

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSE MIGUEL CARRERA.**

**PROPUESTA DE MEJORA A PLAN DE MANTENIMIENTO Y AL SISTEMA
DE GESTIÓN DE STOCK DE REPUESTOS A MOTOR DIESEL DE
CAMIONES DE EXTRACCIÓN 797 CATERPILLAR EN COMPAÑÍA MINERA
CENTINELA UBICADA EN LA CIUDAD DE ANTOFAGASTA.**

Trabajo de titulación para optar al
Título Ingeniero de Ejecución en
Mantenimiento Industrial.

Alumno:
José Cárcamo Sáez.

Profesor guía:
Mg. Ing. Félix Pizarro Martínez.

RESUMEN

KEYWORDS: Plan de Mantenimiento; Gestión de Stock de Repuestos; Motor Diésel.

El Trabajo de título que se presentará a continuación, está enfocado en la mejora al plan de mantenimiento de uno de los sistemas críticos del camión de extracción 797 Caterpillar, el análisis del comportamiento de la flota de camiones se realizó entre los meses de Enero a Septiembre del presente año, ha presentado varios imprevistos que afectan directamente a la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones que transportan mineral, teniendo presente que parte fundamental de solucionar los imprevistos al ir mejorando las pautas de mantenimiento es mantener un stock de repuestos adecuado para la solución de las fallas que presente durante la operación.

Este Trabajo de Título se estructura de la siguiente manera:

CAPITULO 1:

En primer capítulo se describe la empresa donde se realizó el trabajo de título junto con la ubicación geográfica, con esto se podrá deducir como es el contexto operacional donde debe desempeñar sus funciones el activo físico, de una flota total de diez camiones existe un equipo que ha presentado indicadores de baja disponibilidad, en apoyo con las herramientas de manejo de datos se identificará el equipo y sistemas críticos del activo.

CAPITULO 2:

Para reflejar los indicadores actuales del activo físico se apoyó en una base de datos en sistema SAP, en conjunto con un sistema de monitoreo en tiempo real sin desfase, el encargado de la flota ingresa las detenciones, imprevistos, para obtener información diaria y con ello poder reflejar la mayoría de los datos en este trabajo de título, a la vez se analizaron las pautas de mantenimiento que genera el área de planificación para el sistema crítico identificando detalles que presenta cada una de las pautas preventivas.

CAPITULO 3:

Inicialmente se da a conocer la empresa colaboradora que suministra los repuestos y el método de categorización del stock de repuestos de acuerdo a contrato con empresa mandante, se ejecuta la revisión de los repuestos existentes en sistema SAP corroborando si los repuestos permanecen de manera física en lugar de almacenamiento, se detallan las soluciones a las pautas de mantenimiento del sistema crítico mediante la utilización del Análisis de modo de falla y efectos que permitirá generar nuevas tareas propuestas, con ello disminuir los tiempos detención del activo realizando una evaluación tanto de la mejora en las pautas de mantenimiento como en la adquisición de repuestos prioritarios para lograr reducir los costos asociados a imprevistos.

INDICE

RESUMEN	1
INDICE	2
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	3
INDICE DE FIGURAS	4
INTRODUCCION	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECIFICOS	8
CAPÍTULO I “LA EMPRESA”	9
1.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL TRABAJO DE TÍTULO	10
1.2 LA EMPRESA	13
1.3 CONTEXTO OPERACIONAL	17
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	20
1.5 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMÁTICA ACTIVOS	21
1.6 MÉTODO DE ELECCIÓN DE SISTEMA DE EQUIPO CRÍTICO	23
CAPITULO II “SISTEMAS DE MONITOREO”	32
2.1 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO JIGSAW	33
2.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	40
2.3 REVISIÓN DE ACTIVIDADES DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN	44
2.4 ANÁLISIS DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	49
CAPÍTULO III “STOCK DE REPUESTOS”	56
3.1 SISTEMA DE GESTIÓN A STOCK DE REPUESTOS	57
3.2 RECURSOS ACTUALES DE BODEGA EN SISTEMA SAP	65
3.3 PAUTAS DE MANTENIMIENTO MODIFICADAS	67
3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MEJORAMIENTO GENERAL	78
CONCLUSIÓN	87
BIBLIOGRAFÍA	89

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

KPI:	Indicador de Gestión.
MTBF:	Tiempo Medio entre Fallas.
MTTR:	Tiempo medio para Reparación.
RCM:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
SAP:	Sistema de Aplicación y Productos.
AMSA:	Antofagasta Minerals.
FIG:	Figura.
SERNAGEOMIN:	Servicio Nacional de Geología y Minería.
SAG:	Semioautógeno.
PH:	Potencial de Hidrógeno.
KM2:	Kilómetros cuadrados.
KM:	Kilómetros.
USD:	Dólar Estadounidense.
TPMS:	Sistema de Monitoreo de Presión de Ruedas.
VIMS:	Sistema de Monitoreo de Información Vital.
GPS:	Sistema de Posición Global.
WLAN:	Red de Área Local Inalámbrica.
LAN:	Red de Área Local.
RPRO:	Reprogramado
PP1:	Pauta Paso 1.
PP3:	Pauta Paso 3.
ESUMER:	Institución Universitaria Esumer.
S.A:	Sociedad Anónima.
FMEA:	Análisis de Modos de Fallas y Efectos.
SAE:	Society of Automotive Engineers.
RPN:	Numero de Prioridad de Riesgo.
SEV:	Severidad.
OCC:	Ocurrencia.
DET:	Detección.
Q:	Cantidad Optima.
K:	Costo de Adquisición de una Orden.
D:	Demanda.
H:	Costo de Almacenamiento por Unidad.
CT:	Costo Total.
P:	Precio de Compra Unitario.
%:	Porcentaje.
°C:	Grados Celsius.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1.1 Carga de mineral a camión de extracción 797 Caterpillar.
- Figura 1.1.2 Mantenimiento Basado en confiabilidad II – John Murray.
- Figura 1.2.1 Faena Minera Los Pelambres.
- Figura 1.2.2 Faena Minera Zaldívar.
- Figura 1.2.3 Faena Minera Antucoya.
- Figura 1.2.4 Yacimientos pertenecientes a Minera Centinela.
- Figura 1.2.5 Producción de cobre Grupo Minero Antofagasta Minerals año 2017.
- Figura 1.2.6 Producción de Cobre y Vida Util Minera Centinela.
- Figura. 1.3.1 Chancador Primario Compañía Minera Centinela.
- Figura. 1.3.2 Molino Semiautógeno de Compañía Minera Centinela.
- Figura. 1.3.3 Botadero Estéril en Área Mina.
- Figura. 1.3.4 Camión cae desde Botadero Estéril.
- Figura. 1.4.1 Sierra Gorda Región de Antofagasta.
- Figura. 1.4.2 Ubicación geográfica de Minera Centinela.
- Figura. 1.5.1 Indicadores de Gestión flota de Camiones Caterpillar.
- Figura. 1.6.1 Grafico Jack-knife de flota de camiones extracción 797 Caterpillar.
- Figura. 1.6.2 Grafico Jack-knife de sistema crítico Camión 12.
- Figura. 1.6.3 Horas de detención mensual de Camión 12.
- Figura. 1.6.4 Subsistemas Motor diesel Camión 12.
- Figura. 1.6.5 Diagrama Pareto Subsistemas Motor diesel Camión 12.
- Figura. 1.6.7 Fórmula Matemática para cálculo de MTBF.
- Figura. 1.6.8 MTBF de subsistema de lubricación.
- Figura. 1.6.9 MTBF de subsistema de combustible.
- Figura. 1.7.0 MTBF de subsistema de refrigeración.
- Figura. 1.7.1 MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel.
- Figura. 1.7.2 MTBF subsistema de Admisión y Escape.
- Figura. 1.7.3 MTBF subsistema Eléctrico 12 volt.
- Figura. 1.7.4 MTBF subsistema de Engrase.
- Figura. 1.7.5 MTBF Subsistema Eléctrico 24 volt.
- Figura. 2.1.1 Arquitectura Leica Jigsaw.
- Figura. 2.1.2 Replica de datos obteniendo información mediante red inalámbrica.
- Figura 2.1.3 Componentes de JAMS central.
- Figura 2.1.4 JAMS de campo.
- Figura 2.1.5 Aplicaciones JAMS.
- Figura 2.1.6 Oficina de Despacho Área mina en Compañía Centinela.
- Figura 2.1.7 Sistema de posicionamiento global usado en faenas mineras.
- Figura 2.1.8 Módulos Sistema Mineops.
- Figura 2.1.9 Módulo JSMINE.
- Figura 2.1.10 Módulo JSPantallaRutas.

- Figura 2.1.11 Módulo JSReproducirGPS.
- Figura 2.1.12 Equipos de Campo Jigsaw.
- Figura 2.1.13 Módulo Despacho.
- Figura 2.2.1 Microsoft Power BI.
- Figura 2.2.2 Pantalla principal Microsoft Power BI.
- Figura 2.2.3 Resultados Jigsaw.
- Figura 2.2.4 Identificación que permite obtener datos desde Microsoft Power BI.
- Figura 2.2.5 Indicadores de Planificación.
- Figura 2.2.6 Horas de trabajo de componentes.
- Figura 2.3.1 Informe de Gestión Diaria Flota Camiones Caterpillar.
- Figura 2.3.2 Indicadores de Gestión diaria Camiones 797 Caterpillar.
- Figura 2.3.3 Resultados de gestión Semana 46 generado por Área de planificación.
- Figura 2.3.4 Carta Gantt.
- Figura 2.3.5 Orden de trabajo en sistema SAP.
- Figura 2.3.6 Reprogramación actividad Departamento Mantenimiento.
- Figura 2.3.7 Informe de Gerente Mantenimiento.
- Figura 2.4.1 Pautas Mantenimiento preventivo PP1 a PP8.
- Figura 2.4.2 Actividades de Mantenimiento Mecánico 1 en pautas 250 y 750 horas.
- Figura 2.4.3 Actividades de Mantenimiento Mecánico 2 en pautas 250 y 750 horas.
- Figura 2.4.4 Actividades electricista en pautas preventivas 250 y 750 horas.
- Figura 2.4.5 Repuestos utilizados en Pauta Mantenimiento 250 y 750 horas.
- Figura 3.1.1 Diferencias entre tipos de Almacenamientos.
- Figura 3.1.2 Comportamiento del Stock.
- Figura 3.1.3 Fórmula de Cálculo Inventario Promedio.
- Figura 3.1.4 Ejemplo de cálculo de inventario promedio meses de Enero a Septiembre.
- Figura 3.1.5 Representación gráfica de modelo de Wilson.
- Figura 3.1.6 Cálculo de Nivel de Servicio.
- Figura 3.1.7 Comportamiento costos de almacenamiento a unidades almacenamiento.
- Figura 3.1.8 Costo anual de mantener un inventario en porcentaje.
- Figura 3.1.9 Bodegas de Almacenamiento al interior de Minera Centinela.
- Figura 3.1.10 Costos asociados por traslados de repuestos.
- Figura 3.2.1 Listado repuestos en bodega faena minera.
- Figura 3.2.2 Vida útil de repuestos de Camión Extracción 797 Caterpillar.
- Figura 3.3.1 Subsistemas Motor Dese Camión 12.
- Figura 3.3.5 Fórmula de cálculo de RPN.
- Figura 3.3.6 Análisis de Modos y efectos de fallas subsistema de lubricación.
- Figura 3.3.7 Análisis de Modos y efectos de fallas subsistema de combustible.
- Figura 3.3.8 Análisis de Modos y efectos de fallas subsistema de enfriamiento.
- Figura 3.3.10 Hoja de decisiones para confección RCM por subsistemas.
- Figura 3.3.11 RCM de subsistema de lubricación.
- Figura 3.3.12 Tareas propuestas de FMEA subsistema de lubricación.
- Figura 3.3.13 RCM de subsistema de combustible.

- Figura 3.3.14 Tareas propuestas de FMEA subsistema de combustible.
- Figura 3.3.15 RCM de subsistema de enfriamiento.
- Figura 3.3.16 Tareas propuestas de FMEA subsistema de enfriamiento.
- Figura 3.3.17 Modificación de Pauta de Mantenimiento a subsistema de lubricación.
- Figura 3.3.18 Modificación de Pauta de Mantenimiento a subsistema de Combustible.
- Figura 3.3.19 Modificación de Pauta de Mantenimiento a subsistema de Enfriamiento.
- Figura 3.3.20 Servicio de Mantenimiento cada 500 horas.
- Figura 3.4.9 Fórmula Matemática Cálculo de Cantidad Óptima.
- Figura 3.4.10 Fórmula Cálculo de Costo Total.

INDICE DE TABLAS

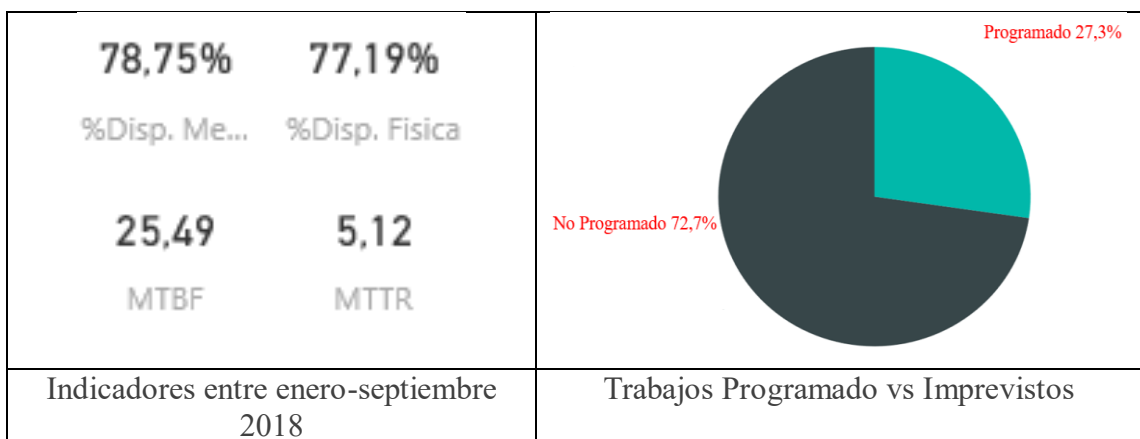
- Figura 1.6.6 Tabla de Detenciones por Subsistemas.
- Figura 3.3.2 Tabla de Severidad.
- Figura 3.3.3 Tabla de Ocurrencia.
- Figura 3.3.4 Tabla de Detección.
- Figura 3.3.9 Tabla Resumen Modo de fallas del Activo.
- Figura 3.4.1 Tabla de costos económicos de ejecución mantenimiento preventivo.
- Figura 3.4.2 Tabla de costos asociados a 48 Imprevistos.
- Figura 3.4.3 Tabla de costos de Imprevistos por Relleno fluidos.
- Figura 3.4.4 Costos de repuestos sin stock ante Imprevistos.
- Figura 3.4.5 Tabla resumen Costos por Imprevistos.
- Figura 3.4.6 Tabla de proyección Disponibilidad Esperada.
- Figura 3.4.7 Tabla de Mejora de Disponibilidad Esperada a la Falla.
- Figura 3.4.8 Tabla de costos con mejora imprevistos.
- Figura 3.4.11 Gráfico de Cantidad Óptima.
- Figura 3.4.12 Tabla Cálculo de cantidad optima y costos totales con mejoramiento
- Figura 3.4.13 Tabla resumen costos económicos con mejoramiento.
- Figura 3.4.14 Tabla Comparativa de costos con Mejoramiento.

INTRODUCCION

La presente propuesta de trabajo de título está enfocada tanto al Mejoramiento de las pautas de mantenimiento del sistema crítico del Motor diésel del camión 797 Caterpillar como al Sistema de Gestión de stock de repuestos, específicamente en la Compañía Minera Centinela ubicada en la ciudad de Antofagasta.

Actualmente en Compañía Minera Centinela uno de los activos físicos que forma parte de una flota total de 10 camiones de transporte de mineral ha desarrollado una problemática durante este año 2018 entre los meses de Enero y Septiembre que ha originado una baja en los indicadores de disponibilidad mecánica de la flota de camiones y un aumento en el porcentaje de imprevistos en relación a los trabajos programados, la función principal del Camión de Extracción es transportar el mineral desde el Rajo Mina al chancado primario, los imprevistos o detenciones no programadas originan una pérdida económica al grupo minero.

Inicialmente se recopila información que permitirá determinar el equipo de la flota de camiones que afecta a la baja de los indicadores del área de mantenimiento, también el sistema y subsistema que presenta una mayor detención e imprevisto, que servirá para determinar las soluciones que se podrían realizar en las pautas de mantenimiento, esta propuesta no solo se enfocará en buscar un incremento en los indicadores en esta flota de camiones sino que permitirá detectar el error que se está cometiendo como Área de Mantenimiento y planificación, cada una de las soluciones o mejoras que se podrían realizar tendrán una directa relación en mejorar los indicadores por ende un gran aporte para la reducción de costos asociados a la detenciones originadas por imprevistos y/o repuestos dañados que no se encuentren en faena.



Fuente: Información obtenida desde Microsoft Power BI interno de Compañía Minera.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento del motor diésel de equipos Caterpillar, orientado al análisis de las pautas de mantenimiento y al sistema de gestión de repuestos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar el sistema crítico en camiones 797 Caterpillar, mediante un análisis con las herramientas de manejo de datos en conjunto con sistema SAP.
- Evaluar las pautas de mantenimiento generadas por el área de planificación, identificando detalles que puedan provocar detenciones que afecten a la disponibilidad y confiabilidad del activo.
- Ejecutar la revisión de stock de repuestos actual en bodega recopilando toda la información de repuestos existentes en faena en conjunto con empresa colaboradora y sistema SAP.
- Desarrollar una evaluación de costos-beneficio a las modificaciones que se realizaran a las pautas de mantenimiento junto con la adquisición de repuestos necesarios apoyado en el análisis de modo de fallas ya que al generar nuevas tareas propuestas en las pautas de manteniendo permitirá disminuir imprevistos.

CAPÍTULO I “LA EMPRESA”

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL TRABAJO DE TÍTULO

Este trabajo de título es realizado en Compañía Minera Centinela ubicada en la región de Antofagasta, pertenece al grupo Antofagasta Minerals más conocido en el rubro minero como AMSA.

Chile es reconocido a nivel mundial como un país productor de mineral, de acuerdo a la información entregada por el Ministerio de Minería (datos obtenidos del enlace www.minmineria.gob.cl/¿que-es-la-mineria/historia-de-la-mineria-en-chile/).

Los inicios de la minería en Chile en conjunto con el avance en el mantenimiento a través de los años se detallan en la siguiente descripción.

Los atacameños fueron los primeros en explotar mineral en nuestro país, habitaban en la cordillera de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, específicamente extraían cobre desde el yacimientos ubicado en Chuquicamata, inicialmente el mineral lo utilizaban para la confección de objetos de adorno usado para importantes ceremonias.

En el siglo XVIII en Chile, Don Juan Egaña que era político y escritor de la época, que tuvo gran participación en los inicios de la independencia de Chile, se percató de la poca utilización de todos los minerales existentes en la cordillera, en esos años se generaba el informe tribunal de minas e indicó que actualmente nuestro país solo vivía de la producción agrícola y no se aprovechaban los otros recursos.

A partir del siglo XIX se inicia uno de los primeros aporte de la extracción de mineral a la mayoría de las industrias, y se realizan los primeros envíos de mineral al extranjero, entre los años 1840 y 1860 nuestro país pasa a ser el mayor productor de cobre a nivel mundial, en la actualidad Chile cuenta con yacimientos a lo largo del territorio que permite la extracción de variados tipos de minerales, esto provoca que al pasar el tiempo exista un gran interés en empresas extranjeras en invertir y participar en los estudios para descubrir yacimientos a futuro.

La característica geográfica de nuestro país Chile está en constante detección de futuros yacimientos por empresas de exploración interesadas en invertir en mediciones geológicas a lo largo del territorio nacional, el impacto económico que propone la minería ha sido bastante positivo a través de los años, pero se debe tener claro que estas mediciones o la creación de nuevos yacimientos mineros no provoquen un impacto ambiental ni daños a las personas.

Para ir generando una mayor producción de cobre y otros minerales a través del tiempo, es necesario contar con las instalaciones, equipos, maquinarias y profesionales que cuenten con las competencias técnicas acorde a la ejecución del trabajo en todas las áreas del proceso productivo, teniendo presente la capacitación constante del personal que se desempeña en las áreas de análisis, obtención y producción de mineral fino.

Parte importante en el proceso diario de obtención y traslado de material (fig. 1.1.1) junto a la producción del mineral son las maquinarias y equipos, estas deben estar disponibles la mayor parte del tiempo para cumplir con las metas de producción establecidas, el movimiento de tierra debe ser lo más fluido posible evitando detenciones no programadas, tanto en la planta como en los equipos de movimiento de tierra.



Fig. 1.1.1 Carga de mineral a camión de extracción 797 Caterpillar

Fuente: Imagen obtenida desde página web <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/grandes-camiones-y-palas-un-match-que-apunta-a-mayor-rendimiento/>

Para que un equipo o maquinaria pueda estar disponible cuando sea necesario ejecutar alguna labor específica es fundamental seguir los mantenimientos preventivos que especifica cada proveedor o fabricante del equipo para mantener el buen funcionamiento del equipo sin detenciones, con ello se deduce que la principal función del mantenimiento es mantener la funcionalidad de los equipos y maquinas en el tiempo.

La historia del mantenimiento aparece cuando las empresas comienzan a adquirir equipos y maquinarias, inicialmente, entre los siglos XVIII y XIX se iniciaron los primeros trabajos de reparación, con el tiempo se percataron que trabajar basándose en fallas del equipo estos provocaban una detención del proceso asociado a un mayor costo, con el paso de los años se comenzó a trabajar con la tasa de fallas en los sistemas de los equipos,

inicialmente se comenzó con el mantenimiento correctivo, aunque es la forma más básica del mantenimiento porque trabaja directamente en detectar averías y repararlas, las primeras etapas de mantenimiento aparecen en el siglo XX en los Estados Unidos, donde las soluciones se basan en el mantenimiento correctivo



Fig. 1.1.2 Mantenimiento Basado en confiabilidad II – John Murray
Fuente: Libro Mantenimiento basado en confiabilidad II – John Murray.

La evolución de las técnicas de mantenimiento desde el inicio en que las empresas comenzaron con el uso de equipos y maquinarias, se enmarca en cuatro generaciones de acuerdo a fig. 1.1.2, existe un crecimiento tanto en nuevos conceptos como en técnicas de mantenimiento, el personal de mantenimiento debe aprender a conocer las técnicas para luego determinar cuál es la que debe de utilizar de manera adecuada que permita ver resultados óptimos en el correcto funcionamiento de los equipos.

La evolución del mantenimiento a través de los años se detalla de la siguiente manera: En la primera generación se trabajó en el mantenimiento basado en lo correctivo, es decir se repara cuando falla, la segunda generación está enfocada en la programación de reparaciones, planeamiento de tareas e inspecciones visual durante un tiempo de operación de los equipos, la tercera generación es el inicio de la incorporación de nuevos conceptos de mantenimiento tales como mantenibilidad, fiabilidad, modos de fallos y causas que se dan a conocer a las industrias y con ello dar inicio a una nueva era de conceptos de mantenimiento para luego en la cuarta generación trabajar directamente en los mantenimientos preventivos, predictivos y proactivos para anticiparse a futuras fallas, realizando monitoreo en tiempo real durante la operación del equipo, realizar análisis de modos de fallas y causas, todo esto basado en buscar mejoras en las pautas de mantenimiento parte importante y fundamental en este trabajo de título, ya es necesario

buscar mejoras que permitan primeramente cuidar el activo físico para que no existan fallas catastróficas, toda esta mejora permitirá que los indicadores de gestión del área de mantenimiento sea lo más rentable para la compañía minera e inversionistas.

1.2 LA EMPRESA

Compañía Minera Centinela está ubicada en la región de Antofagasta, pertenece al grupo AMSA, Antofagasta Minerals, creada en el año 2001 con una vida útil de 43 años, su centro estratégico está en Av. Apoquindo 4001, oficina 18, las condes, Santiago de Chile.

Antofagasta Minerals cuenta actualmente con cuatro yacimientos, Minera Los pelambres en la región de Coquimbo (fig. 1.2.1), Minera Zaldívar (fig. 1.2.2), Minera Antucoya (fig. 1.2.3) en la región de Antofagasta, y Minera Centinela (fig. 1.2.4), en relación a sus inversionistas el 65% pertenece a familia Luksic y el resto se transa en la bolsa de Londres.

Como grupo Minero Antofagasta Minerals en el año 2017 se obtuvo una producción de 703400 toneladas de cobre, una parte del total de toneladas de cobre Minera Centinela aportó con una producción de 228300 toneladas de cobre las cuales se dividen en concentrado de cobre 163.900 toneladas y cátodos de cobre con 64.500 toneladas (ver fig. 1.2.5 y 1.2.6).



Fig. 1.2.1 Faena Minera Los Pelambres.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

Faena Minera los pelambres se encuentra ubicada a 45 km al Este la comuna de Salamanca Región de Coquimbo, es una mina a rajo abierto en donde se obtiene Cobre, esta Minera pertenece en un 60% a Antofagasta Minerals y el 40% a un grupo japonés integrado por Nippon LP Resources.



