro del túnel, torsión, paralelismo, distancia entre centros y prueba de retención se encuentran dentro de especificaciones, por lo que, se reutilizan.
- Las bielas #3, #8, #11 y #12 su desviación del diámetro del túnel, torsión, distancia entre centros y prueba de retención se encuentran dentro de especificaciones, pero, salieron mal en el paralelismo. Se recomienda cambiar la bocina para corregir este defecto.
- Durante los periodos de trabajo del motor, la presión boost en promedio se mantuvo dentro de sus rangos normales de trabajo.
- Durante los periodos se observa que la presión de aceite en bajas está dentro de los rangos normales de operación, en altas RPM se encontró cercano a los límites inferiores. La temperatura del refrigerante se encontró también en los rangos normales.
- Durante los periodos se observa que la diferencia de temperaturas de escape de los bancos izquierdo y derecho, se encontraron dentro de los rangos normales de operación.



Figura 24. Partes evaluadas en reparación de motor con reparación anterior PBR del camión HT115.  
 Fuente: Elaboración Informe de Reparación - CRC/Ferreyros SA.

### ➤ FDB00560 – HT134 / SERIE MOTOR FDB100076518

En este equipo el motor fue instalado el 13 de diciembre del 2014 y fue cambiado programado por horas de trabajo el 27 de enero del 2018 trabajando un total de 14,129 horas operativas y 15,197 horas VIMS de 14,000 horas presupuestadas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 86.00% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas en el motor durante su ciclo de vida trabajado de 1.0%.

FDB00560 - HT134 / SEIRE MOTOR FDB100076518							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
dic-14	456	64.69	10.55	86%	14%	2%	83.72%
ene-15	744	170.38	46.15	77%	23%	6%	84.78%
feb-15	672	68.6	0	90%	10%	0%	84.69%
mar-15	744	116.7	0	84%	16%	0%	84.98%
abr-15	720	37.15	3.25	95%	5%	0%	85.99%
may-15	744	89.88	2.52	88%	12%	0%	86.02%
jun-15	720	71.52	11.88	90%	10%	2%	86.16%
jul-15	744	52.83	0	93%	7%	0%	86.28%
ago-15	744	44.05	7.37	94%	6%	1%	86.85%
sep-15	720	251.00	0.00	65%	35%	0%	86.48%
oct-15	744	64.13	0	91%	9%	0%	85.56%
nov-15	720	124.07	16.3	83%	17%	2%	85.47%
dic-15	744	74.9	4.77	90%	10%	1%	85.12%
ene-16	744	110.53	27.78	85%	15%	4%	83.72%
feb-16	696	89.53	3.43	87%	13%	0%	84.30%
mar-16	744	143.28	8.75	81%	19%	1%	84.50%
abr-16	720	54.43	7.84	92%	8%	1%	85.30%
may-16	744	151.92	15.35	80%	20%	2%	85.78%
jun-16	720	90.13	38.22	87%	13%	5%	85.83%
jul-16	744	159.32	3.7	79%	21%	0%	85.80%
ago-16	744	126.43	0.72	83%	17%	0%	85.80%
sep-16	720	115.45	7.77	84%	16%	1%	85.80%
oct-16	744	129.27	34.56	83%	17%	5%	85.50%
nov-16	720	90.72	1.68	87%	13%	0%	85.30%

Tabla 28. Detalle de disponibilidad del camión HT134 / SERIE MOTOR FDB100076518  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

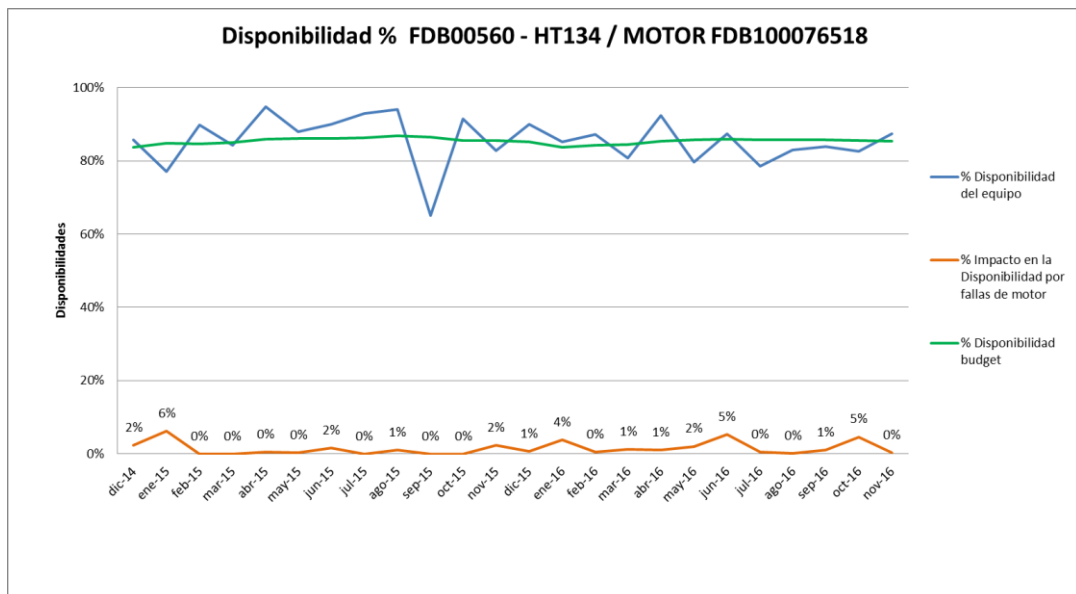


Gráfico 17. Detalle de disponibilidad del camión HT134/Motor FDB100076518.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