Fig. 1.2.2 Faena Minera Zaldívar.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

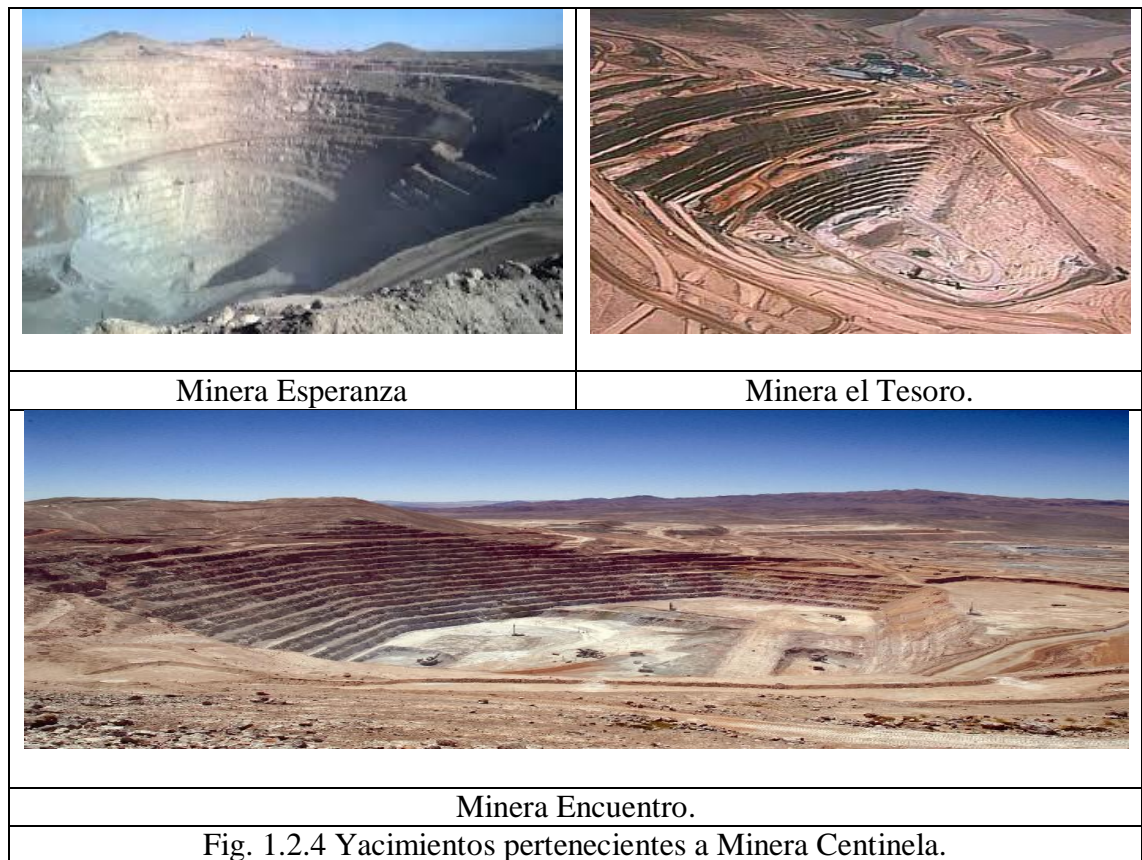
Faena Minera Zaldívar forma parte de Antofagasta Minerals desde el año 2015, con propiedad del 50%, es una mina de rajo abierto en donde se extrae oxido de cobre por lixiviación, a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar a 175 km al sureste de Antofagasta.



Fig. 1.2.3 Faena Minera Antucoya.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

Faena Minera Antucoya está ubicada a 125 km al noreste de Antofagasta entre las comunas de María Elena y Mejillones, el producto que se obtiene son cátodos de cobre material extraído desde mina rajo abierto.



Fuente: Elaboración Propia en Área Mina Centinela Sulfuro.

Compañía Minera Centinela nace de la fusión en el año 2014 de tres faenas mineras Minera Esperanza, Minera el Tesoro y Minera Encuentro, se encuentran a unos escasos kilómetros de distancia entre ellas, la estrategia de fusión permite ser competitivos en relación a otros grupos mineros existentes en la segunda región, y llegar a ser líderes en la producción de mineral fino en Chile.

En el año 2016 se incorpora el Sistema, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de Datos, más conocido como SAP, es un programa y software que permite combinar todas las áreas de la faena pertenecientes al grupo minero para obtener información de acuerdo al perfil de usuario de cada trabajador del área de mantenimiento, para generar ordenes de trabajo, verificar repuestos, tiempos de mantenciones programadas, imprevistos, inspecciones realizadas por ingeniería a los activos físicos, indicadores de disponibilidad, y obtener información de otros yacimientos pertenecientes al grupo minero para evaluar su metodología de trabajo en el área de mantenimiento.

En conjunto con el sistema informático SAP, se cuenta con un sistema de gestión de flotas denominado Sistema Mineops Jigsaw, este sistema entrega información del estado del activo, ubicación física del activo, alarmas, fallas, motivos de detención del equipo, esta información es ingresada por el despachador mecánico.

Desde estos dos sistemas se obtienen datos de los activos que se enviarán a una plataforma donde se obtienen indicadores de disponibilidad, confiabilidad, detalle de cada detención por flotas con horómetros, gráficos que servirán para el análisis de estado de los activos y los resultados del área de mantenimiento.

PRODUCCIÓN	COBRE (TONELADAS)		
	2015	2016	2017
Los Pelambres	363.200	355.400	343.800
Centinela	221.100	236.200	228.300
Michilla	29.400	-	-
Antucoya	12.200	66.200	80.500
Zaldivar*	4.400	51.700	51.700
Total	630.300	709.500	704.300

Fig. 1.2.5 Producción de cobre Grupo Minero Antofagasta Minerals año 2017.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

INICIO DE LA OPERACIÓN: 2001	COBRE EN CONCENTRADO <small>Toneladas (2016 – 180.400)</small>	CÁTODOS DE COBRE <small>Toneladas (2016 – 55.800)</small>	ORO <small>Onzas (2016 – 213.000)</small>
	(9,1)% 163.900	15,6 % 64.500	(26,3)% 157.000
Vida útil Minera Centinela.	Producción cobre Minera Centinela año 2017.		

Fig. 1.2.6 Producción de Cobre y Vida Util Minera Centinela.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

1.3 CONTEXTO OPERACIONAL

La función principal del camión de extracción 797 Caterpillar dentro del Área Mina es trasladar el material que es depositado en su tolva por el equipo de carguío que trabaja en el interior mina a un lugar específico dependiendo del índice de cobre que contenga el material, se pueden dar dos casos hacia donde enviar el material durante la operación normal de trabajo del activo físico, por ejemplo, cuando el material extraído cuenta con alto índice de aporte en cobre, el traslado del camión del extracción será desde el interior mina al chancado primario (fig. 1.3.1), y cuando el mineral tenga un bajo índice de cobre se trasladará a lugares denominados Botadero Estéril que están asignados por toda el área mina.



Fig. 1.3.1 Chancador Primario Compañía Minera Centinela.

Fuente: Elaboración Propia Área Mina Centinela Sulfuro.

El Area de operaciones mina en conjunto con el Area de geología de acuerdo a los estudios realizados al Rajo Abierto Mina, tiene identificado los sectores que presentan una mayor índice de cobre para ser trasladado ya sea al chancador primario o a los distintos botaderos esteril existentes en area mina.



Fig. 1.3.2 Molino Semiautógeno de Compañía Minera Centinela.
Fuente: Elaboración Propia en Área Planta Centinela Sulfuro.

Minera Centinela cuenta con un Chancador Primario cuenta con una capacidad de 7000 toneladas/horas, su función principal es realizar la disminución del tamaño de la roca del material para luego ser enviado mediante correas transportadores a la siguiente etapa de Molienda en donde el material es enviado al Molino Semiautógeno o SAG (fig. 1.3.2) que permite reducir aún más la roca debido el movimiento circulatorio del molino agregando agua y cal que permite estabilizar la acidez del material en un PH determinado, para luego llevar a cabo el proceso de flotación.

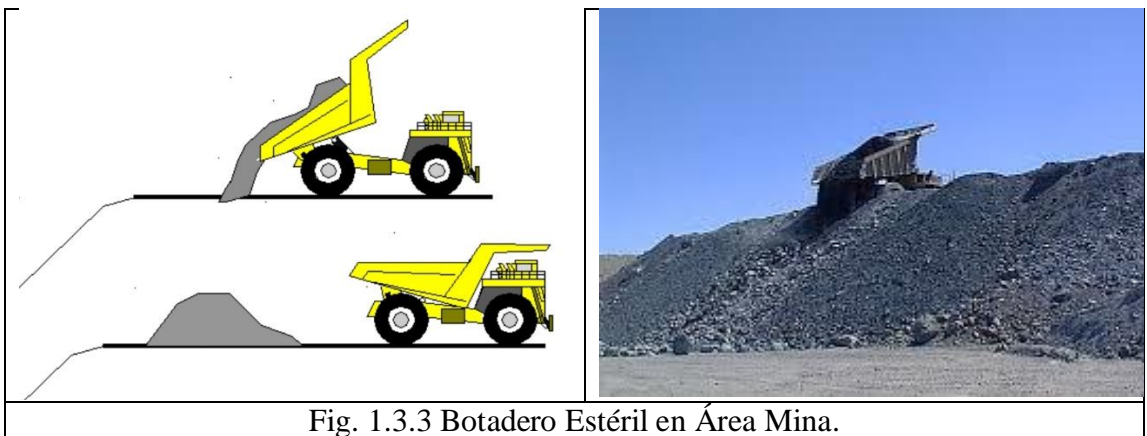


Fig. 1.3.3 Botadero Estéril en Área Mina.

Fuente: Imagen obtenida desde web

<http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/G6ManejoMineralResiduosMineros.pdf>.

De acuerdo a la disposición de material estéril estipulado por Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), un Botadero Estéril (fig. 1.3.3) es donde se realiza descarga de un camión u otro equipo de movimiento de tierra en un desnivel topográfico, debe formarse de manera planificada por el área de operaciones mina,

teniendo en cuenta que el piso del borde en donde se posicionará el equipo no debe de presentar ningún tipo de fisuras y debe de ser inspeccionado frecuentemente.

El piso del botadero debe estar lo más parejo posible para evitar volcamientos de los equipos, el operador al momento de realizar la descarga del material debe ingresar en reversa a baja velocidad, debe existir un cordón de seguridad de acuerdo a norma establecida por Sernageomin, esta debe tener una altura del 50% la altura de los neumáticos, el cordón de seguridad no deberá usarse de freno para los neumáticos traseros, pero sí de guía para el operador cuando se aproxima al borde del botadero y evitar algún tipo de accidente.



Fig. 1.3.4 Camión cae desde Botadero Estéril.

Fuente: <https://www.tarapacaonline.cl/2016/08/13/operador-salva-de-milagro-tras-insolito-accidente-sobre-un-camion-tolva-en-cerro-colorado/>

En imagen de la fig.1.3.4 se observa un Camión de extracción de mineral que cae desde el borde del botadero estéril sin existir daños a las personas, pero no se observa el cordón de seguridad que está establecido por Sernageomin, quizás fueron distintas causas que llevaron a la caída las cuales están en investigación, pero inicialmente no se observa el cordón de seguridad.

Anualmente el Camión de Extracción de Mineral está en funcionamiento 8640 horas, se le realiza un mantenimiento preventivo cada 250 horas de trabajo, por ende, al año se realiza 35 mantenciones preventivas.

El mantenimiento preventivo tiene como objetivo principal proteger el activo físico y cumplir con las expectativas del negocio manteniendo la disponibilidad mecánica y confiabilidad durante operación.

El equipo está expuesto a un clima tipo desértico para desempeñar sus funciones con temperaturas entre -10°C y 30°C , una altura geográfica de 2300 metros a nivel del mar, la velocidad máxima de desplazamiento del Camión de extracción 797 Caterpillar en el interior mina es de 60 kilometro/hora, autorizado por Sernageomin de acuerdo a resolución 562/2019, el equipo está diseñado para transportar 363 toneladas con un tiempo de traslado ida y vuelta al interior mina de una hora.

Es importante realizar la inspección de las rutas por donde transita el equipo ya que existe material que cae sobre las rutas de desplazamiento, si por algún motivo el material del terreno llega a tener contacto con los neumáticos provocarían daños y con esto se disminuye la durabilidad de los neumáticos originando imprevistos.

1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Compañía Minera Centinela está ubicada en la Región de Antofagasta, a una altura geográfica de 2 mil 300 metros sobre el nivel del mar, a 30 km de la ciudad de Sierra Gorda, 1350 km al norte de la ciudad de Santiago, 180 km de la ciudad de Antofagasta y a 100 km de la ciudad de Calama, específicamente en el desierto de atacama con una temperatura entre -10°C y 30°C , con escasa flora y fauna. (Ver fig. 1.4.1).

La demografía total de Sierra Gorda es de 12886,4 Km², de acuerdo al último Censo en año 2017, tiene una cantidad de habitantes de 2356 personas, el 79,2% son hombres y un 20,8% mujeres.



Fig. 1.4.1 Sierra Gorda Región de Antofagasta.

Fuente: Obtenida desde web www.transportetotal.cl/2017/01/09/mineras-al-debe-en-sus-relacion-con-las-comunidades/

Sierra Gorda (fig. 1.4.2) durante el año presenta escasa lluvia, la temperatura media anual es de 15,4 °C, el mes más seco es febrero, el mes más caluroso del año con un promedio de 19°C es en Enero, el mes de Julio con una temperatura promedio de 11,3 °C es la temperatura más baja del año.



Fig. 1.4.2 Ubicación geográfica de Minera Centinela.

Fuente: Imagen obtenida desde web <http://antofagasta.tv/2017/05/15/con-aprobacion-del-core-se-construira-relleno-sanitario-en-la-comuna-de-sierra-gorda/>.

Minera centinela cuenta con 2 Hoteles con instalaciones de primer nivel para todos sus trabajadores al igual que la alimentación, debido a la temperatura existente en faena, los dormitorios poseen aire acondicionado y sistema contraincendio para proteger a sus trabajadores e instalaciones.

1.5 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMÁTICA ACTIVOS

Entre los meses de Enero a Septiembre del año 2018, se ha detectado que la flota de camiones de extracción 797 Caterpillar que realizan el transporte de mineral en Minera Centinela han presentado imprevistos que afectan directamente a la disponibilidad de la flota de equipos y un aumento de imprevistos en relación a los trabajos programados.

Inicialmente se recopila información desde SAP ERP y de Sistema de Monitoreo Jigsaw, esto permitió obtener los indicadores de gestión reflejados en fig. 1.5.1.

En Departamento de Mantenimiento existen varias áreas que apoyan a la ejecución del mantenimiento, cada una con funciones específicas, el Área de Ingeniería aparte de prestar apoyo técnico deberá establecer el target de los indicadores de gestión de la flota de equipos de acuerdo a la necesidad del departamento de operaciones y a la necesidad del negocio del grupo minero.

Los imprevistos que han presentado los equipos durante operación, tienen directa relación con fugas de aceites hidráulicos, daños en componentes mecánicos recién instalados, stock de repuestos en bodega ineficiente, y demora en el tiempo de llegada de repuestos que provoca un mayor tiempo de detención del activo.

La utilización efectiva es la utilización que desempeña el área de operaciones cuando utiliza algún activo para realizar su función principal, si la utilización sobrepasa el 75% se deben de poner todos los esfuerzos en mantener la flota de camiones sin imprevistos ya que cualquier falla afectaría aún más la disponibilidad del departamento de mantenimiento, la Disponibilidad Física es el tiempo en que el activo está disponible para ejecutar su función la cual debe mantener un target estipulado por la compañía del 85% al igual que la Disponibilidad Mecánica que tiene relación con los tiempos programados de mantenimiento versus imprevistos de alguno de los sistemas del activo.

El departamento de ingeniería en conjunto con las áreas de confiabilidad en relación a los indicadores de gestión, que el target de tiempo de reparación (Mtrr) de fallas sea menor a 3 horas, y el tiempo medio entre fallas (Mtbf) sea mayor a 50 horas, para ello se deberá analizar el equipo que ha provocado mayor cantidad de imprevistos de la flota total de Camiones de Extracción.

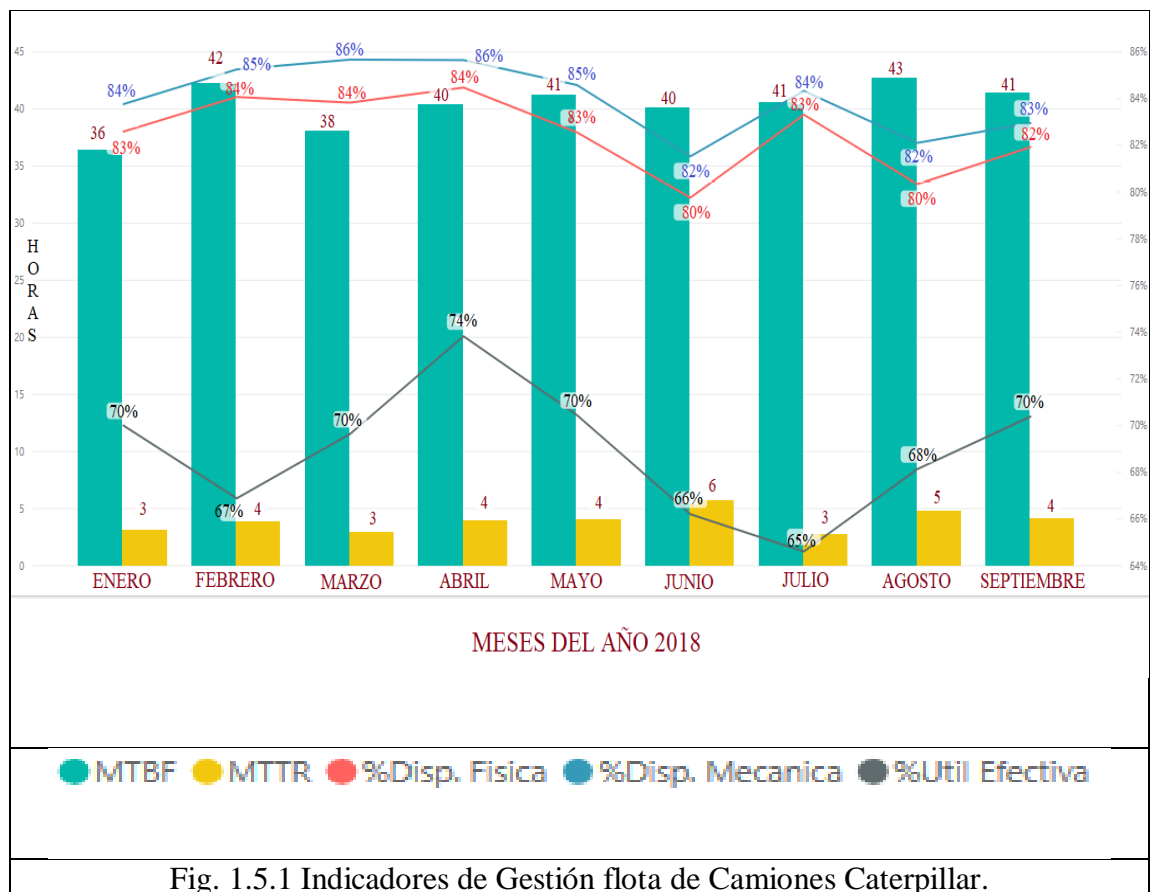


Fig. 1.5.1 Indicadores de Gestión flota de Camiones Caterpillar.

Fuente: Imagen obtenida desde web Antofagasta Minerals.

El buen funcionamiento de todos los sistemas del Camión de Extracción es de vital importancia para el grupo minero debido a la función que realiza en el área mina, por ello, se deben de buscar soluciones para mantener operativo el equipo cuando el área de operaciones necesite de sus servicios, se debe tener en cuenta que el área de operaciones no posee equipos en reserva o stand-by que permitiera en algún momento poder redundar entre equipos cuando exista un imprevisto, anualmente Minera Centinela tiene que cumplir cierta producción de mineral en toneladas, hasta la fecha ha existido una baja en la producción de mineral, por ello se buscarán soluciones para que el equipo pueda continuar su operación normal sin detenciones ni imprevistos para que la compañía pueda cumplir las metas de producción, teniendo presente el cuidado del equipo y de sus sistemas.

1.6 MÉTODO DE ELECCIÓN DE SISTEMA DE EQUIPO CRÍTICO

Existe un equipo de la flota total de 10 camiones de extracción 797 que ha presentado una mayor cantidad de imprevistos en relación con los otros equipos, al recopilar la información de cantidad detenciones, tiempos de detención y tiempo medio entre fallas permitirá crear uno de los diagramas de priorización utilizado en gestión de mantenimiento denominada diagrama Jack-knife, este diagrama permite conocer las prioridades en este caso para el área de mantenimiento, apoyado de un diagrama en donde está ingresado los datos de las detenciones, esto permitirá dar un enfoque a las decisiones que se deben de tomar en el plan de mantenimiento ya sea mejorar la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad del activo.

El diagrama Jack-nife permite tener una interpretación grafica más clara y facilidad de comparar entre equipos o sistemas el comportamiento o tendencias de cada uno de ellos, los datos del camión 12 presenta una mayor dispersión en comparación a los otros equipos, ubicándose en el IV zona que se asocia a ineficiencia en la mantenibilidad, reducción de confiabilidad y una no disponibilidad del activo. (Fig. 1.6.1).

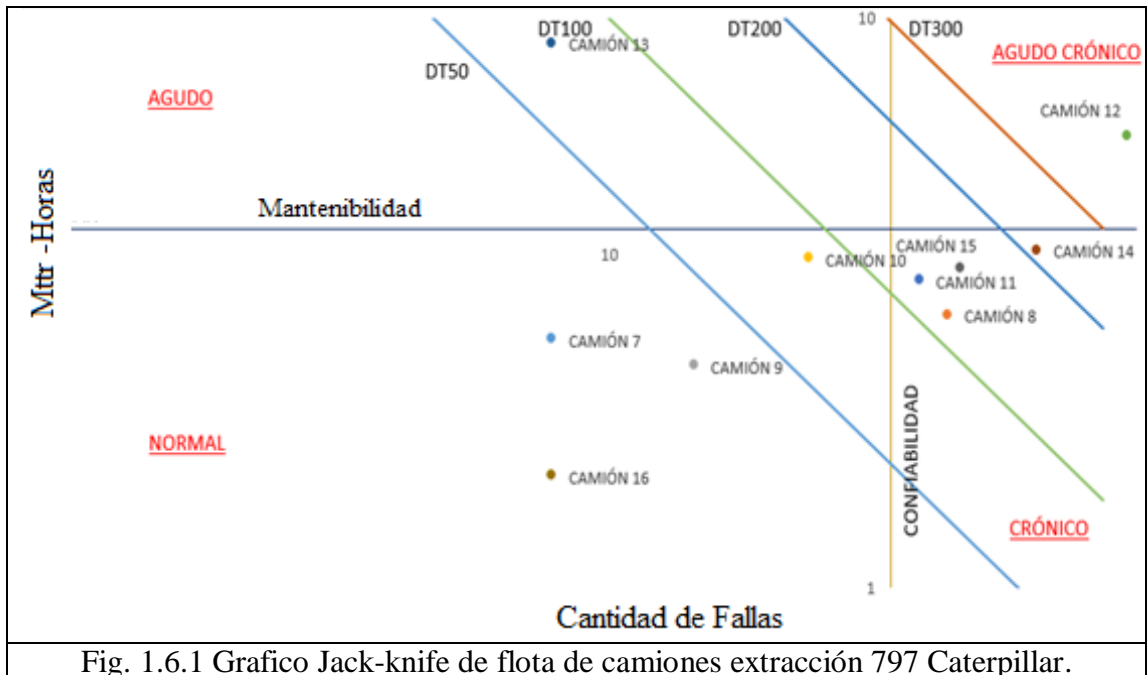


Fig. 1.6.1 Grafico Jack-knife de flota de camiones extracción 797 Caterpillar.
Fuente: Fuente: Elaboración Propia apoyo Historial de detenciones por imprevistos.

Al identificar el equipo crítico de la flota de camiones de extracción, se debe de identificar el sistema que ha provocado que el equipo tenga ese comportamiento negativo en comparación a los demás equipo que afecta directamente a los bajos indicadores obtenidos por el departamento de mantenimiento, (fig. 1.6.2) para ello se crea nuevamente un grafico Jack-knife para identificar el sistema crítico del equipo que ha presentado un mayor tiempo de detencion entre los meses de enero a septiembre en el año 2018.