- Los metales de biela y bancada serán reemplazadas por política de reparación PBR-A2 descritos en la solicitud de servicio.
- Monoblock ingresó a reparación general con OT CR50796 con 14,129 horas de trabajo. Por lo tanto el block tiene un total de 28 017 horas de trabajo acumulados.
- Túnel en estándar. medidas dentro las tolerancias respectivas.
- Superficies LOWER con insertos, en buenas condiciones.
- Asientos de camisas, con insertos especiales se encuentra removidos, es necesario reemplazar. Mencionando, que las zonas adyacentes a los insertos se encuentran metalizados incluyendo los agujeros pases de agua, el taller de reparación recomienda reemplazar el metalizado, y metalizar las zonas con mayor profundidad de desgaste.
- Se realizó el PPM en 03 alojamientos de tapones en zona de admisión. SIN RAJADURAS.
- Los dos turbos de baja N/P: 352-6147, RING-NOZLE presenta fisuras en su estructura, por política PBR se reemplazar con cartridge reman 20R-0604
- Los turbos de alta N/P: 416-2711, se cambian por turbos nuevos por política de reparación PBR y por horas de trabajo.
- Cigüeñal N/P 128-6788 ingresó a reparación general con OT CR50796 con 15197 horas de trabajo. Por lo tanto el Cigüeñal tiene un total de 28,017 horas de trabajo acumulados.
- Cigüeñal con los Muñones de Bielas y Bancadas en estándar. todas las medidas dentro las tolerancias respectivas; algunos muñones de bancada se encuentra cerca al límite de las especificaciones.
- Se observa en los muñones de bancada ralladuras profundas en las superficies, por lo que es necesario rectificarlo a  $-0.025''$  y pulir los muñones de biela.
- Picaduras y desgaste en el asiento de contrapeso y contrapeso, 16 no afecta el trabajo. Demás asientos de contrapesos y agujeros roscados en buenas condiciones.
- Resultado de PPM del cigüeñal y contrapesos. SIN RAJADURAS

- 06 pistones N/P 299 5204(1, 3, 10, 11, 12 y 13) ingresaron como reparación general con OT CR50796 con 15,197 horas de trabajo. Por lo tanto tienen un total de 28,017 horas de trabajo acumulados.
- 10 pistones N/P 299-5204 (2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 15 y 16) ingresaron con OT CR50796 con 15,197 horas de trabajo, reparación anterior fueron reemplazados. Por lo tanto tienen un total de 15,197 horas de trabajo acumulados.
- Los 16 pistones se encuentran F/S, se aplica PBR B.
- Los ejes de levas RH y LH llegan con 15,197 horas, se encuentran dentro de la tolerancia técnica en todas sus medidas, pero presenta hendiduras y ralladuras, en sus camiones.
- Por políticas de reparación los 4 segmentos quedan F/S por ser una reparación PBR B, solo trabaja 01 OVERHAUL.
- Según políticas de reparación PBR B, se solicitan 04 segmentos de eje de levas nuevos y 16 pernos.
- Las camisas N/P 211-7826(#2, 3, 4, 5,6, 8, 10,12, 13, 14,15 y16) ingresaron a reparación general con OT CR50796 con 15,197 horas de trabajo, la reparación anterior fueron reemplazados.
- 04 camisas N/P 211-7826 (# 1, 7, 9 y 11) ingresaron a reparación general con OT CR50796 con 15,197 horas de trabajo, la reparación anterior ingresaron con 12,820 horas de trabajo, Por lo tanto las camisas tiene un total de 28,017 horas de trabajo acumulados.
- Las 16 camisas salen F/S por presentar ralladuras, picaduras, desgaste inusual en las partes internas.
- Las 16 culatas con N/P 154-1612 ingresaron a reparación general con OT CR50796 con 15,197 horas de trabajo; reparación anterior ingresaron con 12,820 horas de trabajo. Las culatas tienen un total de 28,017 horas de trabajo acumulados.
- 06 culatas requieren T/E.
- 01 culata queda F/S por desgaste en alojamiento de inyector 3° cuerpo.
- 03 culatas quedan F/S por fisura.
- 06 culatas quedan F/S por erosión en alojamiento de insertos.