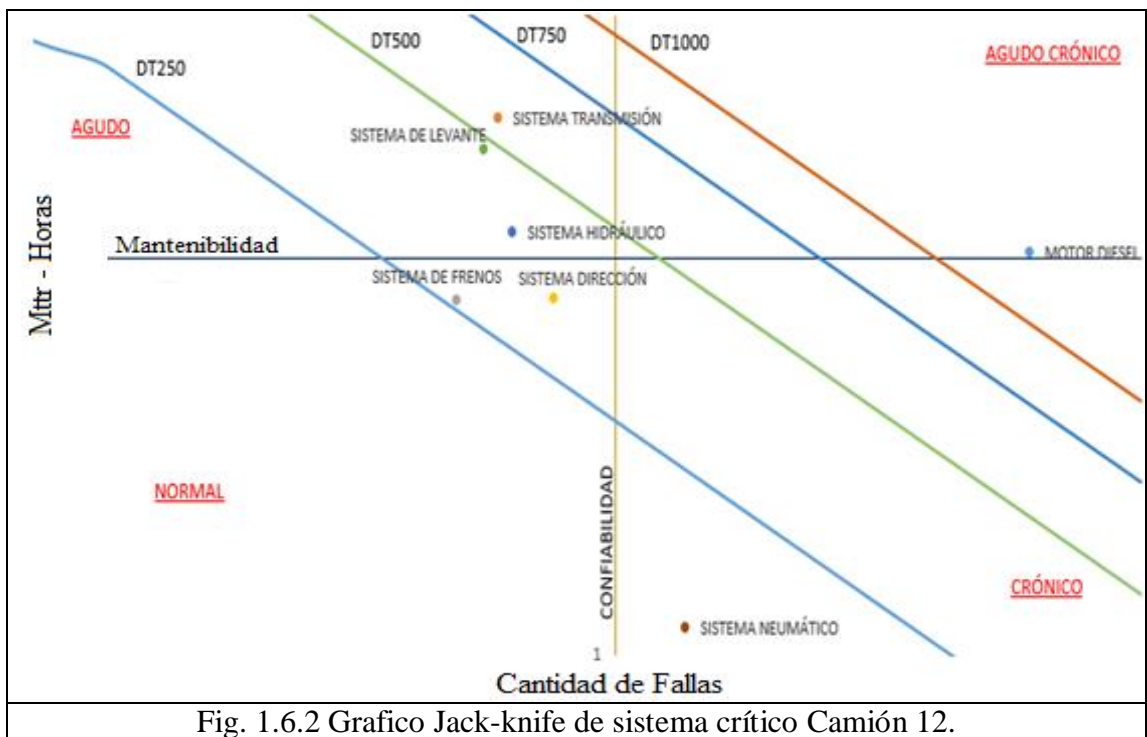


Fig. 1.6.2 Grafico Jack-knife de sistema crítico Camión 12.
Fuente: Fuente: Elaboración Propia apoyo Historial de detenciones por imprevistos.

El Camión 12 ha presentado un total de horas detenidos por imprevisto de 521,21 horas durante el periodo en evaluación de este trabajo de título (fig 1.6.4), con una disponibilidad mecánica de 78,75 %, un tiempo medio entre fallas (MTBF) de 25,49 horas y un tiempo de reparación (MTTR) de 5,12 horas, Minera Centinela según target entregado por departamento de planificación se debe mantener una disponibilidad diaria y mensual de la flota de camiones con un valor igual o mayor que 85%, un MTBF de 50 horas y un MTTR de 3 horas, para cumplir con los indicadores habrá que buscar soluciones, para ello se tiene que identificar todo lo crítico que se identificó anteriormente, el equipo, sistema, indicadores a la vez identificar los subsistemas que podrían afectar al sistema de Motor Diesel, existen 8 subsistemas que han presentado mayor cantidad de detención según sistema de monitoreo, (Fig. 1.6.5), se ordenó por subsistema y horas de detención, como dice el principio pareto “ Pocos vitales, muchos triviales”, de acuerdo a información recopilada se crea un diagrama pareto que permitirá priorizar el estudio de las fallas, teniendo en cuenta que de acuerdo a su frecuencia acumulada se podrá identificar el 20% de las causas totales que son originados el 80% de los efectos.

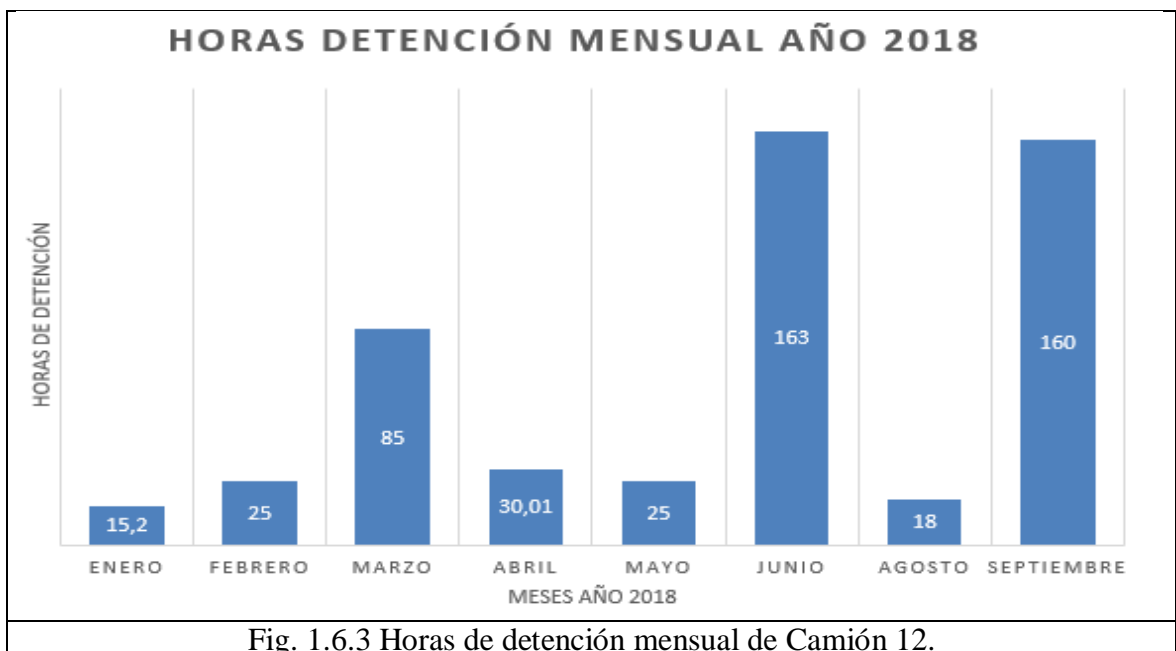


Fig. 1.6.3 Horas de detención mensual de Camión 12.

Fuente: Elaboración Propia apoyo Historial de detenciones por imprevistos.

Horas mensuales de detención de activo provocados por imprevistos durante el período desde Enero a Septiembre 2018, este gráfico es obtenido de los registros ingresados por despachador mecánico al Sistema Microsoft Power BI.

Averías	Horas Detención	Porcentaje	Acumulada
Sistema de lubricación	139,19	26,7	26,7
Sistema de combustible	108,38	20,8	47,5
Sistema de refrigeración	95	18,2	65,7
Sistema de arranque	84,47	16,2	81,9
Sistema de admisión y escape	65,86	12,6	94,6
Sistema eléctrico 12 volt	11,75	2,3	96,8
Sistema de Engrase	10,5	2,0	98,8
Sistema eléctrico 24 volt	6,06	1,2	100,0
Total	521,21		

Fig. 1.6.4 Subsistemas Motor diesel Camión 12.

Fuente: Elaboración propia con información obtenidos desde Microsoft Power BI.

Este cuadro de detenciones se realizó en conjunto con planilla en Microsoft Excel, en donde se prioriza inicialmente por subsistema que ha presentado un mayor tiempo detenido versus el que ha presentado una menor detención durante el periodo analizado.

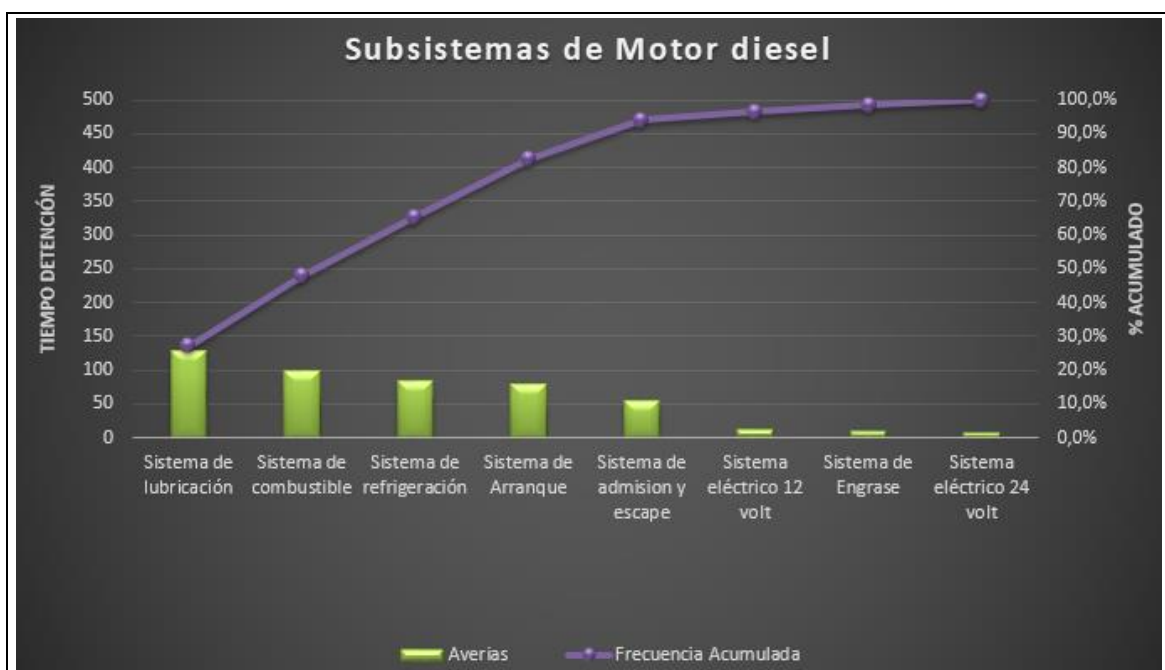


Fig. 1.6.5 Diagrama Pareto Subsistemas Motor diesel Camión 12.

Fuente: Elaboración propia con información obtenidos desde Microsoft Power BI.

Al Sistema crítico del Camión de extracción 797 Caterpillar, se detallaron las horas de detenciones por subsistemas, el paso siguiente es analizar la cantidad de detenciones por subsistemas reflejadas en tabla de la fig. 1.6.6.

Subsistemas	Cantidad de Detenciones
Sistema de Lubricación	22
Sistema de Combustible	15
Sistema de Refrigeración	11
Sistema de Arranque	9
Sistema de Admisión y Escape	8
Sistema Electrico 12 volt	5
Sistema de Engrase	4
Sistema Eléctrico 24 volt	3
Total	77

Fig. 1.6.6 Tabla de Detenciones por Subsistemas.

Fuente: Elaboración Propia.

Minera Centinela cuenta con flotas de equipos separados por la función que realizan en el interior de Mina que consiste en Equipos de transporte de mineral, Equipos de perforación, Equipos auxiliares y Equipos de carguío, de acuerdo con esto el departamento de confiabilidad de Compañía Minera maneja indicadores de confiabilidad por flota de equipos, pero no maneja datos de confiabilidad y MTBF por sistemas o subsistemas de cada flota de equipos, para el trabajo de título es un dato relevante ya que permitirá obtener datos del comportamiento de los subsistemas, de acuerdo con fórmula de cálculo de MTBF de fig. 1.6.7 se obtendrá tiempo medio entre fallas de los subsistemas del Motor Diésel

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento (TF)}}{\text{Número de fallas del equipo (NF)}}$$

Fig. 1.6.7 Fórmula Matemática para cálculo de MTBF.

Fuente: Fórmula obtenida desde Información técnica Minera Centinela.

Las horas de operación normal del activo durante el mes son 720 horas, junto a la cantidad de detenciones entre los meses de Enero y Septiembre se calcula el MTBF por subsistemas del Camión de Extracción 797 Caterpillar.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Lubricación		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	1	15,19
Febrero	2	11
Marzo	6	14
Abril	1	15
Mayo	3	20
Junio	2	30
Julio	3	13
Agosto	2	9
Septiembre	2	12
Total	22	139,19

Fig. 1.6.8 MTBF de subsistema de lubricación.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos.

El MTBF total del subsistema de lubricación es el siguiente:

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{22 \text{ Detenciones}} = 32,73 \text{ horas.}$$

22 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Combustible		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	0	0
Febrero	3	20,03
Marzo	4	19
Abril	0	0
Mayo	2	23
Junio	3	13,35
Julio	0	0
Agosto	1	18
Septiembre	2	15
Total	15	108,38

Fig.1.6.9 MTBF de subsistema de combustible.

Fuente: Elaboración propia.

La fig. 1.6.9 representa los MTBF del subsistema de combustible, entre los meses de Enero a Septiembre 2018 el cálculo de MTBF total de este subsistema es el siguiente:

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{15 \text{ Detenciones}} = 48 \text{ horas.}$$

15 Detenciones.

En fig. 1.7.0 el cálculo de MTBF del subsistema de refrigeración el resultado es:

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{11 \text{ Detenciones}} = 65,45 \text{ horas.}$$

11 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Refrigeración		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	2	25
Febrero	6	33
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	2	26
Junio	0	0
Julio	0	0
Agosto	0	0
Septiembre	1	11
Total	11	95

Fig. 1.7.0 MTBF de subsistema de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Arranque		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	2	24,07
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	1	15
Mayo	2	13
Junio	0	0
Julio	3	9,4
Agosto	0	0
Septiembre	1	23
Total	9	84,47

Fig. 1.7.1 MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel fig. 1.7.1.

MTBF: $\frac{720 \text{ (horas)}}{9} - 84,47 \text{ (horas)} = 70,61 \text{ horas.}$

9 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Admisión y Escape		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	2	20
Febrero	0	0
Marzo	1	19,65
Abril	2	13,03
Mayo	1	6,08
Junio	0	0
Julio	0	0
Agosto	1	5
Septiembre	1	2,1
Total	8	65,86

Fig. 1.7.2 MTBF subsistema de Admisión y Escape.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel fig. 1.7.2.

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{8} = 90 \text{ horas.}$$

8 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema Eléctrico 12 volt		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	0	0
Febrero	2	3,75
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	0	0
Junio	1	4
Julio	0	0
Agosto	0	0
Septiembre	2	4
Total	5	11,75

Fig. 1.7.3 Subsistema Eléctrico 12 volt.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel fig. 1.7.3.

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{5} = 144 \text{ horas.}$$

5 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema de Engrase		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	1	3,4
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	0	0
Junio	2	3,8
Julio	0	0
Agosto	1	3,3
Septiembre	0	0
Total	4	10,5

Fig. 1.7.4 Subsistema de Engrase.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel fig. 1.7.4.

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{4 \text{ Detenciones}} = 177,37 \text{ horas.}$$

4 Detenciones.

Sistema Motor Diesel Camión 12 Sub- Sistema Eléctrico 24 volt		
Mes	Cantidad Detenciones	Tiempos detención (horas)
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	1	2,04
Mayo	0	0
Junio	2	4,02
Julio	0	0
Agosto	0	0
Septiembre	0	0
Total	3	6,06

Fig. 1.7.5 MTBF Subsistema Eléctrico 24 volt.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de MTBF de subsistema de arranque de Motor Diésel fig. 1.7.5.

$$\text{MTBF: } \frac{720 \text{ (horas)}}{3 \text{ Detenciones}} = 237,98 \text{ horas.}$$

3 Detenciones.

En el siguiente capítulo se dará a conocer los dispositivos de monitoreo en tiempo real en donde el encargado del despacho permite tener el control de la flota durante la operación en área mina, cuando al activo presenta alguna detención es ingresada en un portal para luego obtener los indicadores de gestión de cada activo, con esta información el área de planificación puede generar ordenes de trabajos asociadas a los imprevistos y futuras mantenciones preventivas.

CAPITULO II “SISTEMAS DE MONITOREO”

2.1 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO JIGSAW

Hexagon Mining es una compañía que entrega soluciones de operaciones, planificaciones y seguridad, crea la solución de gestión minas Leica Jigsaw, es una empresa de origen suizo, en nuestro país tiene las oficinas se encuentran en Calle Magdalena 140, Oficina 202, Las condes, Santiago.

Jigsaw permite a la pequeña y mediana empresa permanecer en un lugar de prestigio en relación a la competencia manteniendo calidad de sus servicios, enfocada en todo momento en el negocio, este sistema de gestión trabaja con un sistema denominado JMINEOPS, consiste en un Sistema de Monitoreo de Operaciones Mineras, que permite en tiempo real recopilar información de los equipos, para la comunicación de datos deben existir conexión entre los equipos de campos que son instalados en los todos los equipos mineros , la sala de servidores y la oficina de despacho.

Jmineops utiliza un servidor centralizado, los datos de la operación minera se replican en tiempo real desde todos los equipos cada 5 segundos relacionado con posición actual de equipo, red de caminos actual, lugares de descargas, estado del operador, estado del equipo.

Desde la estación del operador se obtiene equipos instalados que permiten obtener sistema de posición global, Sistema de información vital para detectar peso, ciclo de carga del equipo, TPMS para pesos del equipo.

Component	Additional information
Red wireless	Red 802.11 para comunicarse con equipos de campo networks to communicate with field equipment.
Red corporativa	Provee acceso a los usuarios corporativos de Leica Jigsaw FMS despachadores /Administradores.
Equipos de campo	Se comunican con la aplicación en los servidores de Leica Jigsaw para proveer información de equipos de campo como estado de las maquinas ,localización GPS ,etc.
Servidores de aplicacion Jigsaw	Donde se encuentra JAMS (Leica Jigsaw Advanced Messaging System) software.
Servidor de reporte	Base de datos de reportes y funcionalidad del sistema.
Servidor de base de datos	Base de datos en tiempo real.
Fig. 2.1.1 Arquitectura Leica Jigsaw.	

Fuente: Información Obtenida desde Empresa Jigsaw.

Esta es la arquitectura del sistema de gestión o manejo de flota utilizada que permitirá obtener toda la información de la flota de camiones de extracción de mineral que transitan en el interior mina. (Fig. 2.1.1)

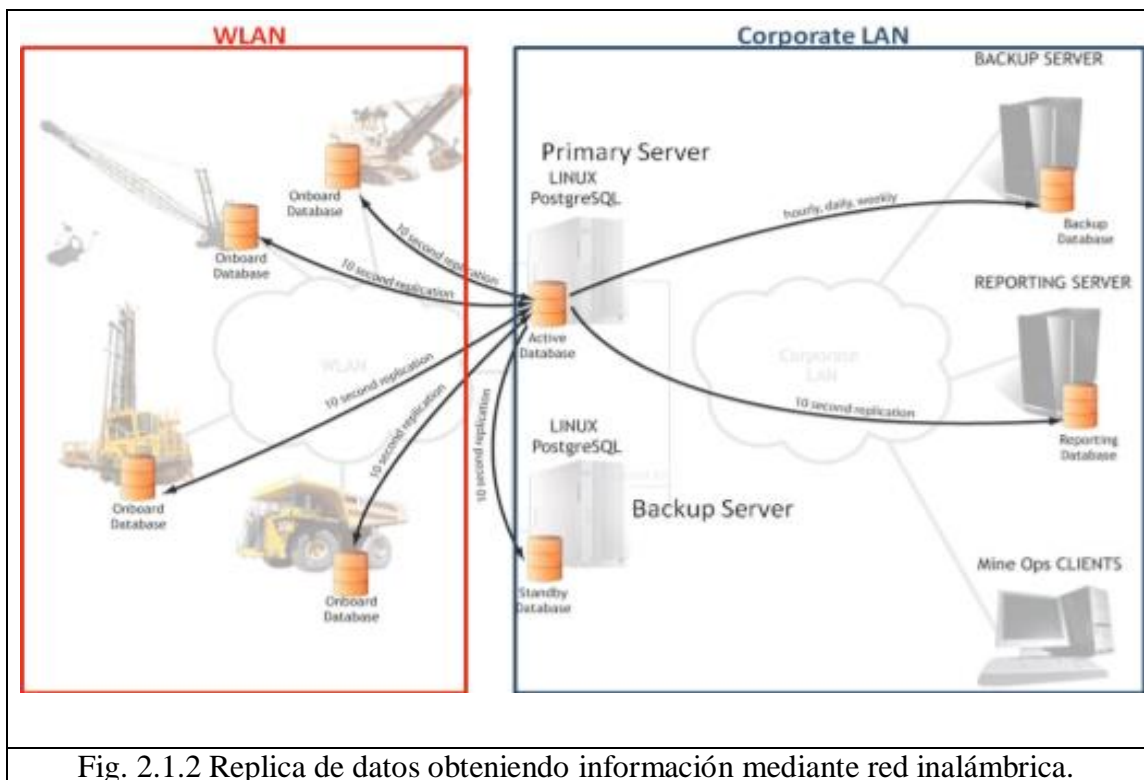


Fig. 2.1.2 Replica de datos obteniendo información mediante red inalámbrica.

Fuente: Información Obtenida desde Presentación Power Point Empresa Jigsaw.

Jigsaw posee un sistema de mensajes avanzado de Jigsaw, es un software que proporciona datos y con ello el sistema permitirá tomar decisiones basadas en la información entregada por los equipos de campo en conjunto con los servidores que replican datos mediante una red inalámbrica. (Fig. 2.1.2). Este sistema consta de un sistema de mensaje avanzado central (JAMS central) y otro sistema de mensaje avanzado en los equipos de campo (JAMS de campo).

El sistema de mensaje avanzado central o JAMS central está instalado en el servidor de aplicaciones Jigsaw que proporciona la lógica de negocio y procesamiento de sistema, y está compuesto por lo siguiente en fig. 2.1.3:

Componentes	información adicional
BD Central	BD Relacional. PostgreSQL o SQL Server 2005
Replicator	Sincroniza base de datos remota con base de datos central.
JMineOPS	Sistema que implementa la lógica del negocio
Web Server	Sistema que implementa la lógica del negocio
Optimizador	Asignación Óptima para acarreo de equipos.

Fig. 2.1.3 Componentes de JAMS central.

Fuente: Información Obtenida desde Empresa Jigsaw.

JAMS de campo es una base de datos, que trabaja directamente con la información obtenida desde VIMS, TPMS, de cada uno de los equipos, su módulo de réplica consta de lo siguiente según fig. 2.1.4:

Componentes	información adicional
BD abordó	una base de datos SQLite que almacena todos los datos relevantes requeridos por el equipo de campo
Replicador del cliente	Sincroniza la BD local con la central.
JMineOPS	Sistema que implementa la lógica del negocio
GPS	Interface con receptor externo.
VIMS	Interface con VIMS de CAT.
Asignación	Asignación dinámica implementando soluciones optimizadas.

Fig. 2.1.4 JAMS de campo.

Fuente: Información Obtenida desde Empresa Jigsaw.

El servidor utilizado en JAMS aloja la aplicación y datos de la base central, posee tres servidores físicos, un servidor primario, un servidor secundario y el tercer servidor es un servidor de reporte, en relación a las aplicaciones utilizadas existe un grupo que se detallan en la fig. 2.1.5 cada aplicación con funciones específicas dentro del monitoreo.

Aplicación	Información Adicional
JAMRouter	JAMRouter es el proceso ejecutable que se encarga de todas las comunicaciones de servidor de JAMS entre el servidor y el equipo de campo.
JAMCluster	JAMCluster gestiona reconexión / recuperación de procesos entre dos servidores de Jigsaw Leica que participan en una configuración de clúster.
JAMGateway	JAMGateway gestiona la actividad de las interfaces de red en los nodos del clúster.
JAMWeb	JAMWeb proporciona una interfaz web para mostrar información (Key Performance Indicators (KPI)) sobre los equipos de terreno.

Fig. 2.1.5 Aplicaciones JAMS.

Fuente: Información Obtenida desde Empresa Jigsaw.

Compañía Minera Centinela consta con una oficina de despacho, su función principal es de mantener el control de las operaciones existentes en el área mina, desde el ingreso de equipos menores al área mina y control de horarios de tronaduras.

A la vez permite al área de mantenimiento tener la información ingresada por el despachador mecánico relacionada al comportamiento de la flota de equipos de movimiento de tierra, para ello Jmineops ha creado un perfil de usuario denominado Cliente Jmineops.

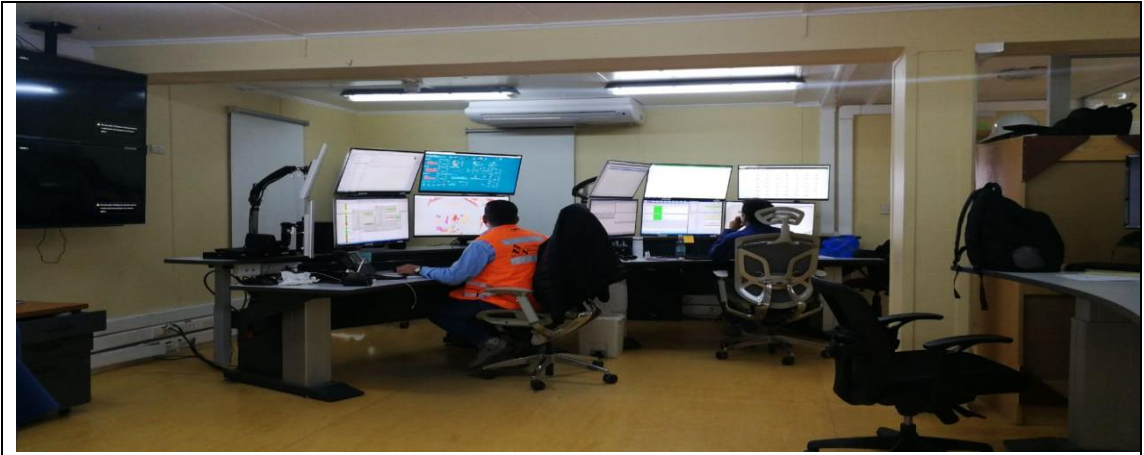


Fig. 2.1.6 Oficina de Despacho Área mina en Compañía Minera Centinela.

Fuente: Elaboración Propia Fotografía Tomada en oficinas de Despacho.

Cliente Jmineops permite a los operadores del área de despacho llevar a cabo sus funciones del control del área mina mediante una aplicación de Windows, cada usuario de acuerdo al cargo que tenga en la compañía tendrá mayor o menor privilegio en el ingreso de información al sistema. . (Fig. 2.1.6).