- Las 16 culatas salen fuera de servicio por política de reparación PBR B.
- Las 16 bielas llegaron a la reparación general con O/T CR50796 con 15,197 horas de trabajo; reparación anterior ingresaron con 12820 horas de trabajo. Por lo tanto las bielas tienen 28,017 horas acumuladas de trabajo.
- Las bielas # 2, 4, 6, 8, 12, 14, y 16 presentan grieta en la ranura donde se ubica el pin de la tapa de biela por lo que salen fuera de servicio.
- Las bielas #1, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 13 y 15 su desviación del diámetro del túnel, torsión, paralelismo, distancia entre centros y prueba de retención se encuentran dentro de especificaciones por lo que se reutilizan.
- Por política de reparación se cambian las bocinas y pernos.
- Durante los periodos de trabajo del motor, la presión boost en promedio se mantuvo dentro de sus rangos normales de trabajo.
- Durante los periodos se observa que la presión de aceite en bajas está dentro de los rangos normales de operación, en altas RPM se encontró cercano a los límites inferiores. La temperatura del refrigerante se encontró también en los rangos normales.
- Durante los periodos se observa que la diferencia de temperaturas de escape de los bancos izquierdo y derecho, se encontraron dentro de los rangos normales de operación.

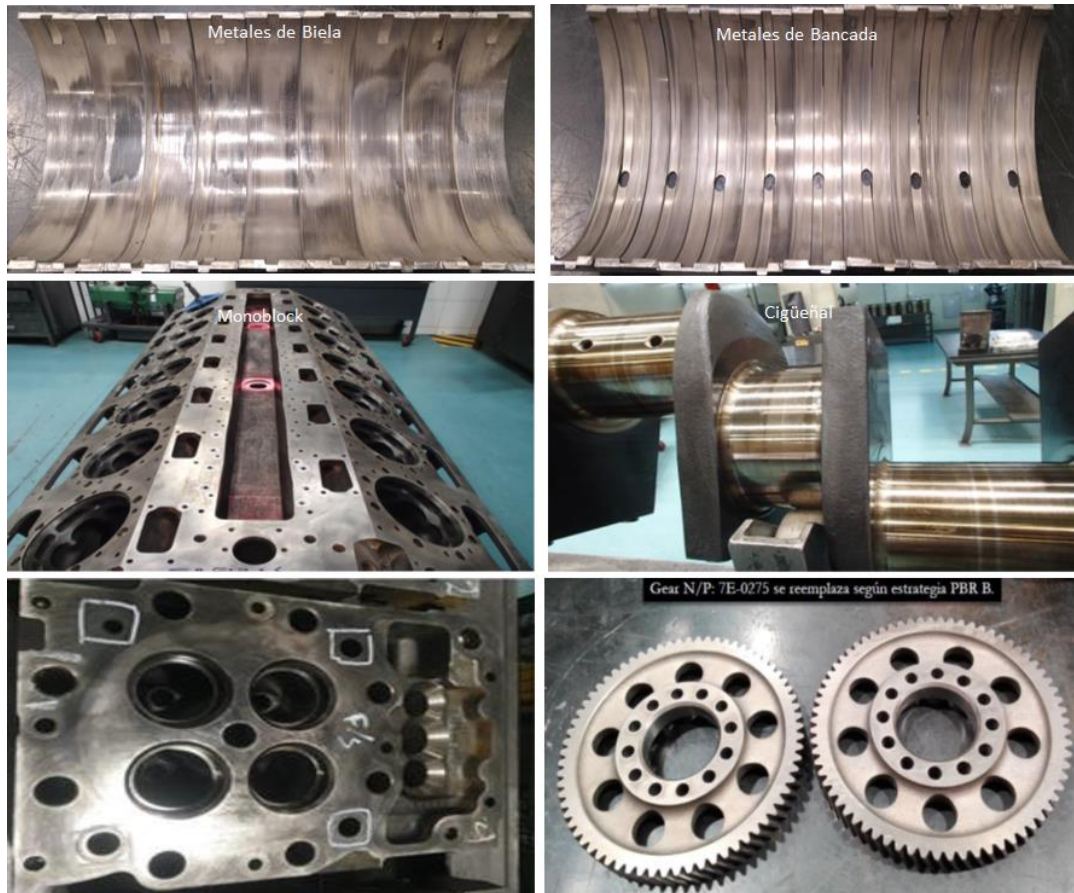


Figura 24. Partes evaluadas en reparación de motor con reparación anterior PBR del camión HT115.  
 Fuente: Elaboración Informe de Reparación - CRC/Ferreyros SA.

➤ **ATY01122 - HT128 / SERIE MOTOR ATY100076525**

En este equipo el motor fue instalado el 24 de diciembre del 2014 y fue cambiado programado por horas de trabajo el 12 de febrero del 2017 trabajando un total de 15,089 horas operativas y 16,203 VIMS de 14,000 horas presupuestadas. Consiguiendo una disponibilidad promedio de 86.00% como equipo y un promedio de impacto en la disponibilidad perdida por fallas en el motor durante su ciclo de vida trabajado de 1.0%.