El gráfico del área mina que existe en la pantalla del Sistema Jmineops entrega información de la posición de los equipos (Fig. 2.1.7), visualizar y modificar rutas de los equipos, representación del estado de los equipos.

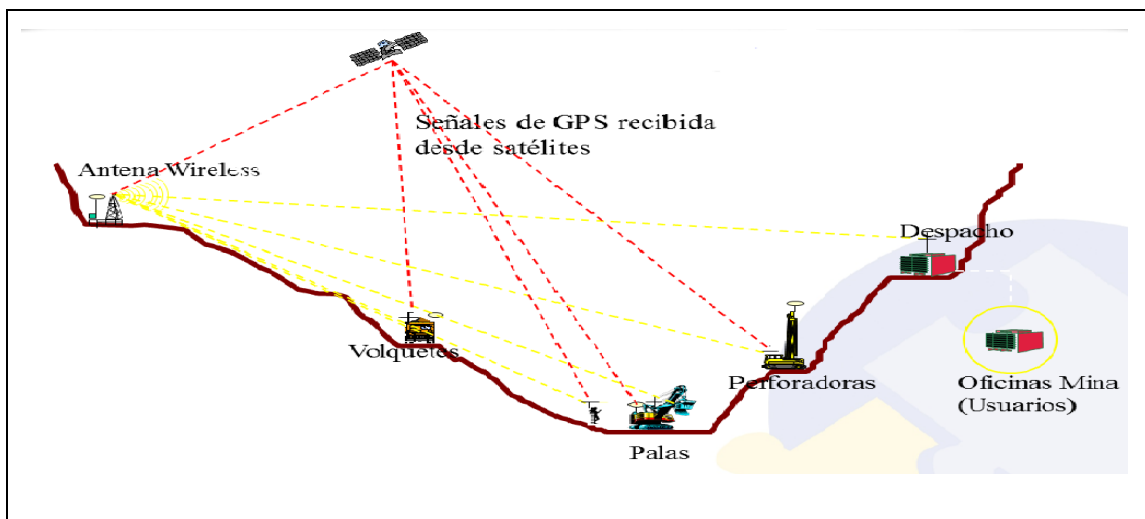


Fig. 2.1.7 Sistema de posicionamiento global usado en faenas mineras

Fuente: Información Obtenida desde Empresa Jigsaw.

El sistema de control de operaciones cuenta con un sistema de posicionamiento global (GPS) que permite visualizar la ubicación del equipo, el despachador ubicado en las oficinas de monitoreo pueda cambiar el circuito o la asignación de destino del equipo, a la vez el sistema guiará al despachador cual es la mejor ruta para los equipos de carguío.

El sistema JMINEOPS se divide en Módulos de acuerdo a toda la información que maneja el área de despacho mina (Fig. 2.1.8)

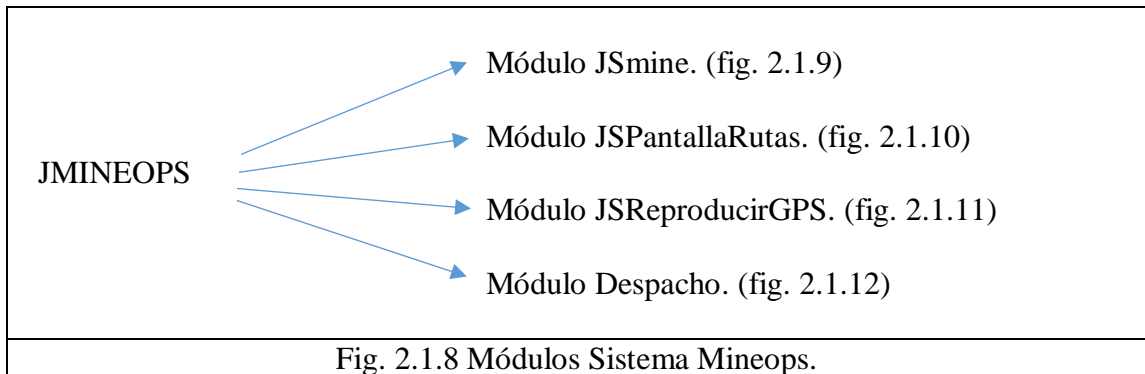


Fig. 2.1.8 Módulos Sistema Mineops.

Fuente: Información obtenida desde Empresa Jigsaw.

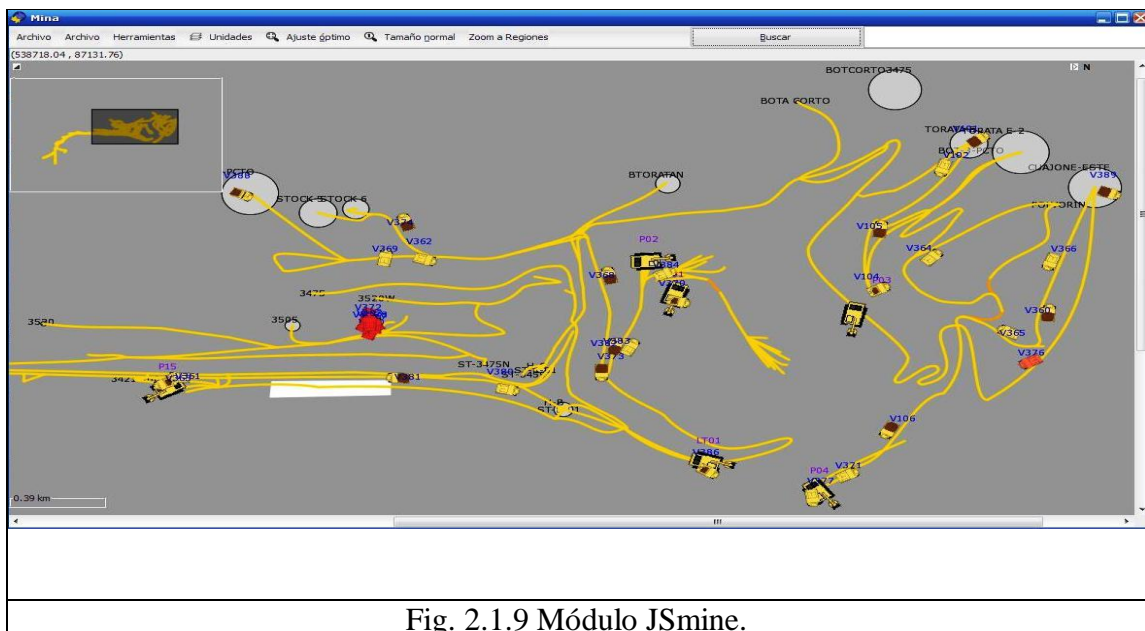


Fig. 2.1.9 Módulo JSmine.

Fuente: Fotografía obtenida desde Manual Sistema Jigsaw.

Módulo JSmine entrega información de todo el movimiento de los equipos de movimiento de tierra que se desplazan en el área mina.

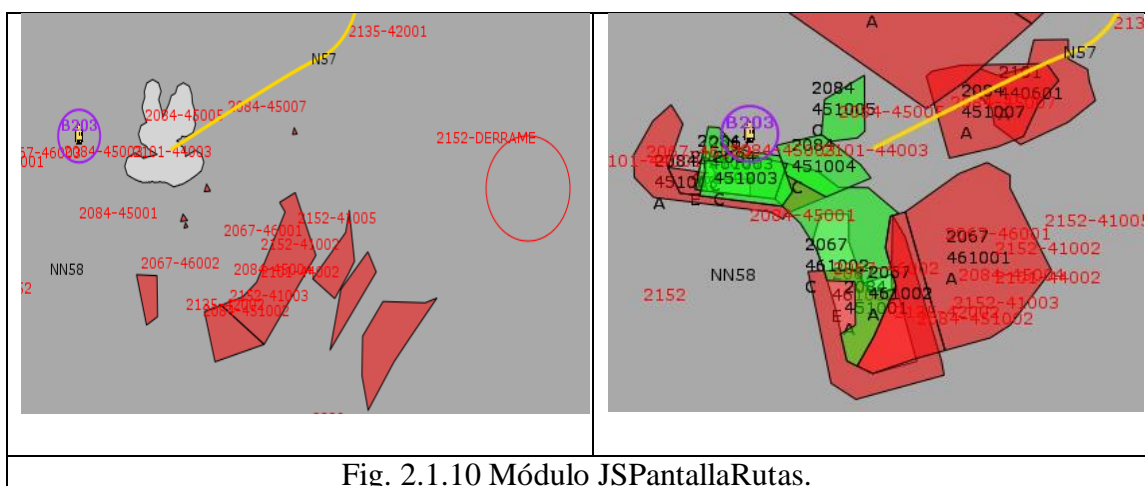


Fig. 2.1.10 Módulo JSPantallaRutas.

Fuente: Fotografía obtenida desde Manual Sistema Jigsaw.

Módulo JSPantallaRutas permitirá al despachador ver la ruta de acarreo del material realizada por los equipos, delimita zonas que son peligrosas tanto para la vida humana como para los equipos, permite cuantificar la cantidad de camiones de extracción asignados a un sector de la mina y con ello trasladar equipo hacia otro lugar del área mina.

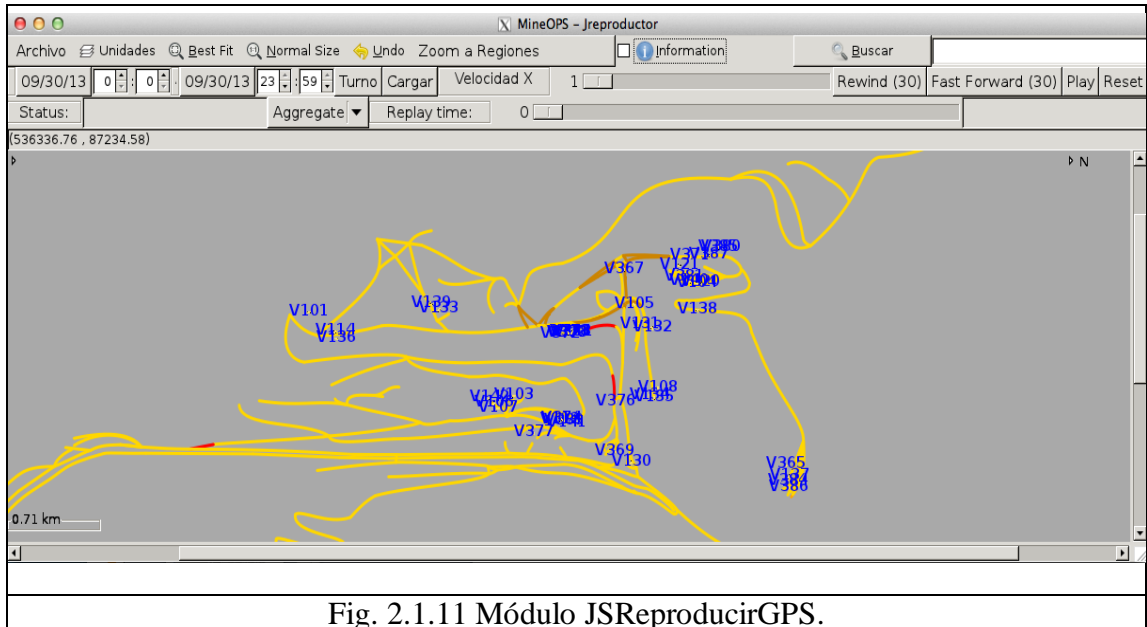


Fig. 2.1.11 Módulo JSReproducirGPS.

Fuente: Fotografía obtenida desde Manual Jigsaw.

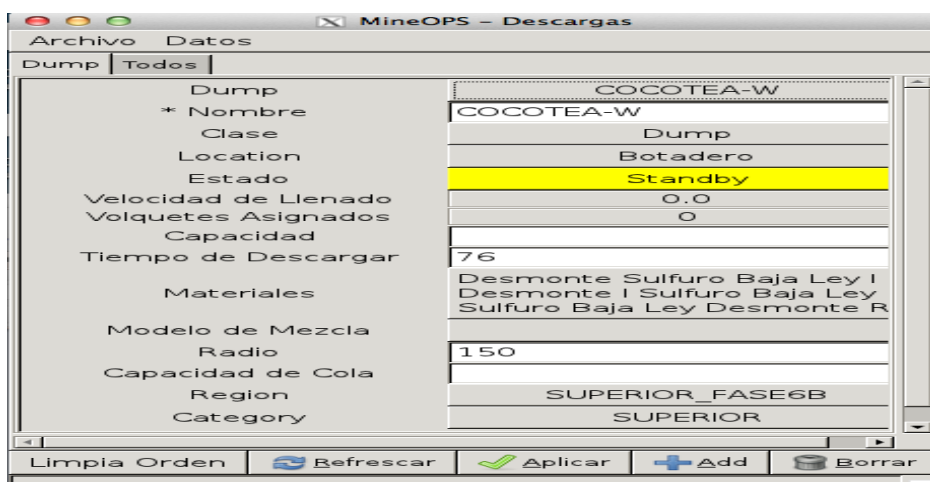
Módulo JSReproducirGPS realiza un seguimiento de los diferentes equipos para reconstruir el desplazamiento que tuvieron durante la jornada de trabajo a la vez permite filtrar datos por equipos relacionados a velocidades de desplazamiento, puntos de desplazamiento e identificándolos de acuerdo a su turno de trabajo.



Fig. 2.1.12 Equipos de Campo Jigsaw.

Fuente: Fotografía obtenida desde Manual Jigsaw.

Estos equipos de campos deben de estar instalados en cada uno de los camiones de extracción de mineral y en todos los equipos de movimientos de tierra que transitan en el interior mina para obtener toda la información del equipo y de sus sistemas (Fig. 2.1.12).



Pantalla de información de descarga de mineral.

Nombre	Estado/Codigo	Horometro	Comentario.....
C23	Mantención 1000 Avería	51323.94	Apoyo con aire en partida.
C40	Mantención 1003 Imprevisto operacional	38280.75	Traslado a taller por reparacion de escala de acceso impactada.
C41	Mantención 1000 Avería	38061.16	Evaluacion Transmision, Inspección de Rejillas se detecta Particulado mayor no Metálico, Espera de Resolución por Cambio de Transm
C43	Mantención 1000 Avería	37923.9	Cambio cilindro direccion izquierdo, exceso de holgura en punto 6.
C50	Mantención 1000 Avería	31825.0	Evaluación seguidor de leva UF 1R motor diesel.
C55	Mantención 1002 Imprevisto operacional	31177.3	Evaluacion, no aplica freno de traba.
C57	Mantención 363 Espera de repuestos	32210.0	Mantencion 1000 Horas.
RE3	Mantención 1000 Avería	10654.8	Espera repuesto motor tracción derecho
T06	Mantención 1001 amantención planificada	41458.6	Bajo nivel de hidraulico + evaluacion de gets por desgaste.
T08	Imprevisto operacional	26842.0	Vidrio puerta derecha quebrado.
WD3	Avería operaciones	60490.9	Evaluación de ruido anormal de transmisión

Pantalla de Alarmas por Equipos con Imprevistos.



Indices MTBF y MTRR

Fecha Inicial: 2018-02-01 - A

Fecha Final: 2018-02-28 - B

Flota	Equipo	Horas Operativa	Horas No Disponible	Cantidad	MTBF	MTRR
KOM PC 5500	PA26	542.10	6.95	4	135.53	1.74
	PA6	470.13	48.97	11	42.74	4.45
		1,012.23	55.93	15	67.48	3.73
KOM PC 8000	PA4	257.65	62.22	8	32.21	7.78
		257.65	62.22	8	32.21	7.78
P&H 4100 A	PA211	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		0.00	0.00	0	0.00	0.00
P&H 4100 XPC	PA1	581.52	51.74	28	20.77	1.85
	PA2	426.97	102.28	10	42.70	10.23
	PA3	555.68	41.09	10	55.57	4.11
	PA7	534.54	23.20	10	53.45	2.32
		2,098.70	218.31	58	36.18	3.76
CAT 994 D	CF203	385.68	81.60	17	22.69	4.80
		385.68	81.60	17	22.69	4.80
CAT 994 H	CF231	488.82	82.61	13	37.60	6.35
	CF232	474.62	32.49	15	31.64	2.17
	CF233	413.96	88.36	15	27.60	5.89
	CF234	241.13	18.15	10	24.11	1.82
		1,618.54	221.62	53	30.54	4.18
LT 2350	CF2	456.41	46.87	19	24.02	2.47
	CF3	411.37	93.99	4	102.84	23.50
		867.78	140.86	23	37.73	6.12

Indicadores KPI de equipos.

Fig. 2.1.13 Módulo Despacho.

Fuente: Información Obtenida desde Jigsaw en Minera Centinela.

Módulo de Despacho (fig. 2.1.13) permite obtener información real del camión de extracción Caterpillar, lugar donde debe realizar la carga y descarga de material, tiempos

de espera de carga de material, nivel de combustible, tonelaje, datos de indicadores de KPI del área de mantenimiento, y averías con horómetros de los equipos.

2.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para recolectar y analizar toda la información de indicadores de gestión KPI del Camión de Extracción 797 Caterpillar y de todos los equipos mineros que desempeñan funciones en el área mina se debe de ingresar al servicio de análisis de negocios que brinda **Microsoft Power BI**.

Power BI se inició en el año 2006 bajo el nombre de proyecto Gemini, más tarde se le conoce como Powerpivot, en el año 2012 se lanza Power view que permite visualizar datos, en el año 2013 Microsoft da a conocer Power Query que permitía transferir datos entre Excel y Powerpivot, en julio 2015 se lanza Microsoft Power BI que permite compartir, analizar, y transferir datos no importando el tipo de dispositivo mediante el siguiente enlace web.

Fuente: <https://www.pbiconsulting.pro/single-post/2017/04/21/Breve-Historia-de-Microsoft-Power-BI>

Microsoft Power BI es la solución orientada a nivel empresarial, permite unir distintas fuentes de datos, analizar datos para luego, representarlos a través de tablas o informes que puedan ser consultarlos de una manera muy fácil ingresando a un enlace vía internet como en Compañía Minera Centinela.

Este servicio de análisis permite obtener datos de gestión de los equipos para recopilar y visualizar la información de manera gráfica que permita al usuario entender de manera clara la información, el tipo de visualización depende del responsable o del personal a cargo en crear la representación los datos obtenidos diariamente mediante Power BI Desktop, para luego compartir la información dentro la Compañía Minera mediante un sitio web denominado Power BI Service, y por medio de una aplicación Power BI Mobile para equipos portátiles para ingresar a los datos en tiempo real. (Fig. 2.2.1).

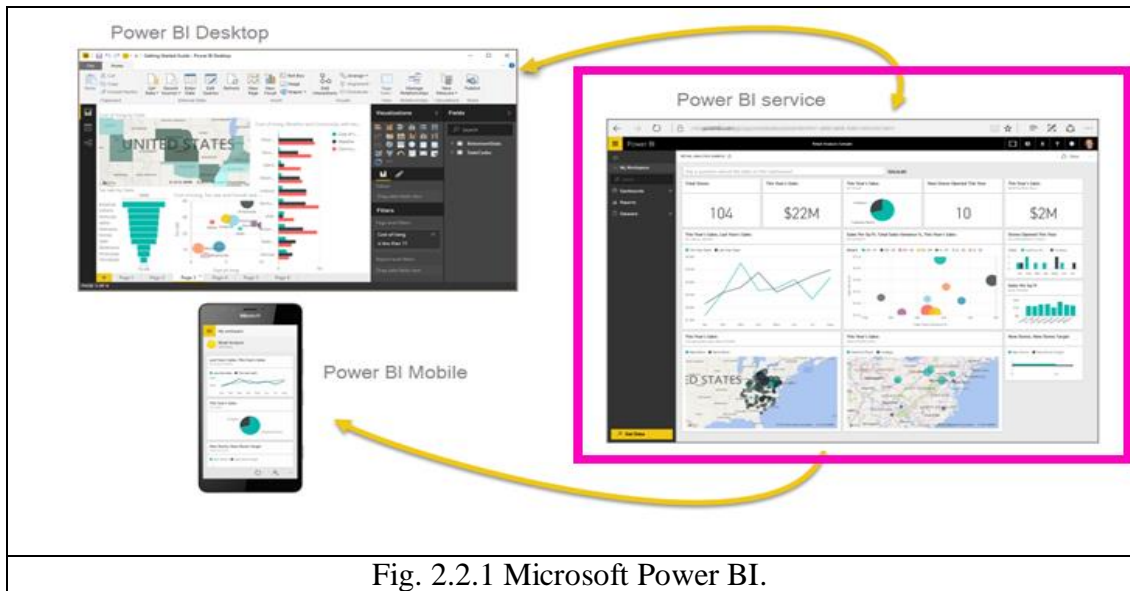


Fig. 2.2.1 Microsoft Power BI.

Fuente: Imagen obtenida desde enlace web <https://docs.microsoft.com/es-es/power-bi/power-bi-overview>.

En Compañía Minera Centinela Power BI recopila los indicadores de gestión diaria desde dos sectores estratégicos, algunos datos se obtiene de Sistema Leica Jigsaw en donde el encargado de despacho ingresa información de los equipos en tiempo real y otros datos de obtienen desde Sistema SAP relacionada con órdenes de trabajos de mantenimiento preventivo, horas de reparación de imprevistos y tiempos de detención de los activos.

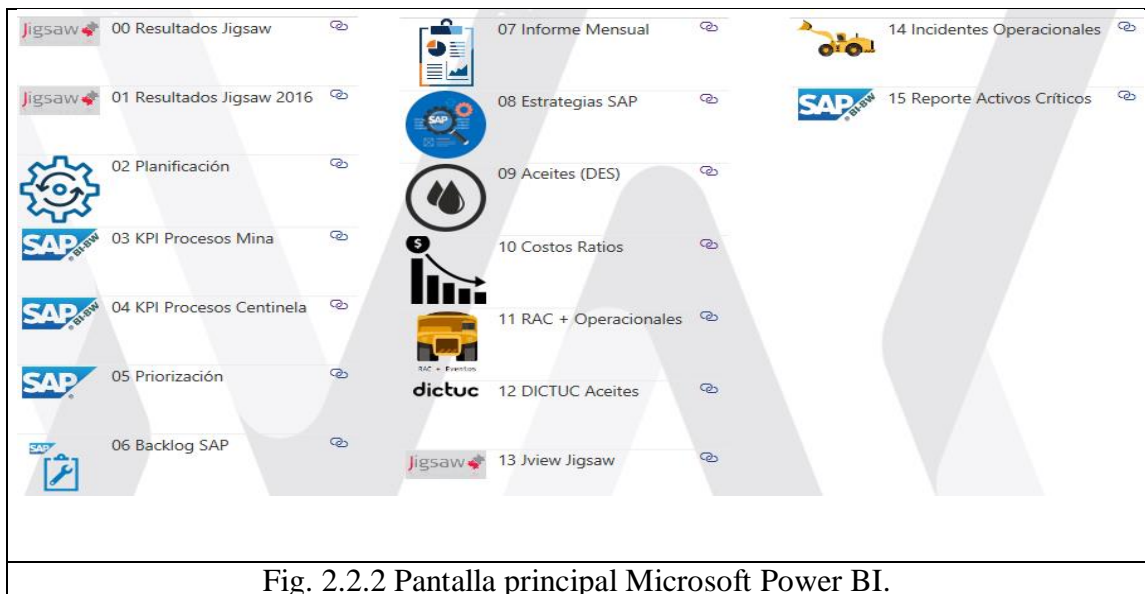


Fig. 2.2.2 Pantalla principal Microsoft Power BI.

Fuente: Imagen obtenida desde página principal Compañía Minera Centinela.

Al ingresar vía internet al enlace de donde se obtiene todos los indicadores de gestión de la Compañía Minera aparece esta página inicial en donde están reflejados todos los indicadores (Fig. 2.2.2), se observa que para obtener todos los indicadores de gestión existe un trabajo en común entre sistema Jigsaw y sistema SAP para entregar los datos como se indicaba anteriormente.



Fig. 2.2.3 Resultados Jigsaw.

Fuente: Imagen obtenida desde página principal Compañía Minera.

El usuario que desee conocer indicadores que entregan información en el primer ítem denominado **00 Resultados Jigsaw** de la pantalla principal de Microsoft Power BI (Fig. 2.2.2), aparecerá la siguiente pantalla que se muestra en la fig. 2.2.3 en su interior está con cuadros de colores para dar una explicación del contenido que presenta esta pantalla.

El cuadro de color rojo entrega de manera numérica indicadores de la flota de equipos que el usuario seleccione para conocer la disponibilidad, tiempo medio entre fallas, tiempo medio reparación, disponibilidad mecánica, disponibilidad física, útil efectiva de la flota, todos los indicadores se representan en un gráfico de acuerdo a fecha y equipo seleccionado.

El cuadro de color naranja están las flotas de equipos de movimiento de tierra, camiones de extracción, equipos de auxiliares, cargador frontal, palas hidráulicas y eléctricas, permitirá al usuario la flota que desea de analizar.

El cuadro de color azul es donde se selecciona las fechas que desea analizar, el cuadro de color morado se selecciona el origen de la demora del activo que puede ser por mantenimiento programado, imprevisto operacional, mantenimiento no programado, y por último en el cuadro amarillo está el detalle de las horas detenidas y los sistemas que provocaron la detención del equipo.