ATY01122 - HT128 / SEIRE MOTOR ATY100076525							
MES	Total Horas Calendario	Dow time del equipo	Dow time por falla de motor	% Disponibilidad del equipo	% Impacto en Disponibilidad por fallas en general	% Impacto en la Disponibilidad por fallas de motor	% Disponibilidad budget
dic-14	360	68.32	1.15	81%	19%	0%	85.4%
ene-15	744	69.23	9.72	91%	9%	1%	84.9%
feb-15	672	86.12	1.6	87%	13%	0%	85.0%
mar-15	744	89.63	34.15	88%	12%	5%	85.0%
abr-15	720	271.83	0.85	62%	38%	0%	86.0%
may-15	744	86.97	0	88%	12%	0%	86.7%
jun-15	720	10.93	0	98%	2%	0%	86.6%
jul-15	744	114.95	3.3	85%	15%	0%	86.6%
ago-15	744	136.06	22.06	82%	18%	3%	86.5%
sep-15	720	72.35	3.5	90%	10%	0%	86.9%
oct-15	744	42.35	1.7	94%	6%	0%	86.1%
nov-15	720	110.9	0.27	85%	15%	0%	86.4%
dic-15	744	106.38	4.93	86%	14%	1%	85.8%
ene-16	744	98.36	0	87%	13%	0%	85.4%
feb-16	696	61.45	0.39	91%	9%	0%	85.7%
mar-16	744	103.3	5.92	86%	14%	1%	86.5%
abr-16	720	29.63	9.26	96%	4%	1%	86.9%
may-16	744	127.3	2.43	83%	17%	0%	86.9%
jun-16	720	17.16	0	98%	2%	0%	86.9%
jul-16	744	168.36	6.58	77%	23%	1%	86.9%
ago-16	744	163.28	6.1	78%	22%	1%	86.9%
sep-16	720	80.26	5.32	89%	11%	1%	86.9%
oct-16	744	194.27	45.35	74%	26%	6%	86.9%
nov-16	720	89.13	3.65	88%	12%	1%	86.6%
dic-16	744	70.16	3.2	91%	9%	0%	86.0%
ene-17	744	110.36	10.76	85%	15%	1%	87.1%
feb-17	264	74.76	9.46	72%	28%	4%	87.4%

Tabla 29. Detalle de disponibilidad del camión HT128 / SERIE MOTOR ATY100076525  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

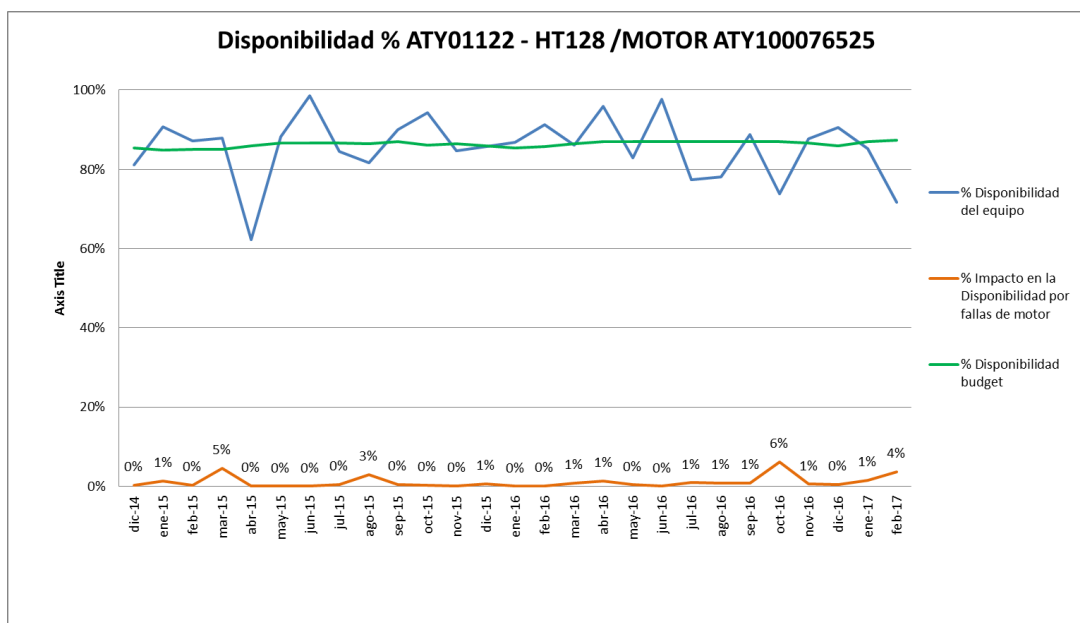


Gráfico 18. Detalle de disponibilidad del camión HT128/Motor ATY100076525.  
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