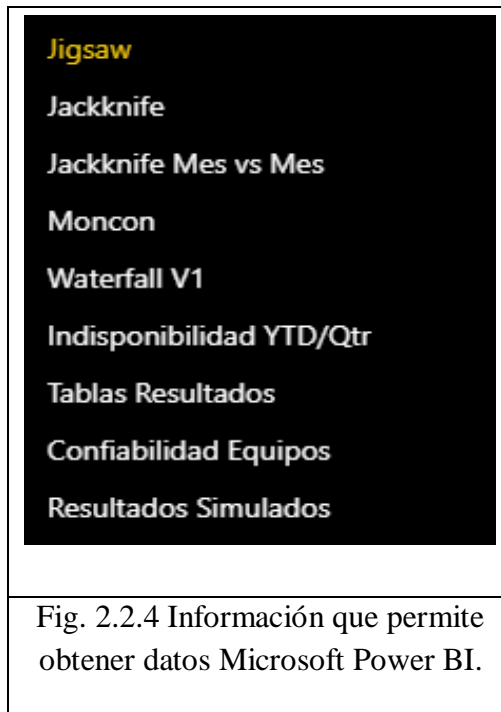


Fig. 2.2.4 Información que permite obtener datos Microsoft Power BI.

Fuente: Imagen obtenida página principal Compañía Minera.

En fig. 2.2.4 representa toda la información que se puede obtener desde la pantalla de Resultados Jigsaw que aparece en fig. 2.2.3, los 26 indicadores de resultados que aparecen en la pantalla principal de Microsoft Power BI son importantes para el grupo minero, pero existe uno de ellos que tiene directa relación en la programación de cambio de componentes de acuerdo a las horas de trabajo del equipo, esta información tiene gran importancia para el área encargada de la adquisición de repuestos que en conjunto con la empresa que presta servicio al área de mantenimiento permite coordinar la adquisición de repuestos o componentes de acuerdo a las horas de trabajo, ya que cada componente o repuestos poseen una vida útil de trabajo y con ello no llegar a realizar el cambio de componente cuando presente una falla catastrófica originada por no realizar el cambio cuando el sistema lo indicaba.



Fig. 2.2.5 Indicadores de Planificación.

Fuente: Imagen obtenida desde Microsoft Power BI.

El indicador de **Planificación** permitirá entregar la información descrita anteriormente, al ser seleccionado aparece la pantalla de la fig. 2.2.5.

El semáforo de componentes entrega datos en una tabla donde aparece el listado de los componentes mayores del camión de extracción de mineral, la frecuencia son las horas de trabajo en que el componente debe ser reemplazado, el contador entrega la horas de trabajo real del componente y el porcentaje de vida útil es el semáforo que cambiará de color de acuerdo a la diferencia que pueda existir entre la frecuencia y el contador. (fig. 2.2.6).

Denominación Componente	Frecuencia	Contador	% Vida Util
Barra Dirección Derecha	20000	19568	97,8 %
Barra Dirección Izquierda	20000	19568	97,8 %
Cilindro Dirección Derecho	14000	5478	39,1 %
Cilindro Dirección Izquierdo	14000	7481	53,4 %
Cilindro Levante Derecho	28000	21326	76,2 %
Cilindro Levante Izquierdo	28000	13919	49,7 %
Convertidor Torque	12000	316	2,6 %
Diferencial	20000	11108	55,5 %
Mando Bombas	18000	10929	60,7 %
Mando Final Derecho	20000	19413	97,1 %
Mando Final Izquierdo	20000	15936	79,7 %
Motor Diesel	12000	328	2,7 %
Radiador	12000	13929	116,1 %
Suspensión Maza Delantero Derecho	28000	4517	16,1 %
Suspensión Maza Delantero Izquierdo	28000	1018	3,6 %
Suspensión Trasero Derecho	18000	10156	56,4 %
Suspensión Trasero Izquierdo	18000	10156	56,4 %
Tolva	16000	12247	76,5 %
Transmisión	12000	5497	45,8 %

Fig. 2.2.6 Horas de trabajo de componentes.

Fuente: Imagen obtenida desde Microsoft Power BI.

2.3 REVISIÓN DE ACTIVIDADES DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN

El Departamento de planificación desempeña funciones administrativas en conjunto con el Departamento de Confiabilidad en Minera Centinela, están encargados de ingresar toda la información de Gestión del Departamento de Mantenimiento al sistema SAP más la información del Sistema Mineops Jigsaw, los datos ingresados se verán reflejados en Software Microsoft Power Jview donde se podrá ver todos los reportes de gestión diaria en tiempo real de la flota de Camiones Caterpillar, donde puede ingresar todos los trabajadores para visualizar la gestión del departamento. (fig. 2.3.1).

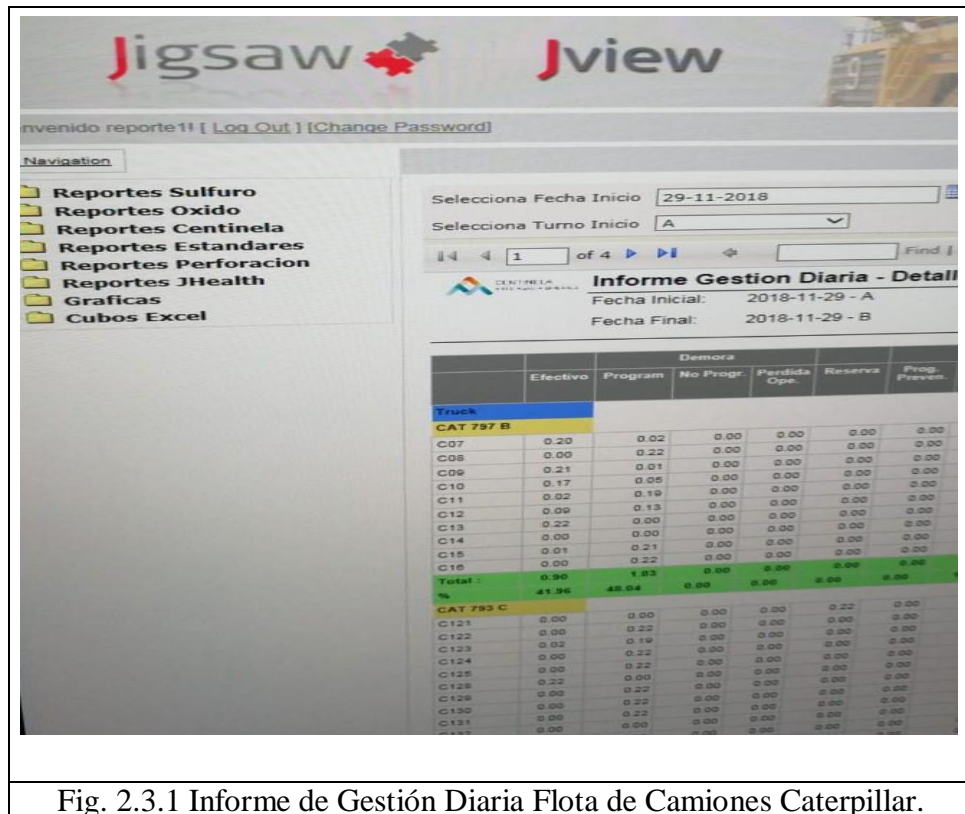


Fig. 2.3.1 Informe de Gestión Diaria Flota de Camiones Caterpillar.

Fuente: Imagen obtenida desde Jigsaw view.

Para ingresar a los reportes que se generan en Jview se debe de ingresar en la pantalla principal de Microsoft Power BI que está en la fig. 2.2.2, en el ítem denominado como **13 Jigsaw Jview**, al ser seleccionado se ingresa directo a la pantalla de Jview en donde el área de planificación y confiabilidad ingresan y generar reporte de acuerdo al área de interés.

Jview genera reportes en formato Excel, en donde los departamentos ingresan las modificaciones de acuerdo al comportamiento de la flota de equipos para luego ser reflejadas en los reporte de gestión diaria por flota como se indica en la fig. 2.3.2, en donde se detalla la flota de camiones, demoras programadas o no programadas originas por algún imprevisto o mantenimiento programado, se ingresan los tiempos de demora relacionados en espera de carguío para traslado de material, indicadores KPI, el reporte y los resultados del área de mantenimiento son generados diariamente en turno de 12 horas de trabajo, desde las 08 am hasta las 20 pm, en donde los datos se actualizan cada una hora.

La disponibilidad física diaria debe ser mayor o igual a 85%, los esfuerzos del departamento de mantenimiento es mantener todos los recursos enfocados en estos indicadores, tratando de lidiar a diario con los imprevistos y tener soluciones rápida cuando se presente esta condición.

	Demora				Mantenimiento				PO			% KPI			Produccion	Rend. Efectivo	
	Efectivo	Program	No Progr.	Perdida Ope.	Reserva	Prog. Preven.	Prog. Planificada	No Prog - Mant	No Prog. - Oper.	Total	Espera en Pala	Espera en Descarga	Disp. Fisica	Disp. Mecanica			Util. Efec. en Base Disp
Truck																	
CAT 797 B																	
C07	4.92	1.16	0.56	0.24	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	7.10	0.23	0.01	96.87 %	96.93 %	71.52 %	1,744.00	354.55
C08	4.02	0.88	1.03	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	7.10	0.23	0.27	90.45 %	100.00 %	62.53 %	3,093.00	770.25
C09	5.25	0.01	1.47	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.24	0.13	99.94 %	100.00 %	74.02 %	2,100.00	399.85
C10	4.90	1.15	0.18	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.82	0.04	99.94 %	100.00 %	69.08 %	2,762.00	563.51
C11	5.41	1.08	0.14	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.36	0.11	99.94 %	100.00 %	76.18 %	2,747.00	508.18
C12	0.79	0.13	0.00	0.02	0.00	6.16	0.00	0.00	0.00	7.10	0.02	0.00	13.20 %	13.20 %	84.23 %	355.00	449.84
C13	4.48	1.18	0.81	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.49	0.13	99.94 %	100.00 %	63.19 %	2,409.00	537.29
C14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.00	7.10	0.00	0.00	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00	0.00
C15	3.11	1.27	0.03	0.07	0.00	0.00	0.00	2.62	0.00	7.10	0.06	0.00	62.98 %	63.02 %	69.49 %	1,388.00	446.74
C16	4.27	1.64	0.57	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.41	0.21	99.94 %	100.00 %	60.12 %	2,083.00	488.27
Total :	37.14	8.50	4.79	3.76	0.00	6.16	0.00	9.94	0.67	70.96	2.85	0.91	76.37 %	77.31 %	68.54 %	18,681.00	503.00

Fig. 2.3.2 Indicadores de Gestión diaria Camiones 797 Caterpillar.

Fuente: Tabla de datos obtenidos desde Microsoft Power BI de Compañía Minera Centinela.

Planificación trabaja en un programa semanal (lunes a domingo) que envía a la jefatura de mantenimiento, en donde ingresan las mantenciones preventivas, tomas de muestras de aceites, inspecciones diarias, evaluaciones a equipos de alta data, los resultados se entregan semanalmente por flota y un listado de equipos que originaron una mayor cantidad de detenciones durante la semana (fig. 2.3.3)

Flota	Métrica	S-46	Metas Semana	Nov Acum	Meta Acum	Meta Mes	Budget Nov	EQUIPO	Horas	Descripción
797B (10)	Disp. Mecánica	88,3%	84,6%	85,4%	84,0%	84,0%	83,5%	C15	8,05	12/11_ Chequeo posición 4 por baja presión TTT
	Disp. Física	86,5%	83,2%	83,0%	82,7%	82,7%	82,7%	C09	5,06	13/11_ Fuga de aceite transmisión. Cambio línea carga transmisión
	Utilización	70,0%	75,0%	69,2%	75,0%	75,0%	75,0%	C07	11,58	14/11_ Evaluación, posición 4 despresurizada, cambio de neumático por corte en banda lateral.
	MTBF	46,7	50	36,3	50	50	50	C10	5,01	15/11_ Fuga línea enfriamiento convertidor, reparación de ducto por fuga.
797F (24)	Disp. Mecánica	85,2%	84,6%	84,2%	84,4%	84,4%	84,0%	C07	4,40	16/11_ Cambio línea de lubricación de transmisión por fuga.
	Disp. Física	82,4%	83,4%	82,2%	83,1%	83,1%	83,0%	C09	8,03	18/11_ Evaluación, fuga de nitrógeno en aro de posición 2.
	Utilización	72,3%	75,0%	71,8%	75,0%	75,0%	75,0%	C10	5,83	19/11_ Equipo no lee anillo en petrolera, espera a cambio de anillo turno A.
	MTBF	45,94	50	42,4	50	50	50	C18	15,93	12/11_ Alta temperatura freno trasero derecho // Cambio enfriadores de freno trasero.
797 (34)	Disp. Mecánica	86,1%	84,6%	84,6%	84,3%	84,3%	83,9%	C38	8,45	12/11_ Aislado por alta temperatura posición 5.
	Disp. Física	83,6%	83,3%	82,5%	83,0%	83,0%	82,9%	C46	7,81	12/11_ A-3. Baja presión bomba dirección, bomba freno y lubricación eje trasero // Falla crueta cardán PTO lado motor.
	Utilización	71,6%	75,0%	71,0%	75,0%	75,0%	75,0%	C48	10,92	13/11_ Baja potencia // Evaluación de turbos banco izquierdo, CAMBIO DE TURBO
	MTBF	46,2	50	40,4	50	50	50	C47	13,97	13/11_ Falla de GPS
930E (13)	Disp. Mecánica	89,5%	85,7%	87,8%	86,4%	86,2%	86,0%	C17	24,58	15/11_ posición 3 despresurizada, traslado a taller. cambio de posición 3 + cambio de aro posición 4.
	Disp. Física	87,9%	84,4%	86,0%	85,2%	85,0%	85,0%	C47	35,90	15/11_ Chequeo transmisión por saturación de filtro y eventos enganche up-shif 5-6, particulado de disco en filtros magnéticos, cambio de transmisión 6070 hrs.
	Utilización	69,4%	73,0%	68,1%	73,0%	73,0%	73,0%	C41	10,00	16/11_ Posición 5 despresurizada, cambio de posiciones 5 y 6 por impacto en banda rodado, cambio de posición 6 por paraamiento.
	MTBF	61,8	60	77,6	60	60	60	C46	7,51	17/11_ Pérdida de potencia UF#19 cilindro 19 FMI 7. + pipe de escape roto, traslado a taller por cambio de pipe escape.
793C (13)	Disp. Mecánica	85,5%	82,7%	84,8%	84,8%	84,3%	84,2%	C22	10,46	18/11_ Evaluación de posición 6 por fuga de nitrógeno, equipo se aísla por 4 horas por alta temperatura.
	Disp. Física	84,7%	81,7%	82,2%	82,9%	82,4%	82,4%	C32	7,80	18/11_ Alarma baja presión de freno secundario. se revisan acumuladores de frenos, repara corte eléctrico en línea de alimentación sensor presión de frenos
	Utilización	58,2%	65,0%	59,1%	68,0%	68,0%	68,0%	C44	7,48	18/11_ Chequeo de posición 5 por desprendimiento de hombros. equipo derivado aislación por temperatura e posición 5, posterior 4 horas chequeo de temperatura.
	MTBF	43,3	35	45,9	35	35	35			
793F (13)	Disp. Mecánica	87,2%	84,0%	87,9%	84,2%	84,2%	84,2%			
	Disp. Física	84,7%	83,0%	85,8%	82,6%	82,6%	82,6%			
	Utilización	62,2%	65,0%	61,2%	68,0%	68,0%	68,0%			
	MTBF	54,8	35	60,8	35	35	35			
793 (26)	Disp. Mecánica	86,4%	83,3%	86,3%	84,5%	84,2%	84,2%			
	Disp. Física	83,7%	82,3%	84,0%	82,7%	82,6%	82,6%			
	Utilización	60,2%	65,0%	60,2%	68,0%	68,0%	68,0%			
	MTBF	48,5	35	52,6	35	35	35			

Figura 2.3.3 Resultados de gestión Semana 46 generado por Área de planificación.

Fuente: Reporte semanal enviado a correo corporativo Compañía Minera.

Una importante participación tiene el área planificación al momento de programar un cambio de componente, tienen la responsabilidad de solicitar lo necesario para que mantenimiento ejecute el trabajo, deben tener claridad de los tiempos de ejecución del trabajo, ya que una estimación incorrecta del trabajo podría originar un retraso que

afectaría directamente a la gestión y al movimiento de mineral del área mina, todo asociado a una pérdida económica.

Cuando ejecución observa alguna anomalía en los equipos durante el mantenimiento preventivo, la supervisión informa a planificación para programar la inspección por el departamento de ingeniería y de acuerdo a esa evaluación dar prioridad en una futura pauta de mantenimiento o si es necesario solucionar la anomalía de manera anticipada.

Al analizar algunas pautas de cambio de componentes que realiza el departamento de ingeniería y planificación de acuerdo a Carta Gantt (fig. 2.3.4), en ella se ha programado una cantidad de actividades que debe de ejecutar el área de mantenimiento, ejecución ha encontrado detalles al realizar la recopilación de órdenes de trabajos, por ejemplo, falta de herramientas, accesorios faltantes para la instalación del componente, provocando un retraso en la entrega del equipo al área de operaciones mina.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	ITEM	FECHA	HORA	Orden	TEXTO OPERACIÓN	EQUIPO	FECHA TERMINC	HORA TERMINC
1	1	8/20/2018	8:30:00 AM	1110787	MC cambiar reten	Camión Extracción Caterpillar 797 N12	8/21/2018	7:30:00 P
2	2	8/20/2018	8:30:00 AM	1125930	MC cambio filtros sist. hidráulico.	Bulldozer Caterpillar D10T N3	8/20/2018	11:30:00 A
3	3	8/20/2018	8:30:00 AM	686006	RETIRO DE NEUMÁTICO	Camion Extraccion Caterpillar 797B N10	8/20/2018	12:30:00 P
4	4	8/20/2018	8:30:00 AM	1180714	MP ELECTROMECÁNICA PASO #05 1750 HRS	Camion Extraccion Caterpillar 797F N34	8/20/2018	7:30:00 P
5	5	8/20/2018	8:30:00 AM	1180714	REPARACIÓN DE FUGAS	Camion Extraccion Caterpillar 797F N34	8/20/2018	7:30:00 P
6	6	8/20/2018	8:30:00 AM	1176934	Check list diario Lunes	Cargador Caterpillar 994D N203	8/20/2018	10:30:00 A
7	7	8/20/2018	8:30:00 AM	1180248	Dimensionado y corte de plancha blindaje	Taller de Camiones	8/20/2018	11:00:00 P
8	8	8/20/2018	8:30:00 AM	1180725	Housekeeping Taller de Camiones Central	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
9	9	8/20/2018	8:30:00 AM	1180725	Energía Cero, Apoyo empresa colaboradora	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
0	10	8/20/2018	8:30:00 AM	1180726	ACTIVIDADES MANTENCIÓN TERRENO LUNES	Taller de Camiones	8/20/2018	10:00:00 A
1	11	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Lider de Proceso	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
2	12	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Apoyo SAP	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
3	13	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Despachador Mecanico	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
4	14	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Control de Contaminantes	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
5	15	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Asesor Tecnico	Taller de Camiones	8/27/2018	8:00:00 A
6	16	8/20/2018	8:30:00 AM	1184193	Análisis de datos Ingeniería	Taller de Camiones	8/26/2018	7:30:00 P
7	17	8/20/2018	8:30:00 AM	1165681	MC testear sistema de enfriamiento ejes	Wheeldozer Caterpillar 834H N4	8/20/2018	12:00:00 P
8	18	8/20/2018	8:30:00 AM	1178535	Cambio espejo retrovisor derecho	Wheeldozer Caterpillar 834H N4	8/20/2018	9:30:00 A
9	19	8/20/2018	9:00:00 AM	1167990	INSPECCIÓN GENERAL	Camion Extraccion Caterpillar 797B N08	8/20/2018	11:00:00 A
0	20	8/20/2018	9:00:00 AM	1152508	INSPECCIÓN GENERAL	Motoniveladora Caterpillar 24M N6	8/20/2018	11:00:00 A
1	21	8/20/2018	9:30:00 AM	951262	PD Mal estado apoya espalda asiento	Wheeldozer Caterpillar 834H N4	8/20/2018	11:30:00 A
2	22	8/20/2018	#####	1130834	MJ Muestra aceite motor 230H (Est 350H)	Motoniveladora Caterpillar 24M N4	8/20/2018	11:00:00 A
3	23	8/20/2018	#####	1167990	ANÁLISIS DE DATOS INSPECCIÓN	Camion Extraccion Caterpillar 797B N08	8/20/2018	4:30:00 P
4	24	8/20/2018	#####	1158121	INSPECCIÓN GENERAL	Camion Extraccion Caterpillar 797F N23	8/20/2018	1:00:00 P
5	25	8/20/2018	#####	1147431	MP CAMBIO DE ACEITE EJE TRASERO 4000 HRS	Camion Extraccion Caterpillar 797F N34	8/20/2018	3:30:00 P
6	26	8/20/2018	#####	1152508	ANÁLISIS DE DATOS INSPECCIÓN	Motoniveladora Caterpillar 24M N6	8/20/2018	4:30:00 P

Fig. 2.3.4 Carta Gantt.

Fuente: Información obtenida de correo corporativo Compañía Minera.

Cuando es necesario realizar un cambio de componente programado por planificación y programación, deben de considerar todo lo necesario para ejecutar el trabajo, teniendo claro los tiempos de demora de llegada de los componentes a faena por parte de Empresa Colaboradora Finning Chile S.A, para calcular aproximadamente el tiempo en que estará detenido el activo, pero este inconveniente ha generado retrasos en la entrega del equipo debiendo de reprogramar los trabajos de ejecución originando costos asociado a la detención debido a la no entrega en la fecha estipulada en área de operaciones mina.

En carta Gantt de la fig. 2.3.4 una de las primeras actividades que debe ejecutar mantenimiento es reemplazar el retén de motor delantero, el trabajo a realizar se detalla en sistema SAP en fig. 2.3.5.

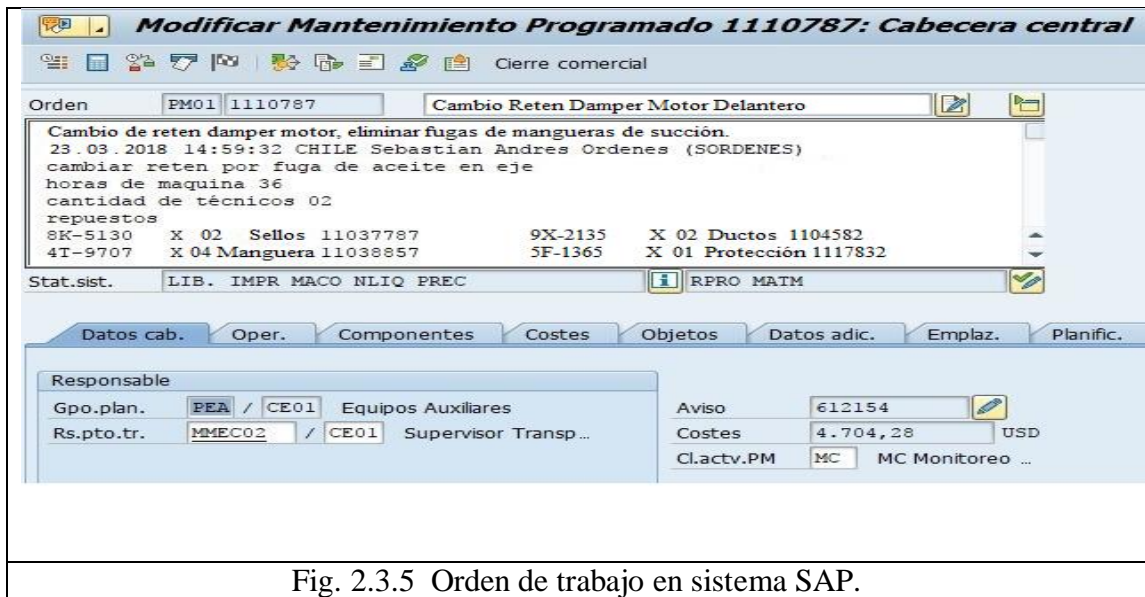


Fig. 2.3.5 Orden de trabajo en sistema SAP.

Fuente: Imagen obtenida desde Sistema SAP Minera Centinela.

Están asignadas la hora de trabajo, cantidad de mantenedores, repuestos y costos en dólares de la ejecución de trabajo, pero al momento de ingresar el camión de extracción al taller de mantenimiento para ejecutar la actividad, personal de mantenedores se trasladan a bodega que suministra los repuestos a mantenimiento pero observan el listado de materiales que existen algunos faltantes que impedían llevar a cabo la actividad, se informa a jefatura y al departamento de planificación y se coordina que el trabajo debe de ser reprogramado cuando se encuentren todos los repuestos para la actividad. (Fig. 2.3.6)

Mantenimiento					Detalle			
DURACION	Nº TECNICOS	PUESTO EJECUTOR	TRABAJO EJECUTADO	ADHERENCIA	DETALLE	RESPONSABLE	FLOTA	OTRO RPRO
28.5	3	MINMEC02	NO	NO	REPROGRAMADO, BACKLOG INCOMPLETO, PLANIFICACION DEBE SOLICITAR REPUESTOS POR CAMBIO DE RETEN PARA AMBOS BASTIDORES, BODEGA FINNING SOLO TIENE DISPONIBLE REPUESTOS ASOCIADOS A UN BASTIDOR.	PLANIFICACION	FLOTA B	RPRO
4.0	1	MINMEC02	SI	SI			BULL	
4.0	4	MEXMEC10	SI	SI			FLOTA B	
9.5	4	MINMEC02	SI	SI			FLOTA F	
9.5	2	MINMEC02	SI	SI			994D	
2.0	2	MINMEC02	SI	SI			TALLER	
12.0	2	MEXSOLO9	NO	NO	EN PROCESO		TALLER	
133.0	2	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
133.0	1	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
1.5	12	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
133.0	1	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
133.0	1	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
133.0	1	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
133.0	1	MINMEC02	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
66.5	1	MININP01	SI	SI	EN PROCESO		TALLER	
3.5	2	MINMEC02	SI	SI			WHEEL	
1.0	1	MINMEC02	SI	SI			WHEEL	
2.0	2	MININP01	SI	SI			FLOTA B	
2.0	2	MININP01	SI	SI			MOTO	
2.0	2	MININP01	SI	SI			WHEEL	
2.0	1	MINMEC02	SI	SI			MOTO	
1.0	1	MINMEC02	NO	NO	PENDIENTE		MOTO	
4.0	1	MININP01	SI	SI	EN PROCESO		FLOTA B	
2.0	2	MININP01	SI	SI			FLOTA F	
3.0	2	MINMEC02	SI	SI			FLOTA F	
4.0	1	MININP01	SI	SI			MOTO	

Fig. 2.3.6 Reprogramación actividad Departamento Mantenimiento.

Fuente: Imagen obtenida desde reporte departamento planificación.

La no ejecución del trabajo programado origina costos negativos asociados en el movimiento de mineral, lo que afecta aún más, el área de mantenimiento pierde un poco de credibilidad y confianza hacia nuestros clientes del área de operaciones mina ya que el equipo tuvo que ser desplazado del interior mina hacia taller en donde no se realizó lo programado.

KPI		Inicio Semana		Lunes, 15 de Abril de 2018							
		Término Semana		15-abr	16-abr	17-abr	18-abr	19-abr	20-abr	21-abr	Acum. Sem
MINA	Cant										
Flota Palas Eléctricas 4100XPC	4	Real	Plan	72.75%	65.35%	52.13%	62.42%	72.74%			65.1%
		AD	AD	68.50%	68.50%	47.52%	66.32%	68.50%	68.50%	52.47%	68.5%
Flota Palas Hidráulicas PC5500	2	Real	Plan	59.11%	48.45%	85.12%	69.45%	90.50%			70.5%
		AD	AD	45.20%	84.97%	85.94%	83.04%	83.04%	83.04%	83.04%	65.1%
Flota Palas Hidráulicas PC8000	1	Real	Plan	100.00%	88.50%	100.00%	65.98%	66.36%			84.2%
		AD	AD	65.00%	65.00%	65.00%	65.00%	65.00%	65.00%	65.00%	65.0%
Flota Cargadores Frontales L2350	2	Real	Plan	93.60%	52.75%	48.87%	71.23%	82.15%			69.7%
		AD	AD	85.91%	80.05%	46.85%	85.91%	80.05%	46.85%	85.91%	83.0%
Flota Cargadores Frontales 994H	4	Real	Plan	74.17%	69.33%	73.69%	59.97%	66.23%			68.7%
		AD	AD	66.39%	65.37%	66.39%	65.61%	87.82%	88.72%	76.00%	65.9%
Flota Perforadoras Prod. DMM3	3	Real	Plan	93.00%	84.31%	93.31%	80.02%	65.84%			83.3%
		AD	AD	82.94%	81.75%	82.94%	54.39%	82.34%	60.34%	83.53%	82.3%
Flota Perforadoras Prod. PV351	4	Real	Plan	100.00%	90.33%	95.49%	81.92%	100.00%			93.5%
		AD	AD	90.56%	77.55%	70.54%	90.56%	89.60%	90.56%	76.40%	84.1%
Flota Camiones CAT 797B/F	34	Real	Plan	81.14%	81.75%	82.83%	85.87%	87.19%			83.8%
		AD	AD	83.07%	83.32%	83.32%	83.51%	82.77%	83.11%	83.12%	83.2%
Flota Camiones Komatsu 930E	13	Real	Plan	86.96%	92.54%	81.56%	83.89%	88.31%			86.7%
		AD	AD	87.43%	80.79%	85.47%	85.32%	85.02%	85.02%	87.13%	84.1%
Flota Camiones CAT 793C/F	26	Real	Plan	79.01%	74.90%	78.40%	79.09%	76.00%			77.5%
		AD	AD	83.75%	86.70%	81.45%	81.88%	84.68%	81.40%	84.23%	85.2%

Fig. 2.3.7 Informe de Gerente Mantenimiento.

Fuente: Extracto de información enviada a correo corporativo Minera Centinela.

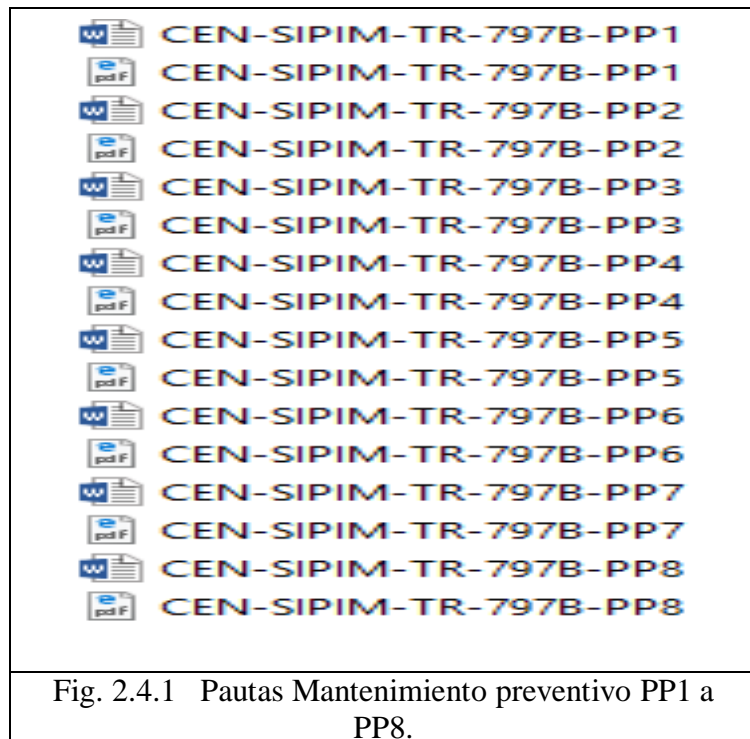
Es de vital importancia como mantenimiento ser confiable hacia los clientes, para ello el superintendente envía semanalmente los reportes para que cada área de mantenimiento revise sus indicadores en conjunto con su grupo de trabajo y buscar mejoras en el tiempo pero a corto plazo. (fig. 2.3.7)

2.4 ANÁLISIS DE PAUTAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es parte fundamental para proteger y cuidar el activo en el tiempo, evitando imprevistos y detenciones no programadas que afectan a los indicadores de disponibilidad.

El Camión de Extracción de Mineral tiene una vida útil de 16 años de operación en esta Compañía minera, las pautas de mantenimiento preventivo son generadas de manera automática por el departamento de planificación de acuerdo con la programación semanal

de trabajos que debe realizar el departamento de mantenimiento, estas mantenciones preventivas se realizan cada 250 horas del equipo, las cuales se dividen en ocho pautas de mantenimiento que van desde PP1 a PP8 (Fig. 2.4.1) cada una de ellas en 250 horas hasta las 2000 horas.



Fuente: Información Almacenada en intranet Minera Centinela.

La mantención preventiva se realiza por 02 mantenedores mecánicos, 01 mantenedor electricista, el tiempo en que se realiza el mantenimiento es de 9,5 horas, con un total de horas por los 03 mantenedores de 28,5 horas.

El costo total por los 03 mantenedores es de \$1019,02 USD, y el costo por material o repuestos utilizados en el mantenimiento es de \$5060,6 USD.

Inicialmente se observa que los trabajos de mantenimiento que se ejecutan en las pautas se asemejan bastante entre ellas, se analizarán cada una de las pautas y los resultados se enfocarán solamente en dos pautas de mantenimiento de 250 y 750 horas.



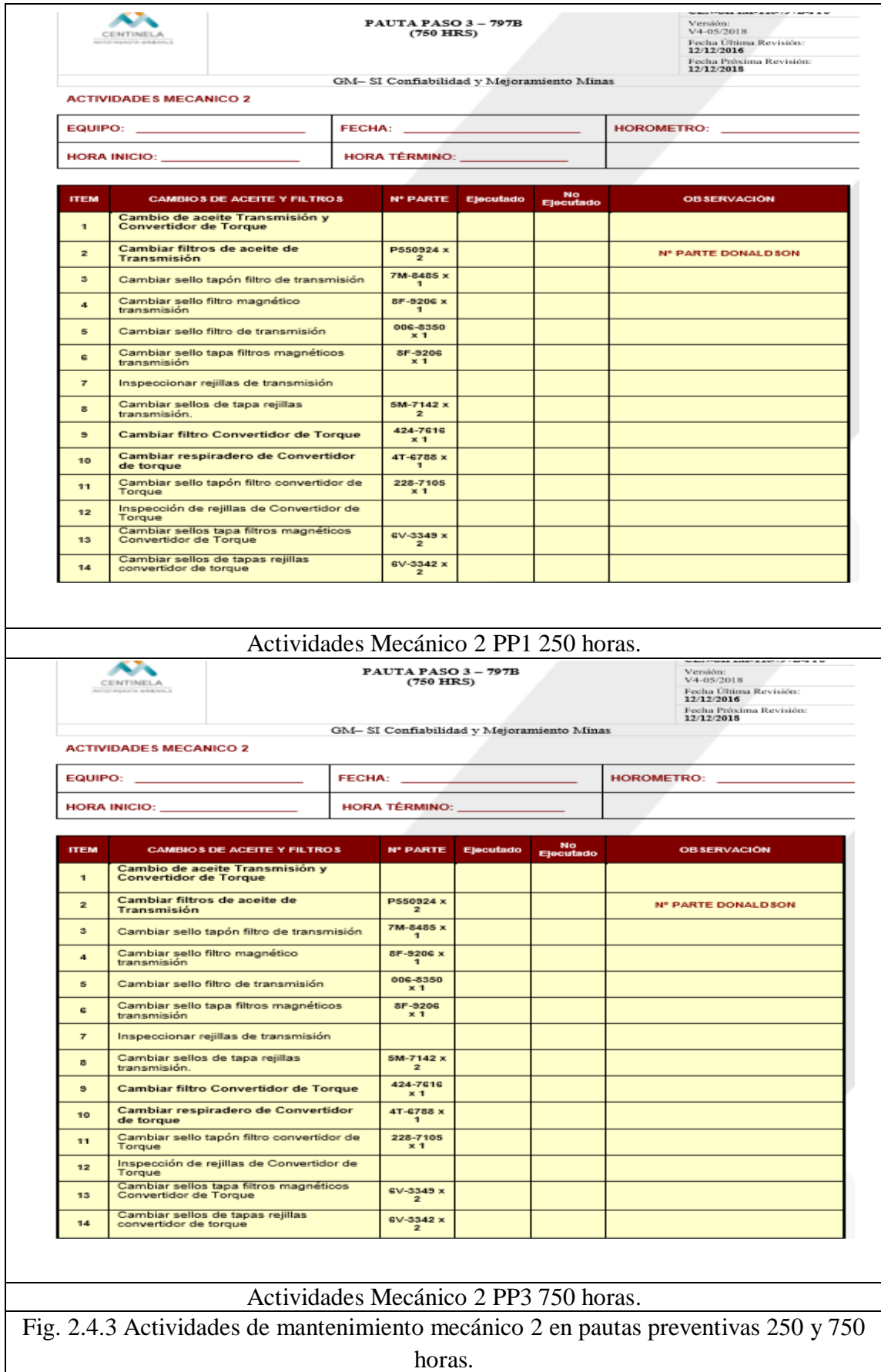
		PAUTA PASO 1 – 797B (250 HRS)		CEN-SIPIM-TR-797B-PP1 Versión: V4-05/2018 Fecha Última Revisión: 12/12/2016 Fecha Próxima Revisión: 12/12/2018	
GM– SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas					
1.- ACTIVIDADES MECANICO 1					
EQUIPO: _____		FECHA: _____		HOROMETRO: _____	
HORA INICIO: _____		HORA TÉRMINO: _____			
ITEM	CAMBIO S DE ACEITE Y FILTROS MOTOR	N° PARTE	Ejecutado	No ejecutado	OB SERVACIÓN
1	Cambiar aceite a motores diésel (15W40)	210 LT C/U			
2	Cambiar filtros de aceite motor diésel	P551808 x 6			N° PARTE DONALDSON
3	Cambio de filtros de aire primarios	P182038 x 5			N° PARTE DONALDSON
4	Cambiar filtros de aire secundarios	P115070 x 5			N° PARTE DONALDSON
5	Cambiar filtro de combustible primario	222-6713 x 1			
6	Cambiar filtro de combustible secundario	P551316 x 4			N° PARTE DONALDSON
7	Cambiar aceite a conjunto Coupling				
8	Inspeccionar mallas de conjunto Coupling				
9	Cambiar filtro de aceite Coupling	ELF7405 x 1			N° PARTE DONALDSON
10	Lavar respiraderos de motores diésel				
11	Lavar respiraderos de Coupling				
12	Cambiar respiradero estanque combustible	4T-6785 x 1			
13	Revisión visual de ductos de admisión y escape según adjunto 1				
Actividades Mecánico 1 PP1 250 horas.					
		PAUTA PASO 3 – 797B (750 HRS)		CEN-SIPIM-TR-797B-PP3 Versión: V4-05/2018 Fecha Última Revisión: 12/12/2016 Fecha Próxima Revisión: 12/12/2018	
GM– SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas					
1.- ACTIVIDADES MECANICO 1					
EQUIPO: _____		FECHA: _____		HOROMETRO: _____	
HORA INICIO: _____		HORA TÉRMINO: _____			
ITEM	CAMBIO S DE ACEITE Y FILTROS MOTOR	N° PARTE	Ejecutado	No ejecutado	OB SERVACIÓN
1	Cambiar aceite a motores diésel (15W40)	210 LT C/U			
2	Cambiar filtros de aceite motor diésel	P551808 x 6			N° PARTE DONALDSON
3	Cambio de filtros de aire primarios	P182038 x 5			N° PARTE DONALDSON
4	Cambiar filtros de aire secundarios	P115070 x 5			N° PARTE DONALDSON
5	Cambiar filtro de combustible primario	222-6713 x 1			
6	Cambiar filtro de combustible secundario	P551316 x 4			N° PARTE DONALDSON
7	Cambiar aceite a conjunto Coupling				
8	Inspeccionar mallas de conjunto Coupling				
9	Cambiar filtro de aceite Coupling	ELF7405 x 1			N° PARTE DONALDSON
10	Lavar respiraderos de motores diésel				
11	Lavar respiraderos de Coupling				
12	Cambiar respiradero estanque combustible	4T-6785 x 1			
13	Revisión visual de ductos de admisión y escape según adjunto 1				
Actividades Mecánico 1 PP3 750 horas					

Fig. 2.4.2 Actividades de Mantenimiento Mecánico 1 en pautas mantenimiento 250 y 750 horas.


Fuente: Extracto obtenidos de intranet Minera Centinela.

Las pautas de mantenimiento fueron confeccionadas inicialmente de acuerdo a la información entregada por el fabricante del equipo, en sus inicios en la operación el activo no presentó fallas significativas.


En el transcurso de los años los equipos tienden a presentar una mayor cantidad de imprevistos, por ello se deben de buscar mejoras en las pautas del equipo, tanto para mantener el ciclo de vida del activo y que satisfaga las necesidades del negocio.



En fig. 2.4.2; 2.4.3; y 2.4.4 está parte de las pautas de mantenimiento de 250 horas y 750 horas, esto permite analizar las actividades que debe llevar a cabo cada mantenedor mecánico y eléctrico, se observan que las actividades se repiten en cada pauta de mantenimiento, pero de acuerdo a los indicadores de gestión KPI reflejados en Microsoft Power BI existen sistemas críticos del camión de extracción que originan bajos indicadores de acuerdo al target estipulado por la compañía.

		PAUTA PASO 1 – 797B (250 HRS)		Versión: V4-05/2018 Fecha Última Revisión: 12/12/2016 Fecha Próxima Revisión: 12/12/2018	
GM– SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas					
ACTIVIDADES ELECTRICICO 1					
EQUIPO: _____		FECHA: _____		HOROMETRO: _____	
HORA INICIO: _____		HORA TÉRMINO: _____			
ITEM	INSPECCION GENERAL	N° PARTE	Ejecutado	No Ejecutado	OBSERVACION
1	Revisión de Alumbrado General				
2	Revisar estado de bocina				
3	Revisar luces altas				
4	Revisar luces bajas				
5	Revisar luces y alarma de retroceso				
6	Revisión de N° identificación del equipo (trasero), pantallas laterales score board más arnés de conexión de pantallas				
7	Revisar luces de emergencia (Hazard)				
8	Revisión de luces interior cabina, indicadores del tablero y sus controles. (interruptores)				
9	Revisar funcionamiento de plumillas y dosificador de agua parabrisas				
10	Revisar carga de Baterías (tester de carga)				
11	Revisar estado de terminales, bornes de batería, y limpieza de caja de baterías.				
12	Realizar prueba a cortacorriente y cambiarlo de ser necesario				
13	Revisar Carga de Alternadores (Amperímetro de tenazas)				
14	Revisar estado y tensado de correas alternadores, cambio de ser necesario				

Actividad Electricista 1 PP1 250 horas.

		PAUTA PASO 3 – 797B (750 HRS)		Versión: V4-05/2018 Fecha Última Revisión: 12/12/2016 Fecha Próxima Revisión: 12/12/2018	
GM– SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas					
ACTIVIDADES ELECTRICICO 1					
EQUIPO: _____		FECHA: _____		HOROMETRO: _____	
HORA INICIO: _____		HORA TÉRMINO: _____			
ITEM	INSPECCION GENERAL	N° PARTE	Ejecutado	No Ejecutado	OBSERVACION
1	Revisión de Alumbrado General				
2	Revisar estado de bocina				
3	Revisar luces altas				
4	Revisar luces bajas				
5	Revisar luces y alarma de retroceso				
6	Revisión de N° identificación del equipo (trasero), pantallas laterales score board más arnés de conexión de pantallas				
7	Revisar luces de emergencia (Hazard)				
8	Revisión de luces interior cabina, indicadores del tablero y sus controles. (interruptores)				
9	Revisar funcionamiento de plumillas y dosificador de agua parabrisas				
10	Revisar carga de Baterías (tester de carga)				
11	Revisar estado de terminales, bornes de batería, y limpieza de caja de baterías.				
12	Realizar prueba a cortacorriente y cambiarlo de ser necesario				
13	Revisar Carga de Alternadores (Amperímetro de tenazas)				
14	Revisar estado y tensado de correas alternadores, cambio de ser necesario				

Actividad Electricista 1 PP3 750 horas.

Fig. 2.4.4 Actividades electricista en pautas preventivas 250 y 750 horas.

Fuente: Información obtenida desde intranet Minera Centinela.

Si en la realidad el departamento de mantenimiento ejecuta todos los pasos de las pautas de mantenimiento de manera correcta, cuál será el motivo en que existan sistemas críticos y con mayor cantidad de imprevistos, para dar soluciones a estas fallas se buscan mejoras analizando cada sistema y proponer nuevas tareas que reemplacen a las existentes en las pautas de mantenimiento, las actividades de las pautas del mantenimiento necesitan repuestos para ser realizadas, en fig. 2.4.5 se detalla listado de repuestos entre 250 horas y 750 horas, los costos y cantidad son idénticos, con esto se deduce que no existe algún mejoramiento entre pautas, puede que existan repuestos que al ser reemplazados todavía puedan ser ocupados para una próxima mantención como otros repuestos que no, esto podría llevar a un ahorro, y esto poder ocupar en buscar otros repuestos que se puedan reemplazar que en las pautas de mantenimiento se pasan por alto y que estén originando los imprevistos en la flota.

Material	Pl.MantPrv	Texto breve material	CGH	GrpHRuta	Txt.pos.mantenim.	Ciclo	Pos.PM	Precio	Cant	Total
11071048	13387	FILTRO AIRE PRIM MOTOR;DONALDSON;P182038	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$162,0	5	\$810,0
11065901	13387	FILTRO AIRE SEC.MOTOR;DONALDSON;P115070	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$149,5	5	\$747,5
11067004	13387	FILTRO ACEITE MOTOR;DONALDSON;P551808	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$89,3	6	\$536,0
11032491	13387	FILTRO;CAT;1526902	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$208,3	2	\$416,6
11067003	13387	FILTRO COMBUSTIBLE;DONALDSON;P551316	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$98,6	4	\$394,6
11067243	13387	FILTRO;CAT;4247616	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$385,7	1	\$385,7
11067025	13387	FILTRO;DONALDSON;P550924	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$187,8	2	\$375,6
11032151	13387	JGO FILTRO;CAT;2226713	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$270,5	1	\$270,5
11067007	13387	FILTRO;DONALDSON;P164166	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$121,9	2	\$243,7
11032495	13387	FILTRO;CAT;4T6788	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$53,4	4	\$213,5
11033493	13387	SELLO ANILLO;CAT;6V3349	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$66,9	2	\$133,8
11067011	13387	FILTRO PILOTO DIRECC;DONALDSON;P165332	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$37,0	2	\$74,0
11032475	13387	FILTRO;CAT;1070266	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$72,2	1	\$72,2
11032068	13387	BOTELLA;CAT;1698373	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$4,8	13	\$62,7
11067811	13387	FILTRO;DONALDSON;P556700	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$13,8	4	\$55,2
11032466	13387	FILTRO;CAT;1193355	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$49,8	1	\$49,8
11031985	13387	ANILLO;CAT;68350	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$16,5	3	\$49,6
11031992	13387	ANILLO;CAT;1970018	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$23,1	2	\$46,2
11032223	13387	JGO SELLO;CAT;1947986	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$22,3	2	\$44,5
11033475	13387	SELLO ANILLO;CAT;5M7142	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$15,3	2	\$30,6
11067748	13387	FILTRO;DONALDSON;ELF7405	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$21,4	1	\$21,4
11033363	13387	SELLO;CAT;7M8485	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$3,5	3	\$10,4
11033433	13387	SELLO ANILLO;CAT;1H8128	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$4,8	2	\$9,6
11033180	13387	SEAL;CAT;2287105	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$5,0	1	\$5,0
11033375	13387	SELLO;CAT;8F9206	1	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 250 HRS	2000	21736	\$2,1	1	\$2,1
Total	348062							\$2.085,4	72	\$5.060,6
Listado repuestos pauta de mantenimiento 250 horas.										
Material	Pl.MantPrv	Texto breve material	CGH	GrpHRuta	Txt.pos.mantenim.	Ciclo	Pos.PM	Precio	Cant	Total
11071048	13387	FILTRO AIRE PRIM MOTOR;DONALDSON;P182038	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$162,0	5	\$810,0
11065901	13387	FILTRO AIRE SEC.MOTOR;DONALDSON;P115070	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$149,5	5	\$747,5
11067004	13387	FILTRO ACEITE MOTOR;DONALDSON;P551808	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$89,3	6	\$536,0
11032491	13387	FILTRO;CAT;1526902	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$208,3	2	\$416,6
11067003	13387	FILTRO COMBUSTIBLE;DONALDSON;P551316	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$98,6	4	\$394,6
11067243	13387	FILTRO;CAT;4247616	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$385,7	1	\$385,7
11067025	13387	FILTRO;DONALDSON;P550924	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$187,8	2	\$375,6
11032151	13387	JGO FILTRO;CAT;2226713	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$270,5	1	\$270,5
11067007	13387	FILTRO;DONALDSON;P164166	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$121,9	2	\$243,7
11032495	13387	FILTRO;CAT;4T6788	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$53,4	4	\$213,5
11033493	13387	SELLO ANILLO;CAT;6V3349	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$66,9	2	\$133,8
11067011	13387	FILTRO PILOTO DIRECC;DONALDSON;P165332	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$37,0	2	\$74,0
11032475	13387	FILTRO;CAT;1070266	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$72,2	1	\$72,2
11032068	13387	BOTELLA;CAT;1698373	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$4,8	13	\$62,7
11067811	13387	FILTRO;DONALDSON;P556700	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$13,8	4	\$55,2
11032466	13387	FILTRO;CAT;1193355	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$49,8	1	\$49,8
11031985	13387	ANILLO;CAT;68350	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$16,5	3	\$49,6
11031992	13387	ANILLO;CAT;1970018	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$23,1	2	\$46,2
11032223	13387	JGO SELLO;CAT;1947986	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$22,3	2	\$44,5
11033475	13387	SELLO ANILLO;CAT;5M7142	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$15,3	2	\$30,6
11067748	13387	FILTRO;DONALDSON;ELF7405	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$21,4	1	\$21,4
11033363	13387	SELLO;CAT;7M8485	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$3,5	3	\$10,4
11033433	13387	SELLO ANILLO;CAT;1H8128	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$4,8	2	\$9,6
11033180	13387	SEAL;CAT;2287105	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$5,0	1	\$5,0
11033375	13387	SELLO;CAT;8F9206	3	MS7978PV	PM CAMIÓN 797B 750 HRS	2000	21738	\$2,1	1	\$2,1
Total	348062							\$2.085,4	72	\$5.060,6
Listado repuestos pauta de mantenimiento 750 horas.										

Fig. 2.4.5 Repuestos utilizados en Pauta Mantenimiento 250 y 750 horas.

Fuente: Información obtenida desde Departamento planificación.