- Los metales de biela y bancada serán reemplazadas por política de reparación PBR-A2 descritos en la solicitud de servicio.
- Monoblock ingresó a reparación general con OT CR48842 con 15,089 horas de trabajo.
- Presentó medidas del túnel de bancada dentro de las especificaciones del fabricante manteniéndose en estándar.
- Asientos de camisas y superficies de carpetas entre asientos de culatas presentaron picaduras y desgaste, se recomienda la reconstrucción.
- Agujeros pases de agua presentaron picaduras, se recomienda el rectificado de carpetas.
- Luego de la evaluación, se procedió a reparar el monoblock en el Taller de Recuperaciones, cuyos trabajos de detallan a continuación:
  - Se rectificó 02 superficies de carpetas a una medida de 0.015 mm.
  - Se removió un perno de \_” en la parte superior del block.
  - Se pre maquinó, metalizó y se rectificó los 16 diámetros internos de los alojamientos del sello del band filler en los cilindros n° 1 al 16.
  - Se maquinó el chaflán en los diámetros internos del alojamiento upper de los cilindros n° 1 al 16.
  - Se acondicionó, habilitó e instaló 16 bocinas lower en los cilindros n° 1 al 16.
- Otras partes del block se encontraron en buenas condiciones.
- Turbos de baja se encontraron en buenas condiciones. Housing turbine y compresor se encontraron en buenas condiciones.
- Turbos de alta se reemplazaron por condición y aplicación de mejora emitida por el fabricante.
- Cigüeñal N/P 128-6788 ingresó a reparación general con OT CR48842 y un acumulado de 16,203 horas de trabajo.
- Cigüeñal se encontró con la medida de los muñones de bancada y biela en estándar.
- Medidas de deflexión, radios y distancia entre caras de empuje se encuentran dentro de las tolerancias.

- En ciertos muñones presentaron ligeras ralladuras, estas pueden ser corregidas con un pulido.
- Se realizó prueba de partículas magnéticas a los contrapesos y el cigüeñal, no se observaron fisuras.
- Se realizó el pedido de 9 juegos de metales de bancada N/P 355-8662 con medidas en estándar.
- Luego del trabajo realizado el cigüeñal mantiene las siguientes medidas: Puños de biela: Medidas en estándar”. Puños de bancada: Medidas en estándar”.
- 16 pistones N/P 299-5204 ingresaron a reparación general con OT CR48842 y un acumulado de 16,203 horas de trabajo.
- Todos los pistones presentaron medidas dentro de las tolerancias técnicas del fabricante.
- Todos los pines se encuentran con la medida del diámetro externo dentro de especificaciones y tolerancias del fabricante, fueron reutilizados.
- Se realizó el pedido de 16 juegos de anillos de pistón y seguros de pistón.
- Eje de levas presentó medidas dentro de las especificaciones del fabricante.
- Ambos segmentos se reemplazaron por políticas de reparación general PBR A1.
- Las 16 camisas con N/P 211-7826, ingresaron a reparación general con OT CR48842 y un acumulado de 16,203 horas de trabajo. Las camisas n° 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 15 y 16 presentaron picaduras internas en zona de trabajo del anillo del pistón.
- Se realizó el pedido de 10 camisas y 16 juegos de sellos.
- Las 16 culatas ingresaron a reparación general con OT CR48842 y un acumulado de 16,203 horas de trabajo.
- Se realizó prueba de partículas magnéticas (PPM): 15 culatas no presentan fisuras. 01 culata n° 15 presentó fisura en alojamiento de perno orientado hacia la salida de los gases de escape.

- Las 16 bielas llegaron a reparación general con OT CR48842 y un acumulado de 16,203 horas de trabajo.
- Todas las bielas se encontraron con las medidas dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante, estas fueron reutilizadas.
- Durante el periodo de trabajo del motor, la presión boost presentó caídas fuera de sus rangos especificados de trabajo.
- Durante el periodo se observa que la presión de aceite en bajas y altas RPM están dentro de los rangos normales de operación. La temperatura del refrigerante se encontró también en los rangos normales presentando ciertas caídas fuera del rango especificado.
- Durante el periodo se observa que la diferencia de temperaturas de escape de los bancos izquierdo y derecho se encontraron dentro de sus parámetros.



Figura 25. Partes evaluadas en reparación de motor con reparación anterior PBR del camión HT128.  
Fuente: Elaboración Informe de Reparación - CRC/Ferreyros SA.

## CAPITULO 5. DISCUSIÓN

En el presente estudio se ha obtenido notables resultados con la aplicación de la nueva estrategia de reparación de motores de camiones CAT 793, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de la flota de acarreo en una mina a tajo abierto en el norte del Perú. Tal y como lo indica en su estudio “Mr. Greame Robinson - “Planeamiento y Estrategia de Mantenimiento de Equipo Minero, 2010”, la problemática de las pocas horas de duración en el ciclo de vida de los motores de los camiones 793 plantea la búsqueda de alternativas de solución, entre ellas proponer cambios en Planeamiento y Estrategia de reparación de Motores de Camiones CAT 793. En este caso en específico se puede comprobar que el incremento en el ciclo de vida de los motores es significativo pasando de una duración promedio 5,709 horas a un promedio de 15,264 representando un 167% de incremento en la vida del motor CAT 793. Esto corrobora que el cambio en la estrategia de reparación de motores mejora notablemente la vida útil de componentes críticos de los motores de la flota de camiones 793 en esta operación minera.