El stock de repuestos es parte fundamental en la atención de imprevistos y en las mantenciones preventivas, en el siguiente capítulo se da a conocer conceptos de gran importancia en el manejo de inventario, a la vez el stock real que existe en Compañía Minera Centinela y la categorización que realiza la Empresa colaboradora encargada de suministrar los repuestos de acuerdo con contrato que mantiene con empresa mandante.

De acuerdo con el análisis a las pautas de mantenimiento se buscaron mejoras que se detallan en parte final del capítulo 3 de este trabajo de título.

CAPÍTULO III “STOCK DE REPUESTOS”

3.1 SISTEMA DE GESTIÓN A STOCK DE REPUESTOS

Una parte importante de la gestión del stock de repuesto es el lugar en donde mantener los componentes, estos lugares físicos se denominan Almacenes, una de sus funciones es mantener los repuestos cercanos cuando el cliente los necesite, y con ello pasa a ser parte fundamental para que el área de mantenimiento puedan cumplir con los planes programados de la flota de equipos.

El almacén debe contar con una superficie que permita satisfacer las necesidades del cliente en relación a mantener cierta cantidad de stock de repuestos almacenados, si el cliente solicita un repuesto al almacén, la entrega debe ser lo más rápido posible tratando de optimizar los tiempos, el inventario almacenado debe estar lo más ordenado posible.

El personal a cargo que realiza la búsqueda de algún repuesto debe estar apoyado de algún software de gestión que permitan indicar la cantidad existente en los almacenes y que entregue la ubicación física exacta del repuesto.

Muchos son los motivos en que una empresa toma la decisión de mantener un almacenaje propio o subcontratado que puede ser por el proceso operativo, características del cliente, reducción de costos, aprovisionamiento, complemento al proceso productivo.

La empresa para mantener un tipo almacenamiento debe analizar los siguientes criterios, nivel estratégico, nivel organización interna, nivel operación almacén.

El nivel estratégico se relaciona con lo financiero en la toma de decisión, se puede identificar qué tipo de almacenamiento es el más conveniente de acuerdo a la visión estratégica y costo de almacenaje en conjunto con la manipulación, o se puede determinar de acuerdo a las características de adquisición o de uso que está más enfocada cuando la empresa realiza o necesita el almacenamiento dentro de sus propias instalaciones, para ambos el almacenamiento podría ser propio, subcontratado, en la fig. 3.1.1 se detallan ventajas y desventajas de cada almacenamiento.

De acuerdo con la visión estratégica el almacenamiento propio en un sector delimitado es una inversión ya sea en espacio, personal y tecnología enfocada en el ordenamiento y a la entrega de repuestos, el almacenamiento subcontratado de acuerdo con el tipo de empresa que preste el servicio se puede subdividir en dos tipos, aquellos que cuentan con un lugar donde se permiten solo el almacenamiento y otros que cuentan con un servicio completo de gestión de repuestos.

Almacenamiento Propio.	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilidad, si su utilización es intensiva. • Mayor control de las operaciones, que ayuda a asegurar un mayor nivel de servicio. • Flexibilidad en el empleo futuro de los espacios. • Puede servir como base de otras actividades complementarias (Oficina de ventas, Centro de la flota de vehículos, Departamento de compras, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen elevado de inversión (Terreno, instalaciones, etc) • Pueden aparecer problemas de espacio, con el crecimiento de la actividad • Problemas para la venta en el caso de ser un almacén con una elevada superficie. • Inflexibilidad para ajustarse a la evolución del mercado, tanto en clientes, como en productos).
Almacenamiento Subcontratado.	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • No exigen inversión fija • Costes variables bajos debido a su utilización no sistemática. • Ubicación flexible 	<ul style="list-style-type: none"> • No sirve como base de otras actividades complementarias • Menor control sobre los procesos operativos • Menor capacidad de evolución ante los cambios del mercado o de los productos

Fig. 3.1.1 Diferencias entre tipos de almacenamientos.

Fuente: Manual de gestión de almacén Balanced Life S.L.

Los objetivos del almacenamiento permitirá tener varias ventajas, entre ellas se destacan, entrega rápida de repuestos al cliente, evitar los daños en componentes que se mantengan demasiado tiempo almacenados, rotación de repuestos, cada cierto tiempo actualizar el listado de repuestos, y que los repuestos que se compren sean realmente los que necesita el cliente.

En el Almacén o bodegas están disponible todos los repuestos y componentes que en algún momento necesite el cliente, esto es denominado inventario, de acuerdo al profesor Ronald Ballou “Los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa”.

Si el cliente en algún momento solicita un componente o repuesto y no esté disponible en el stock del almacén se denominará inventario agotado, para que no suceda esto se debe aplicar un control de inventario que tendrá como objetivo el de asegurar el funcionamiento y que los procesos de la empresa no existan detenciones por falta de stock de componentes.

En la gestión de repuestos están presente conceptos que son de gran importancia, ya que sirven para entender como son los cálculos de cantidades de almacenamiento y el estado

de todos los inventarios con que cuenta la empresa, los conceptos son el comportamiento del stock, inventario promedio, pedido óptimo, nivel de servicio, inventario de seguridad, costo asociado a mantener el stock de repuestos, costo de ordenar, costo de no tener producto, costo del producto, inventario de transporte.

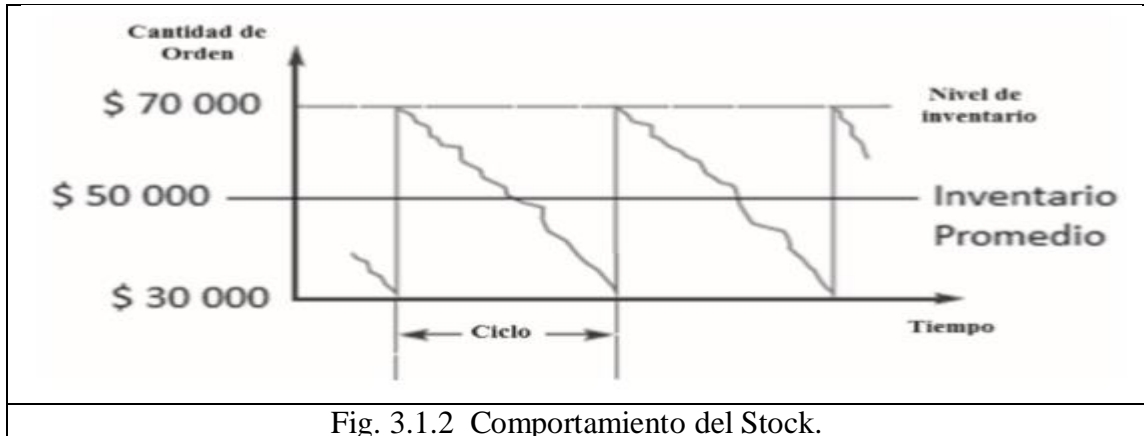


Fig. 3.1.2 Comportamiento del Stock.

Fuente: Fundamentos de la gestión de inventario ESUMER.

El comportamiento del stock en la fig. 3.1.2 es un gráfico que relaciona el tiempo versus cantidad de orden, existen repuestos o componentes que en comparación a otros tienen una mayor cantidad de salida desde bodega hacia el cliente, esto quiere decir que en algún momento puede presentar el stock una cantidad mínima que podría llegar a ser cero, para que no se presente esta situación se debe de generar un orden de repuestos que pueda llegar a las bodegas antes que el stock llegue a cero, el ciclo indicará cuánto es el tiempo de consumo del repuesto a la vez la llegada del nuevo pedimento que llega a las bodegas para aumentar la cantidad del inventario.

$$\text{Inventario Promedio} = \frac{\text{Inventario máximo} + \text{Inventario mínimo}}{2}$$

Fig. 3.1.3 Fórmula de Cálculo Inventario Promedio.

Fuente: Fundamentos de la gestión de inventario ESUMER.

El inventario promedio es un valor numérico de la cantidad de inventario de un periodo dado, que puede ser trimestral, cada seis meses o anual, en la fórmula de la fig. 3.1.3 permite realizar cálculos del inventario promedio de un ciclo o de un mes determinado, para calcular el inventario promedio anual se debe tener el valor numérico del inventario en el mes de enero y la cantidad existente en el mes de diciembre, ambos valores se suman y se dividen por la cantidad de meses, el resultado será la cantidad de inventario

mensual promedio que es utilizado por el cliente, la figura 3.1.4 se muestra un cálculo de inventario promedio de un repuesto al azar en conjunto con la demanda y venta.

Mes	Cantidad	Demanda	Ventas
Enero	60	15	15
Febrero	45	20	20
Marzo	25	20	20
Abril	5	10	5
Mayo	45	10	10
Junio	35	5	5
Julio	30	10	10
Agosto	20	20	20
Septiembre	40	10	10
Octubre	30	10	10
Noviembre	20	5	5
Diciembre	15	20	10
Promedio	30,83	12,92	11,67
Dias Inventario	2,64	Meses	

Fig. 3.1.4 Ejemplo de cálculo de inventario promedio meses de enero a diciembre.

Fuente: Ejercicio práctico de cálculo de suministro de stock de repuestos.

El cálculo matemático fue realizado en Microsoft Excel, el promedio mensual del inventario es de 30,83 repuestos, la demanda promedio mensual es de 12,92 repuestos y las ventas promedio mensual es de 11,67 repuestos, los días de inventarios es el resultado de la adición entre el valor de cantidad promedio y las ventas promedios es de 2,64 meses, de acuerdo al valor numérico de días de inventario cada tres meses el nuevo pedido de inventario debe estar disponible en bodega para mantener el stock, la cantidad a pedido óptimo es denominada como tamaño de lote “Q” o modelo Wilson (fig. 3.1.5), este modelo determinará la cantidad de lote de productos para abastecer el inventario y que el pedido solicitado sea lo necesario pudiendo cumplir las expectativas del sistema de gestión de stock.

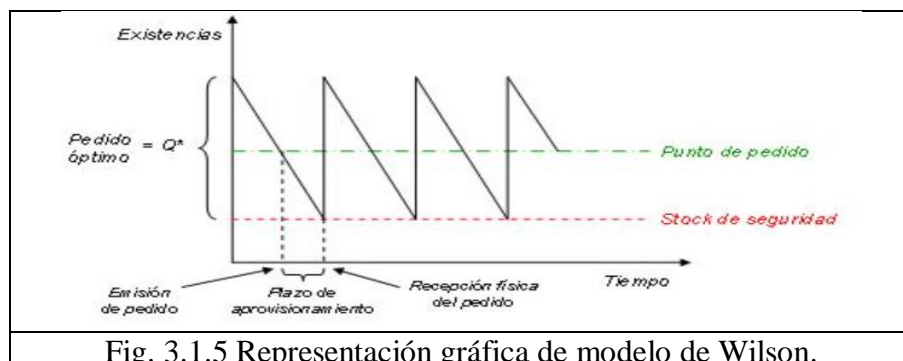


Fig. 3.1.5 Representación gráfica de modelo de Wilson.

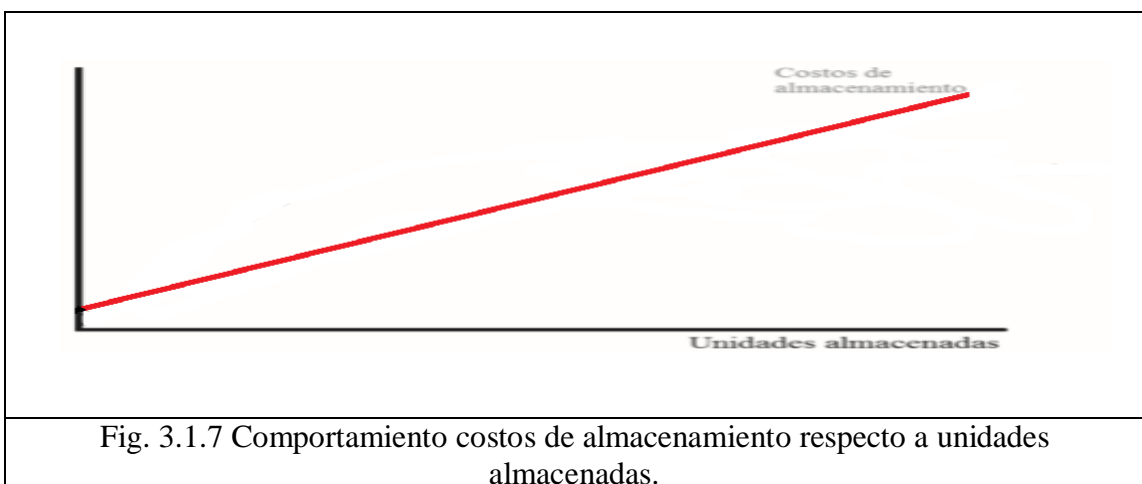
Fuente: <https://aprendeconomia.com/2011/02/04/3-la-gestion-de-inventarios/>

En la representación gráfica del Modelo de Wilson se basa en la relación que existe entre la cantidad de inventario o existencias y el tiempo transcurrido, esto permitirá graficar el pedido óptimo necesario, identificando el punto de pedido cuando se generan las solicitudes u órdenes de compra para la nueva solicitud de repuestos, el tiempo de llegada del pedimento se denomina plazo de aprovisionamiento, parte importante es mantener un stock de seguridad el cuál se activará cuando exista un retraso en la llegada del pedimento, con ello el cliente podrá retirar lo necesario desde el almacenamiento, el servicio al cliente apunta a la relación directa entre la empresa que presta servicios de inventario con el cliente, en donde la empresa realiza una evaluación a diario del proveedor de repuestos y del área que presta servicio del inventario, por otra parte el cliente evalúa el nivel de servicio prestado en la adquisición de repuestos y lo refleja en un grado de conformidad tanto en el control de inventario como la gestión de los encargados en dar soluciones rápidas cuando se amerita, para realizar el cálculo de nivel de servicio con el que el cliente evalúa el servicio prestado por los encargados de inventario está reflejado en la fig. 3.1.6.

$\text{NIVEL DE SERVICIO} = \frac{\text{Número total de órdenes completas y a tiempo suministradas}}{\text{Número total de órdenes}}$
Fig. 3.1.6 Cálculo de Nivel de Servicio.

Fuente: Fundamentos de gestión de inventario ESUMER.

En fig. 3.1.7 Al ir aumentando la cantidad de unidades almacenadas se aumentan los costos de almacenamiento, cada repuesto o componentes deben tener un lugar de almacenamiento en el interior de la bodega este costo se denomina como costo de almacenamiento, ya que al aumentar la cantidad del inventario aumentan los costos de los medios de transporte de componentes de un lugar a otra, aumenta el volumen de almacenamiento y seguros que sean usados en el traslado de los componentes.



Fuente: Fundamentos de gestión de inventario ESUMER.

Cuando se generan las solicitudes de compra de un inventario o para ejecutar un sistema de gestión de stock de repuestos o inventarios presenta costos asociados, los costos de almacenamiento y los costos de mantener el inventario.

Los costos de inventario tienen directa relación con el lugar de almacenaje del inventario, estos pueden ser costos de espacio, mano de obra, energía e infraestructura, el costo de mantener un inventario también conocido como costo de existencias, son costos que permiten mantener el stock del inventario, en fig. 3.1.8 está detallado el porcentaje de cada uno de los costos para mantener un inventario, se dividen en costos capital, Impuestos, Seguros, Obsolescencia, Almacenamiento.

Costo capital puede ser financiado por los dueños, accionistas o bancos el cuál es utilizado para cubrir gastos financieros o para inversiones que se realicen en el inventario o en el lugar en donde se almacenan estos.

Los impuestos son costos que están presentes al tener un inventario o un lugar de almacenamiento, los costos por seguros se asocian a daños en inventarios, accidentes, pérdidas, transportes.

La obsolescencia ocurre cuando existe pérdida de parte del inventario por fecha de vencimiento y los repuestos no podrán ser utilizados.

Concepto	Porcentaje promedio	Rangos del porcentaje
Costo de capital	10.00%	4-40%
Impuestos	1.00	.5-2
Seguro	.05	0-2
Obsolescencia	1.20	.5-2
Almacenamiento	2.00	0-4
Totales	14.25%	5-50%

Fig. 3.1.8 Costo anual de mantener un inventario en porcentaje.

Fuente: Fundamentos de gestión de inventario ESUMER.

Compañía Minera Centinela consta de dos lugares para el almacenamiento del inventario, una de las bodegas se encuentra en el interior del taller de mantenimiento, en donde se almacenan los componentes de menor volumen, y la otra bodega para almacenar los componentes de mayor volumen está en el exterior del taller de mantenimiento de camiones. (Fig. 3.1.9).

Las instalaciones de almacenamiento del inventario pertenecen a Minera Centinela, la empresa que presta el servicio de suministro de repuestos es Finning Chile S.A.

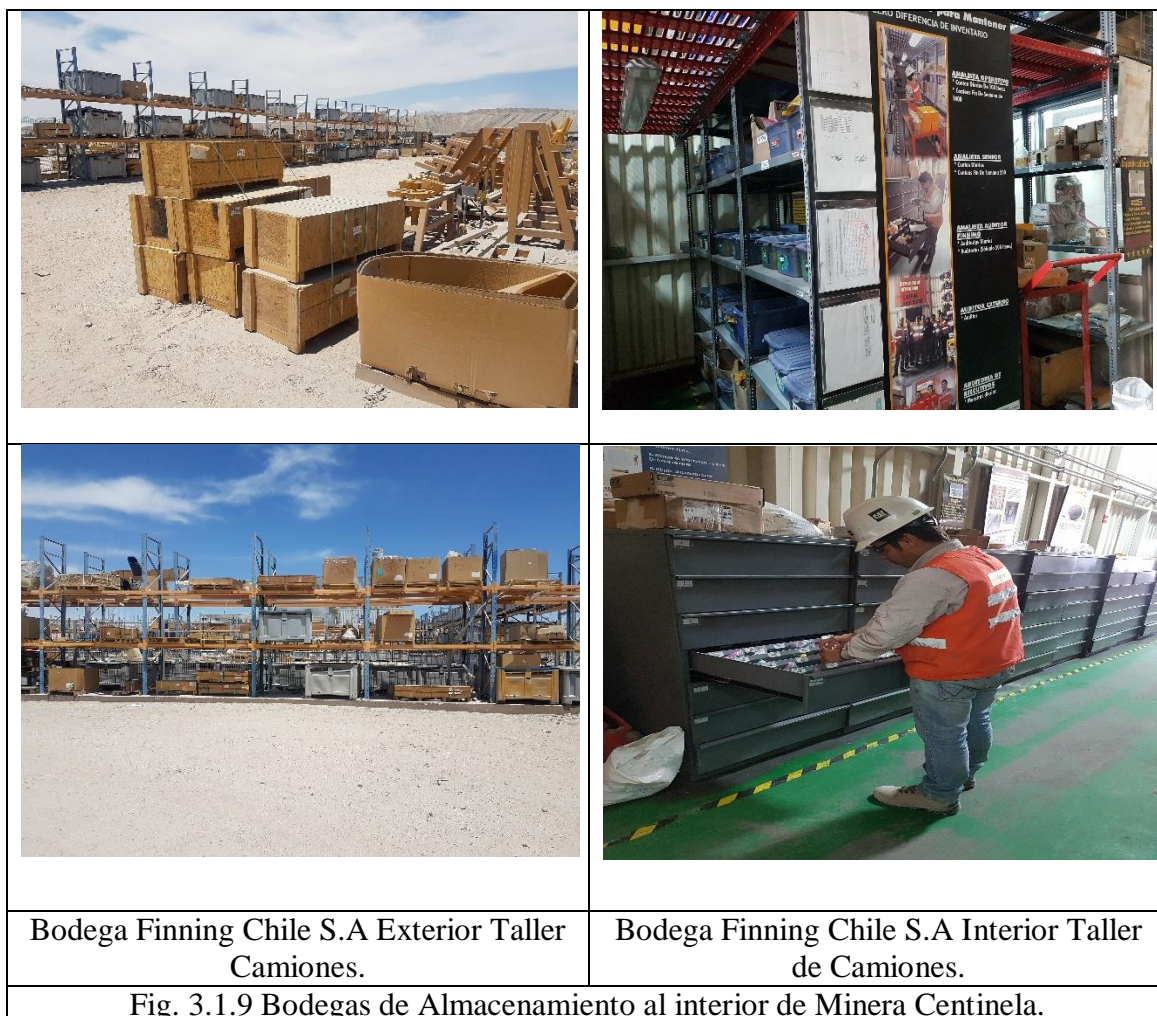


Fig. 3.1.9 Bodegas de Almacenamiento al interior de Minera Centinela.

Fuente: Elaboración propia fotografías tomadas en almacén Minera Centinela.

Finning Chile S.A, se encargará de administrar la bodega y proporcionará el suministro del inventario, este es un esquema denominado Stockless, es un almacenamiento subcontratado pero en las propias instalaciones de Minera Centinela, consta en un servicio de soporte a la reparación y mantenimiento de la flota Caterpillar, entregar y gestionan repuestos asociados a mantenimiento preventivo, predictivo, y correctivo de las flotas de equipos Caterpillar de Centinela Sulfuro y Oxido, y que son mantenidas

tanto por Minera Centinela como Finning Chile S.A, en donde la empresa colaboradora tiene la misión de proporcionar, ejecutar, y entregar en el tiempo establecido de acuerdo al contrato con empresa mandante, el contratista suministra los repuestos manteniendo presente el cuidado y conservación en estado original de todos los componentes que se mantienen en inventario, de acuerdo al contrato existente entre Compañía Minera Centinela y Finning Chile S.A, los repuestos serán categorizados en tres tipos según el tiempo de entrega al cliente y de acuerdo al listado que maneje el cliente de los repuestos más utilizados por el Área de Mantenimiento.

Repuestos tipo A: Es un stock de repuestos en bodega en común acuerdo con cliente con un plazo de entrega no mayor a 12 horas.

Repuestos tipo B: Son todos aquellos repuestos que se identifican como stock en centro logístico la negra, en la ciudad de Antofagasta con un plazo de entrega no mayor a 48 horas.

Repuestos tipo C: Son todos aquellos repuestos que no cuentan con stock a nivel nacional, es decir, deben ser traídos desde fábrica Caterpillar ubicada en Canadá, con un plazo de entrega no mayor a 10 días.

Cuando el cliente genere una solicitud de repuesto urgente, pero al verificar existencia en almacenes no se encuentre disponible en faena y que esté clasificado en un tipo de repuesto que el tiempo de llegada sea excesivo, el cliente deberá de asumir los costos de traslado para que el repuesto pueda estar lo antes posible en faena, los costos se especifican en tabla de la fig. 3.1.10:

F.D.S: Corresponde a Transporte durante fin de semana.

Tipo de servicio	Origen	Destino	Tipo de vehículo	Tarifas válidas hasta 31/12/2018
Especial	La negra	Faena Centinela	Camión 10 ton.	\$586.58 USD
Especial	La negra	Faena Centinela	Drop Deck	\$811.72 USD
Especial	La negra	Faena Centinela	Camioneta	\$329.09 USD
Especial	La negra	Faena Centinela	Auto	\$145.81 USD
Especial	Antofagasta (ciudad)	Faena Centinela	Auto	\$174.76 USD
Especial	La negra	Faena Centinela	Camión 5 ton.	\$348.04 USD
Especial	La negra	Faena Centinela	Rampla	\$705.85 USD
Especial	La negra	Faena Centinela FDS	Camioneta	\$357.56 USD
Especial	La negra	Faena Centinela FDS	Camión 5 ton.	\$382.84 USD
Especial	La negra	Faena Centinela FDS	Rampla	\$776.43 USD
Especial	Antofagasta (ciudad)	Faena Centinela	Rampla	\$705.85 USD
Especial	Antofagasta (ciudad)	Faena Centinela	Camioneta	\$279.60 USD
Especial	Centinela Óxido	Faena Centinela	Camión 10 ton.	\$156.42 USD

Fig. 3.1.10 Costos asociados por traslado de repuestos.

Fuente: Datos obtenidos desde contrato de trabajo con cliente.

3.2 RECURSOS ACTUALES DE BODEGA EN SISTEMA SAP

Compañía Minera Centinela cuenta con bodega de almacenamiento de componentes donde clasifica la ubicación de los repuestos de acuerdo al volumen, existe un sector de las bodegas en donde se almacenan repuestos de pedimentos anteriores que no fueron utilizados por el área de ejecución, está permitido generar la devolución de repuestos no utilizados por el cliente, para realizar la devolución los repuestos no debieron de ser manipulados y se deberá mantener su correcto almacenamiento de fábrica.

Minera Centinela para obtener información de la cantidad de inventario que está disponible en faena trabaja directamente con el Sistema SAP y en conjunto con Microsoft Power BI permite mantener un control de las cantidades de repuestos actuales en faena (fig. 3.2.1), esta información aporta para ejecutar trabajos de manera más eficaz ante un imprevisto y con ello identificar que componentes están disponibles para los activos.

Actualmente no se mantiene un stock de repuestos en cantidad abundante por sistemas para solucionar imprevistos ni tampoco para realizar cambio de componentes por cumplimiento de vida útil, al analizar las cantidades disponibles en bodegas no es posible que de acuerdo con la tasa de fallas de los sistemas del camión de extracción exista solamente una transmisión, un cilindro de levante, o un módulo radiador para una flota de 10 camiones de transporte de mineral.

Ante un imprevisto en que sea necesario utilizar dos o más repuestos para un mismo sistema y en el stock de inventario existiese una cantidad mínima se originará una demora en la entrega del equipo a operaciones, y un trabajo que normalmente pueda demorar 12 horas podría demorar sobre 36 horas dependiendo del lugar donde se encuentre el componente para que pueda llegar lo antes posible a faena.