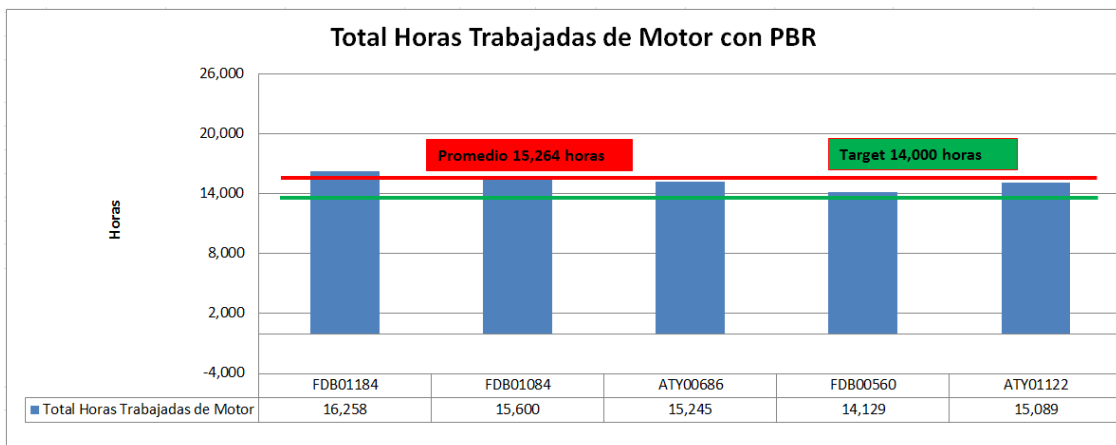


Gráfico 19. Total Horas Trabajadas de Motor con PBR y Target.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

En cuanto al porcentaje de Disponibilidad acumulada en promedio el estudio “Mr. Greame Robinson - “Planeamiento y Estrategia de Mantenimiento de Equipo Minero, 2010” resalta la importancia de mejorarla con la finalidad de incrementar

la confiabilidad de los camiones CAT 793; teniendo concordancia con los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación. Así lo podemos afirmar indicando que la Disponibilidad de Camiones CAT 793 antes del cambio de estrategia fue de 85.52% en promedio (10 camiones), con el uso de motores reparados bajo el esquema PCR. Este resultado comparado con la Disponibilidad presupuestada de 87.10%, para el periodo correspondiente entre enero de 2014 y Octubre de 2016, donde se obtuvo una diferencia negativa de -1.58% menos de disponibilidad en la flota de acarreo tomada para este estudio.

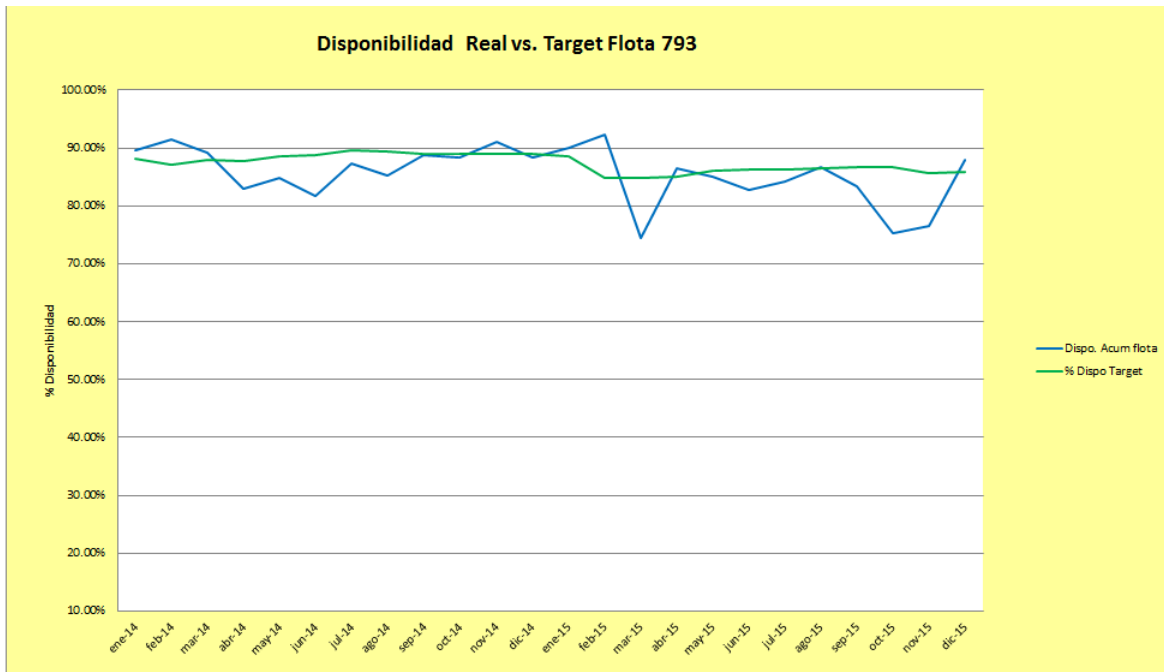


Gráfico 20. Disponibilidad Real Vs. Target de Flota de camiones con motores sin PBR.

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

Luego de aplicar la nueva estrategia de reparación PBR en motores de camiones CAT 793 la Disponibilidad de los equipos fue de 86.82% en promedio (05 camiones) que al compararla con la Disponibilidad obtenida anteriormente de 85.52%, tenemos un incremento de +1.3% de disponibilidad en la flota de acarreo parte de este estudio.



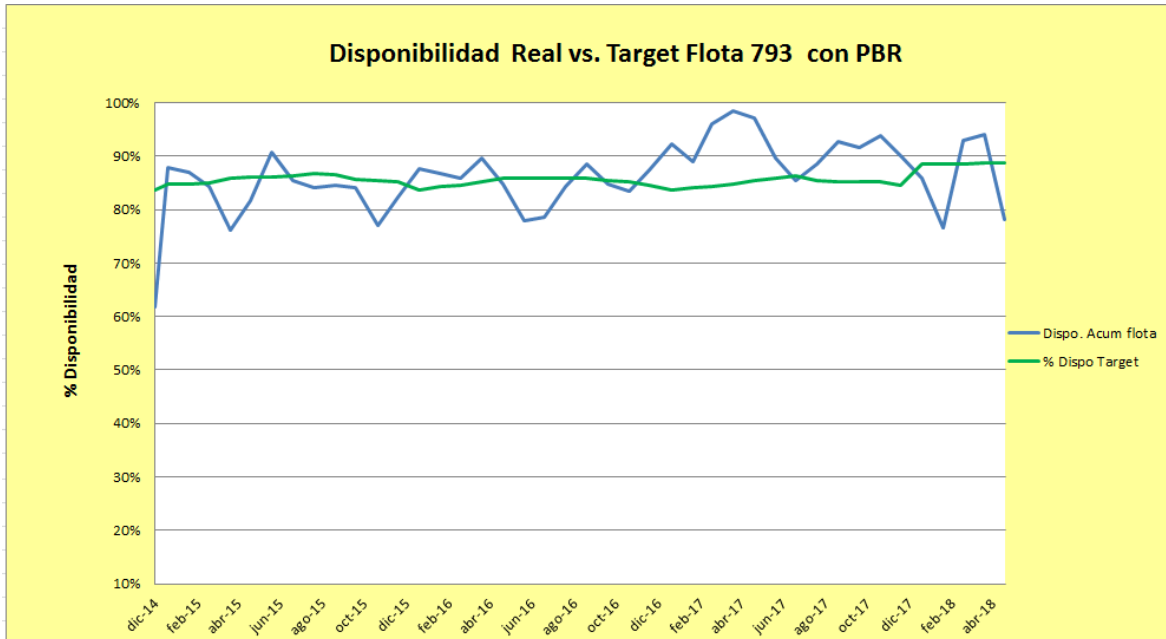


Gráfico 21. Disponibilidad Real Vs. Target de Flota de camiones con motores con PBR.  
 Fuente: Elaboración Propia, 2018.

El costo horario de la reparación de motores de los camiones CAT 793, bajo el esquema de reparación antiguo (PCR), presupuestado para el periodo correspondiente entre enero de 2014 y Octubre de 2016, fue de \$ 26.30 \$/h. Sin embargo el costo real del \$/h de los motores CAT 793 fue de 64.50 \$/h. impactando en el presupuesto de motores en 59.22%. Mientras que con el resultado obtenido en el ciclo de vida de los motores CAT793 donde se aplicó la nueva estrategia PBR fue de \$ 24.84 \$/h versus los \$ 27.08 \$/h presupuestado consiguiendo un ahorro de \$ 2.24 en el \$/h equivalente al 8.28%.

## CONCLUSIONES

En este caso podemos concluir que el haber desarrollado una nueva propuesta para reparar los motores de camiones CAT793 bajo la nueva estrategia PBR es adecuada y provechosa para la gestión de mantenimiento de la flota de acarreo en los equipos mineros, porque con esa metodología se logró el incremento de la confiabilidad de los motores CAT793 que con la estrategia de reparación anterior tenían un promedio de duración de 5,708 horas y actualmente se logró obtener un promedio 15,264 horas de duración de los motores CAT793 lo cual permite que los motores cumplan y superen su ciclo de vida esperada que en este caso es de 14,000 horas.

Con la información obtenida de los informes de reparación del Dealer en los motores que lograron superar las 14,000 horas esperadas en el ciclo de vida de los motores donde las partes internas de los motores presentan los desgastes normales. Se concluye que este ciclo de vida es el óptimo para los motores de camiones CAT793, lo que permitirá que los motores logren obtener en su vida total 56,000 horas que constarían de iniciar el motor nuevo y tener tres reparaciones con un intervalo mínimo de 14,000 horas cada ciclo de vida. Adicionalmente con este esquema reducir los costos operativos al evitar reparaciones prematuras y/o no presupuestadas que impacten en los costos operativos de la empresa.

Mediante el presente trabajo de investigación concluimos que la reparación personalizada de los motores de camiones CAT793, planificada aplica según su ciclo de vida total y considerando el cambio total de las principales partes del motor (block, cigüeñal, culatas y engranajes) en los diferentes ciclos de vida del motor lo cual pese a tener un costo mayor de reparación segura que los motores lleguen a cumplir la vida esperada en cada ciclo de su vida no teniendo fallas catastróficas y realizar cambios del componente como trabajo correctivo, sino realizar estos cambios de manera planificada y con un desgaste normal con lo cual también se reducen los costos operativos de este componente.

Luego de haber analizado la información de los resultados obtenidos en los motores que se les aplicó la reparación con la nueva estrategia PBR se demostró que el performance de los motores mejoró considerablemente logrando cumplir con las expectativas esperadas de lograr trabajar de manera adecuada durante todo su ciclo de vida sin tener mayores complicaciones durante su periodo de trabajo y con esto no impactar en la disponibilidad del equipo, donde en el periodo que se tenía la estrategia de reparación estándar la disponibilidad de la flota se encontraba en un promedio de 85.52% y que luego de implementar la nueva estrategia de reparación de los motores CAT793 se obtuvo una disponibilidad promedio de 86.82%. por otro lado al tener una mayor disponibilidad y confiabilidad el \$/h del motor baja a un costo óptimo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de la nueva estrategia de reparación de motores de camiones CAT793 para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la flota de acarreo en esta mina a tajo abierto.

Continuar con las revisiones de la información sobre el performance de los motores a los cuales se les aplicó la nueva estrategia de reparación PBR para analizar la posibilidad de incrementar el PCR por encima de las 14,000 horas lo que permitiría ser más eficiente en los costos operativos de la flota.

Se recomienda que las diferentes operaciones mineras analicen sus top ten de fallas de motores y que con la participación de su distribuidor y fabricante analicen las posibilidades de personalizar sus reparaciones.

Para poder tener un análisis adecuado se debe de considerar los diferentes factores a los que está expuesto el motor, como mantenimiento y operación esto alineado a las especificaciones del fabricante, esto ayudará a tener parámetros que nos ayudarán a tomar las mejores decisiones del tipo de desgaste a los que están expuestos nuestros componentes.

## REFERENCIAS

- Contrato MARC Ferreyros SAA – Minera Yanacocha SRL
- Asset Management. “Andrew K. S. Jardine & Albert H.C.Tsng, (2006). Maintenance, Replacement, and Reability “Theory and Applications”.
- Planeamiento y Estrategia de Mantenimiento de Equipo Minero. Mr. Greame Robinson, 2010.
- Manual de partes de CAT, SIS WEB CAT
- Base de datos del área de Ingeniería de Confiabilidad de Mantenimiento MYSRL 2013 – 2018
- Información Técnica del área de reparaciones de Ferreyros SAA. - AFA-CRC/Ferreyros SA.
- Introducción a la teoría del muestreo Walpole y Myers, 1996
- Metodología de la investigación cuantitativa - Briones (1995)
- Metodología de la investigación - Hernandez (2002)
- Sistema JMineOps – Jigsaw
- Sistema de control de costos AMT – Minera Yanacocha SRL
- Guía de Reusabilidad de Partes CRC – Ferreyros SAA.

## ANEXOS

- ANEXO N° 1. AFA FDB00564 – CAMIÓN HT 136 – SERIE DE MOTOR FDB100076518
- ANEXO N° 2. AFA FDB01178 – CAMIÓN HT 149 – SERIE DE MOTOR FDB100076054
- ANEXO N° 3. AFA ATY00407 – CAMIÓN HT 109 – SERIE DE MOTOR ATY100076513
- ANEXO N° 4. AFA FDB00566 – CAMIÓN HT 137 – SERIE DE MOTOR FDB100076523
- ANEXO N° 5. AFA ATY00697 – CAMIÓN HT 121 – SERIE DE MOTOR ATY100076519
- ANEXO N° 6. AFA ATY00698 – CAMIÓN HT 122 – SERIE DE MOTOR FDB100076509
- ANEXO N° 7. AFA ATY00689 – CAMIÓN HT 118 – SERIE DE MOTOR FDB100076507
- ANEXO N° 8. AFA ATY00401 – CAMIÓN HT 103 – SERIE DE MOTOR FDB100076525
- ANEXO N° 9. AFA FDB00568 – CAMIÓN HT 139 – SERIE DE MOTOR FDB100076520
- ANEXO N° 10. AFA ATY00232 – CAMIÓN HT 101 – SERIE DE MOTOR FDB100076510
- ANEXO N° 11. AFA FDB01184 – CAMIÓN HT 154 – SERIE DE MOTOR FDB100076523
- ANEXO N° 12. AFA FDB01084 – CAMIÓN HT 146 – SERIE DE MOTOR FDB100076520
- ANEXO N° 13. AFA ATY00686 – CAMIÓN HT 115 – SERIE DE MOTOR FDB100076510
- ANEXO N° 14. AFA FDB00560 – CAMIÓN HT 134 – SERIE DE MOTOR FDB100076518
- ANEXO N° 15. AFA ATY01122 – CAMIÓN HT 128 – SERIE DE MOTOR FDB100076525