FLOTA				PROCESO
← 793 793C 793F 797B 797B-F 797F				Transporte
DESCRIPCION	N° SERIE	NUMERO DE PARTE	NUMERO SAP	STOCK FISICO EN FAENA
BOMBA DIRECCION Y FAN	0	194-0436	88000642	5
BOMBA ENFRIAMIENTO DE FRENO	0	187-9683	88000713	4
BOMBA PTO	0	149-3060	0	1
CILINDRO DE LEVANTE	0	219-9784	88000314	1
CILINDRO DIRECCIÓN		194-6171		8
CILINDRO LEVANTE	0	219-9784	88000314	1
CONJUNTO DE FRENO	JSM	293-3260	0	1
CONJUNTO FRENO	CRA-11476	219-1633	88000636	1
CONJUNTO MAZA SUSPENSION		192-5826 (250-3930)		1
CONVERTIDOR DE TORQUE	0	0R-9812	88000313	3
CONVERTIDOR TORQUE	10281285	0R-9812	88000313	2
FRENO				1
MOTOR DIESEL	NPM00478	10R7929	88000962	2
RADIADOR	0	149-3052	88000837	1
SUSPENSION TRASERA DERECHA	0	192-0559	88000315	3
SUSPENSION TRASERA IZQUIERDA	CHA-11115	192-0560	88000316	4
TANQUE COMBUSTIBLE	0	196-9869	0	1
TANQUE DE AIRE				1
TRANSMISION	10261520	0R-9813	88000319	1
VALVULA CONTROL LEVANTE		245-1763		1
				43

Fig. 3.2.1 Listado repuestos en bodega faena minera.

Fuente: Datos obtenidos de Microsoft Power BI de Minera Centinela.

En conjunto con el listado de repuestos existentes en bodegas de almacenamiento, en la parte superior de tabla en fig. 3.2.2 ,se detallan la frecuencia en horas de trabajo en que los componentes necesitan ser reemplazados, los contadores que indican las horas que trabajo que posee cada uno de los componentes y el porcentaje de vida util que permite entregar información en forma de semaforo que indicarán cuando se aproxima el cambio de componentes, es importante recalcar que teniendo la tasa de fallas de los componentes junto a las horas de los componentes se podria proponer una mejora en el stock actual de repuestos tanto para el camión analizado en este trabajo de título como para la flota completa de camiones de transporte de mineral.

Denominación Componente	Frecuencia	Contador	% Vida Util
Barra Dirección Derecha	20000	19568	97,8 %
Barra Dirección Izquierda	20000	19568	97,8 %
Cilindro Dirección Derecho	14000	5478	39,1 %
Cilindro Dirección Izquierdo	14000	7481	53,4 %
Cilindro Levante Derecho	28000	21326	76,2 %
Cilindro Levante Izquierdo	28000	13919	49,7 %
Convertidor Torque	12000	316	2,6 %
Diferencial	20000	11108	55,5 %
Mando Bombas	18000	10929	60,7 %
Mando Final Derecho	20000	19413	97,1 %
Mando Final Izquierdo	20000	15936	79,7 %
Motor Diesel	12000	328	2,7 %
Radiador	12000	13929	116,1 %
Suspensión Maza Delantero Derecho	28000	4517	16,1 %
Suspensión Maza Delantero Izquierdo	28000	1018	3,6 %
Suspensión Trasero Derecho	18000	10156	56,4 %
Suspensión Trasero Izquierdo	18000	10156	56,4 %
Tolva	16000	12247	76,5 %
Transmisión	12000	5497	45,8 %

Fig. 3.2.2 Vida útil de repuestos de Camión Extracción 797 Caterpillar de faena minera.

Fuente: Vida útil de componentes desde SAP.

Finning Chile S.A ha actualizado su sistema de gestión de stock para trabajar en línea con el cliente, desde hace un par de meses se han integrado al Sistema SAP, esto permite al cliente ingresar en línea al inventario existente en faena y visualizar los costos de cada uno de ellos.

3.3 PAUTAS DE MANTENIMIENTO MODIFICADAS

Es necesario analizar las pautas de Mantenimiento Preventivo del Motor Diésel del Camión de Extracción 797 Caterpillar, para buscar mejoras en las pautas de mantenimiento que se realizan cada de 250 horas de funcionamiento del equipo, existen etapas entre los intervalos de horas de las pautas del mantenimiento que se repiten, no existen diferencias significativas entre ellas, las mejoras se enfocarían en buscar tareas a ejecutar a los subsistemas críticos del motor diésel que provocan una mayor cantidad de imprevistos en el equipo las que han sido identificadas anteriormente, todo pensado en aumentar la vida útil del equipo y que el equipo en cuestión sea confiable tanto para el área de operaciones como para la compañía minera.

Para ello se realiza un FMEA sus siglas indican Análisis de Modo de Efectos y Fallas Potenciales, esta herramienta permite analizar fallas que provocan imprevistos significativos dentro de un sistema que forma parte de un equipo o procesos, se identifican sus causas y efectos para luego categorizar de acuerdo a su impacto, con ello se buscarán alternativas de mejoramiento para prevenir y eliminar fallas evitando sus ocurrencias, el obtener todos estos datos se podrán generar modificaciones en los pasos de las pautas del mantenimiento preventivo enfocado en el subsistema crítico del motor diésel y como resultado asignar nuevas tareas en cada una de las pautas de mantenimiento.

Antes de comenzar con un FMEA se identifica los sistemas o subsistemas críticos del equipo o proceso, los que han sido identificados en el capítulo 1 de este trabajo de título. (Ver fig. 3.3.1.)

Averías	Horas Detención	Porcentaje	Acumulada
Sistema de lubricación	139,19	26,7	26,7
Sistema de combustible	108,38	20,8	47,5
Sistema de refrigeración	95	18,2	65,7
Sistema de arranque	84,47	16,2	81,9
Sistema de admisión y escape	65,86	12,6	94,6
Sistema eléctrico 12 volt	11,75	2,3	96,8
Sistema de Engrase	10,5	2,0	98,8
Sistema eléctrico 24 volt	6,06	1,2	100,0
Total	521,21		

Fig. 3.3.1 Subsistemas Motor diesel Camión 12.

Fuente: Elaboración propia con información obtenidos desde Microsoft Power BI.

Al identificar los subsistemas críticos del Camión de Extracción Caterpillar, se debe analizar cada uno de ellos para identificar lo siguiente: fallas funcionales que podrían ser total o parcial, el número de fallo asociado al subsistema, el modo de falla, su efecto y sus consecuencias.

TABLA DE SEVERIDAD		
EFEECTO	CRITERIO : SEVERIDAD DEL EFECTO	RANKING
PELIGROS SIN ADVERTENCIA	Pone en peligro la seguridad del operador. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
PELIGROS CON ADVERTENCIA	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
MUY ALTO	Perturbación grave a la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar el 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
ALTO	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
MODERADO	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos items de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
BAJO	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos items de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
MUY BAJO	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptado. Ajustes y terminaciones y sonido en el item no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
MENOR	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
MUY MENOR	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el item que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
NINGUNO	Sin efectos.	1

Fig. 3.3.2 Tabla de Severidad.

Fuente: Norma SAE J1739.

Severidad es un grado que relaciona la gravedad de los efectos de fallas con los modos de falla. (Fig. 3.3.2).

OCURRENCIA		
PROBABILIDAD DE FALLA	POSIBLE TASA DE FALLA	RANKING
MUY ALTA : La falla es casi inevitable.	≥ 1 en 2.	10
	1 en 3.	9
ALTA: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia.	1 en 8.	8
	1 en 20.	7
MODERADA: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previo que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones.	1 en 80.	6
	1 en 400.	5
	1 en 2000.	4
BAJAS: Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 15000.	3
MUY BAJA: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos.	1 en 150000.	2
REMOTA: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos.	≤ 1 en 1500000.	1

Fig. 3.3.3 Tabla de Ocurrencia.

Fuente: Norma SAE J1739.

Ocurrencia indica un valor numérico en que alguna causa que pueda originar un modo de falla. (fig. 3.3.3).

DETECCIÓN		
DETECCIÓN	CRITERIOS: Probabilidad de detección de un modo de falla.	RANKING
Casi imposible.	No existen controles disponibles para detectar el modo de fallas.	10
Muy remota.	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	9
Remota.	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	8
Muy baja.	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	7
Baja.	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	6
Moderada.	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	5
Moderadamente alta.	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	4
Alta.	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	3
Muy alta.	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	2
Casi cierta.	Los actuales controles son casi ciertos para detectar el modo de falla. Detección confiable.	1

Fig. 3.3.4 Tabla de Detección.

Fuente: Norma SAE J1739.

La detección indica la probabilidad en detectar la avería antes que llegue al cliente. (Fig. 3.3.4), estos tres criterios, severidad, ocurrencia y detección permitirán obtener el número de riesgo prioritario, el cálculo matemático se realiza de acuerdo a la fórmula de la fig. 3.3.5, este valor numérico permitirá identificar las áreas de mayor preocupación, el valor mayor de RPN se debe buscar lo antes posible una acción correctiva, es importante conocer los conceptos y definiciones de cada uno de los términos que se buscan en FMEA.

Subsistema es donde se realiza la descripción de la función específica del proceso, y se detalla las características que debiera de poseer este subsistema para el funcionamiento normal del activo físico.

La falla funcional se clasifica en dos tipos, total o parcial, falla funcional total ocurre cuando el proceso no realiza su función y la falla funcional parcial ocurre cuando el proceso realiza su función pero no totalmente.

Modo de fallo describe las causas de falla que se presentan en un proceso, esto provocará un efecto de fallo en el proceso e impactos de distintos tipos que se denominan consecuencias.

RPN = SEV x OCC x DET
Fig. 3.3.5 Formula de cálculo de RPN

Fuente: Norma SAE J1739.

El análisis de modo de efectos y fallas potenciales se realizó de acuerdo a las herramientas de priorización que permitió seleccionar los subsistemas críticos del motor diésel perteneciente al camión de extracción 797, detenciones e imprevistos que han ocurrido durante el periodo de evaluación de este trabajo de título en los subsistemas del Motor diésel, Sistema de lubricación, Sistema de combustible y Sistema de refrigeración.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES CAMIÓN DE EXTRACCIÓN CATERPILLAR 797									
SISTEMA: MOTOR DIÉSEL.		SISTEMA NRO: 17-1.		FACILITADOR: J. CARCAMO S.	FECHA: 11 - 01 - 2019.	HOJA NRO: 1.			
SUBSISTEMA: SISTEMA DE LUBRICACIÓN.		SUBSISTEMA NRO: 17-1-12.		AUDITOR: D. REYES R.	MINERA CENTINELA.	DE: -			
SUBSISTEMA	FALLA FUNCIONAL	NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA	RPN			
						S	O	D	TOTAL
El flujo de aceite de lubricación es necesario en los descansos del motor. El aceite debe cumplir los valores de flujo requerido para que no exista una baja presión de aceite a la vez nunca sobrepasar los valores de temperatura, el aceite debe estar en todo momento debidamente filtrado y con esto permitir que se mantenga en todo momento el funcionamiento el activo físico.	A1.- Falla funcional total: Parámetro de presión de aceite de lubricación de acuerdo a fabricante fuera de lo especificado.	A1.1	Bomba de aceite de lubricación desgastada.	Detención inmediata por alarma. Baja presión de aceite de lubricación.	Impacto producción. Impacto a kpi de mantenimiento.	7	3	2	42
		A1.2	Enfriador de aceite de lubricación dañado.	Traspaso a otros sistemas el aceite de lubricación. Detención de motor diésel por bajo nivel. Baja presión de lubricación.	Impacto producción. Impacto indicadores de mantenimiento.	6	1	2	12
		A1.3	Mangueras dañadas	Fugas de aceite de lubricación. Bajo nivel de aceite. Detención inmediata de motor diésel.	Impacto producción. Impacto al medio ambiente. Impacto a kpi mantenimiento.	6	7	2	84

Fig. 3.3.6 Análisis Modo y efecto de fallas de subsistema de lubricación de Motor Diésel.

Fuente: Elaboración propia con recopilación de datos obtenidos.

Para buscar nuevas tareas y mejoras en las pautas de mantenimiento el FMEA permitirá realizar modificación en las pautas, desde la fig. 3.3.6 a la fig. 3.3.8 Se identifican los modo de fallos que se presentan en los subsistemas del motor diésel, sus efectos y sus consecuencia, en conjunto con el RPN y la hoja de decisiones muestra una gran cantidad de acciones pero el grupo de trabajo y el especialista que serán los encargados de seleccionar las acciones correctivas de acuerdo a lo indicado la figura 3.3.10 para generar el RCM.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS EN MOTOR DIESEL DE CAMIÓN DE EXTRACCIÓN CATERPILLAR 797									
SISTEMA : MOTOR DIESEL.		SISTEMA NRO : 32 - 1.		FACILITADOR : J. CARCAMO S.	FECHA : 25 - 01 - 2019.	HOJA NRO : 1.			
SUBSISTEMA : SISTEMA DE COMBUSTIBLE.		SUBSISTEMA NRO : 32 - 2 - 15.		AUDITOR : D. REYES R.	MINERA CENTINELA.	DE : -			
SUBSISTEMA	FALLA FUNCIONAL	NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA	RPN			
						S	O	D	TOTAL
El subsistema de combustible es una de las parte fundamental en la puesta en servicio del equipo, tiene como funcional principal la propulsión del equipo, para lograr el desplazamiento desde un punto a otro en el interior mina.	B1 - Falla funcional total: El subsistema de combustible presenta valor de baja presión	B1.1	Bomba de transferencia de combustible dañada.	Perdida de potencia de motor diesel. Alarma de baja presión combustible.	Impacto al medio ambiente. Impacto a producción. Impacto a mantenimiento.	6	2	2	24
		B1.2	Bomba de cebado de combustible con desgaste.	Problemas de partida de motor diesel. Alarma de baja presión de combustible.	Impacto producción. Impacto al medio ambiente. Impacto a indicadores kpi de mantenimiento.	6	1	2	12
		B1.3	Ductos de combustible dañados.	Fuga de combustible. Bajo nivel de combustible. Problemas de arranque de motor diesel.	Impacto producción. Impacto al medio ambiente. Impacto a indicadores kpi de mantenimiento.	6	7	2	84

Fig. 3.3.7 Análisis de modo y efecto de falla de subsistema de combustible de Motor Diésel.

Fuente: Elaboración propia con recopilación de datos obtenidos.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES EN CAMIÓN DE EXTRACCIÓN 797 CATERPILLAR									
SISTEMA : MOTOR DIESEL.		SISTEMA NRO : 16 - 4.		FACILITADOR : J. CARCAMO S.	FECHA : 11-02-2019.	HOJA NRO : 1.			
SUBSISTEMA : SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.		SUBSISTEMA NRO : 16-4-12.		AUDITOR : D. REYES R.	MINERA CENTINELA.	DE : -			
SUBSISTEMA	FALLA FUNCIONAL	NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA	RPN			
						S	O	D	TOTAL
El subsistema de enfriamiento de motor diesel tiene como funcional principal mantener una temperatura adecuada de todos los sistemas del equipo durante la operación	C1.- Falla funcional total: Temperatura de liquido refrigerante inadecuada para los sistemas del motor diesel.	C1.1	Mangueras dañadas.	Detencion inmediata del equipo Bajo nivel refrigerante. Fuga de liquido refrigerante.	Impacto en la producción. Impacto al medio ambiente. Impacto en indicadores de confiabilidad de mantenimiento	6	7	2	84
		C1.2	Modulo radiador obstruido.	Perdida de potencia de motor diesel. Alta temperatura de refrigerante.	Impacto en la producción. Impacto en indicadores mantenimiento.	6	1	2	12
	C2.- Falla funcional total: Flujo insuficiente de liquido refrigerante en motor diesel.	C2.1	Ducto de succión bomba de refrigerante dañada.	Bajo flujo de refrigerante. Detencion inmediata de motor diesel.	Impacto producción. Impacto indicadores kpi mantenimiento Impacto al medio ambiente.	6	2	2	24
		C2.2	Mangueras obstruidas.	Perdida de flujo de refrigerante. Alta temperatura refrigerante.	Impacto producción. Impacto en la producción.	6	6	2	72

Fig. 3.3.8 Análisis de modo y efecto de falla de subsistema de enfriamiento de Motor Diésel.

Fuente: Elaboración propia con recopilación de datos obtenidos.

Listado de Modos de Falla vinculantes al activo evaluado			
Nº	Elemento Mantenible/Reparable/Remplazable	Verbo/Calificativo Evidente para el mantenedor	MF i
MF 1	Bomba Aceite lubricación Motor Diesel	desgastada	Bomba Aceite lubricación Motor Diesel desgastada
MF 2	Enfriador Aceite lubricación	dañado	Enfriador Aceite lubricación dañado
MF 3	Mangueras lubricación	dañadas	Mangueras lubricación dañadas
MF 4	Bomba transferencia combustible	dañadas	Bomba transferencia combustible dañadas
MF 5	Bomba cebado combustible	desgastada	Bomba cebado combustible desgastada
MF 6	Ductos combustible	dañados	Ductos combustible dañados
MF 7	Mangueras enfriamiento Motor Diesel	dañadas	Mangueras enfriamiento Motor Diesel dañadas
MF 8	Modulo radiador	obstruido	Modulo radiador obstruido
MF 9	Ducto succión refrigerante	dañada	Ducto succión refrigerante dañada
MF 10	Mangueras enfriamiento Motor Diesel	Obstruida	Mangueras enfriamiento Motor Diesel Obstruida

Fig. 3.3.9 Tabla Resumen Modo de fallas del Activo.

Elaboración Propia.

Para manejar la información más clara de los Análisis de Modo de fallas y Efectos realizado (tablas de las fig. 3.3.6, fig. 3.3.7, fig. 3.3.8), es necesario crear una tabla resumen en donde se detallan todos los modos de fallas resultantes del análisis del activo físico.

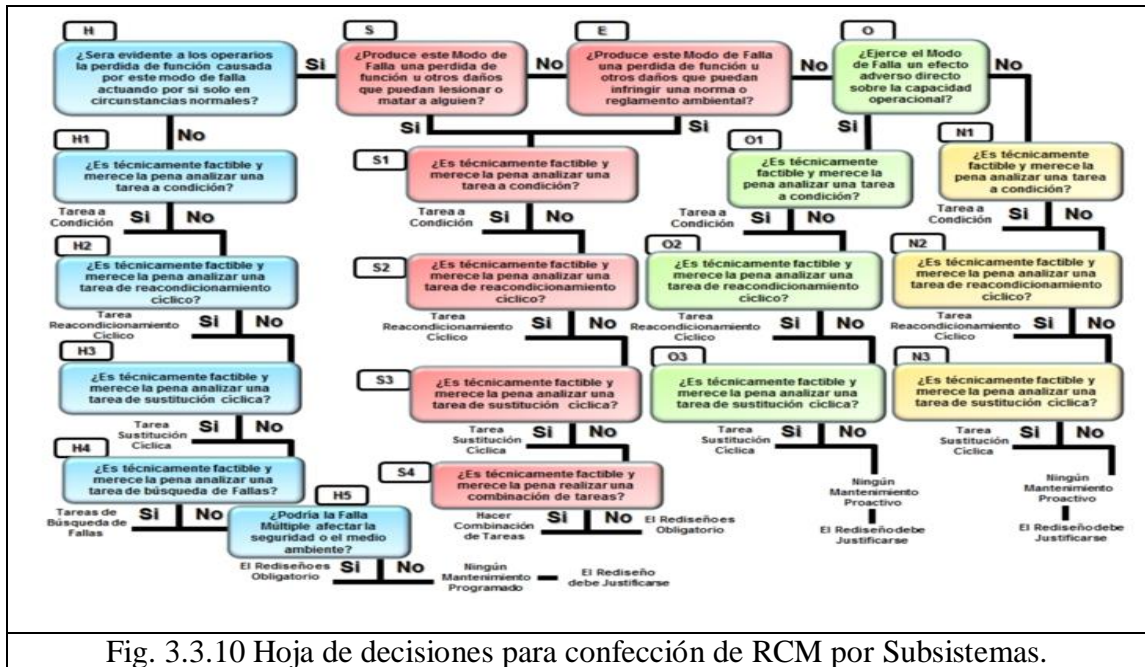


Fig. 3.3.10 Hoja de decisiones para confección de RCM por Subsistemas.

Fuente: Obtenido desde modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La hoja de decisiones de la fig. 3.3.10 permite crear el RCM por subsistema del Motor Diésel como se muestra en las siguientes figuras:

Hoja de Decisión RCM		Sistema Motor Diesel		Facilitador : José Cárcamo Saez												Fecha : 11/01/19			
		Subsistema Sistema de lubricación		Auditor : Daniel reyes												Fecha : 11/01/19			
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "A falta de"			Tareas propuestas			Fecha inicial	Responsable		
							S1	S2	S3									O1	O2
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6							
1	A1	A1.1	S	N	N	S	S										• Verificar horas del componente en Sap. • Realizar medición de presión de bomba de lubricación. • Verificar nivel de aceite con equipo en funcionamiento.	20-01-2019	J.Cárcamo s.
1	A1	A1.2	S	N	N	S	S										• Inspección a válvula derivación enfriador. • Realizar mediciones de diferencias de temperaturas de aceite de lubricación. • Verificar horas de trabajo de enfriador.	20-01-2019	J.Cárcamo s.
1	A1	A1.3	S	N	N	S	S										• Chequeo de niveles con equipo en funcionamiento. • Inspección visual de fugas y eliminar. • Tener registro de mangueras o repuestos reemplazados.	20-01-2019	J.Cárcamo s.

Fig. 3.3.11 RCM de Subsistema de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia en conjunto con Hoja de decisiones.

El resultado del análisis al subsistema de lubricación se obtiene las tareas propuestas del RCM que están demarcada en la fig. 3.3.11 se muestran en fig. 3.3.12 un resumen del análisis del subsistema de lubricación.

NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	TAREAS PROPUESTAS
A1.1	Bomba de aceite de lubricación desgastada.	Verificar horas del componente en Sap. Realizar medicion de presión de bomba de lubricación . Verificar nivel de aceite con equipo en funcionamiento.
A1.2	Enfriador de aceite de lubricación dañado.	Inspección a válvula derivación enfriador. Realizar mediciones de diferencias de temperaturas de aceite de lubricación. Verificar horas de trabajo de enfriador.
A1.3	Mangueras dañadas	Chequeo de niveles con equipo en funcionamiento. Inspección visual de fugas y eliminar, Tener registro de mangueras o repuestos reemplazados.

Fig. 3.3.12 Tareas Propuestas del Análisis al subsistema de lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

Hoja de Decisión RCM		Sistema Motor Diesel		Facilitador : José Cárcamo Saez										Fecha : 25/01/19		
		Subsistema Sistema de Combustible		Auditor : Daniel reyes										Fecha : 25/01/19		
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias					H1	H2	H3	Tareas " A falta de"			Tareas propuestas	Fecha inicial	Responsable
F	FF	MF	H	S	E	D	M1	N2	N3	H4	H5	H6				
1	B1	B1.1	S	N	N	S	S							<ul style="list-style-type: none"> • Testeo de presión de combustible en tiempo real de presión de sistema de lubricación. • Verificar nivel de combustible, chequeo de filtro para observar particulado. 	28-01-2019	J.Cárcamo s.
1	B1	B1.2	S	N	N	S	S							<ul style="list-style-type: none"> • Inspección a mangueras de succión y descarga de bomba de cebado. • Realizar mediciones de presión de combustible. • Verificar horas de trabajo de bomba de cebado. 	8-01-2019	J.Cárcamo s.
1	B1	B1.3	S	N	N	S	S							<ul style="list-style-type: none"> • Chequeo de niveles con equipo en funcionamiento. • Inspección visual de fugas y eliminar, • Tener registro de mangueras o repuestos reemplazados. • Verificar si existe traspaso de combustible a otro sistema. 	28-01-2019	J.Cárcamo s.

Fig. 3.3.13 RCM de Subsistema de Combustible.

Fuente: Elaboración propia en conjunto con Hoja de decisiones.

Las tareas propuestas del análisis RCM al subsistema de combustible fig. 3.3.13 del Motor diésel del camión de extracción 797 Caterpillar que se obtuvieron se detallan en la fig. 3.3.14.

NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	TAREAS PROPUESTAS
B1.1	Bomba de transferencia de combustible dañada.	Testeo de presión de combustible en tiempo real de presión de sistema de lubricación. Verificar nivel de combustible, chequeo de filtro para observar particulado.
B1.2	Bomba de cebado de combustible con desgaste.	Inspección a mangueras de succión y descarga de bomba de cebado. Realizar mediciones de presión de combustible. Verificar horas de trabajo de bomba de cebado.
B1.3	Ductos de combustible dañados.	Chequeo de niveles con equipo en funcionamiento. Inspección visual de fugas y eliminar, Tener registro de mangueras o repuestos reemplazados. Verificar si existe traspaso de combustible a otro sistema.

Fig. 3.3.14 Tareas propuestas del Análisis al subsistema de combustible.

Fuente: Elaboración Propia.

Hoja de Decisión RCM			Sistema Motor Diesel				Facilitador : José Cárcamo Saez										Fecha : 11/02/19		
			Subsistema Sistema de enfriamiento motor diesel				Auditor : Daniel reyes										Fecha : 11/02/19		
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tareas " A falta de "						Tareas propuestas	Fecha inicial	Responsable	
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
1	A3	A3.1	S	N	N	S	S										<ul style="list-style-type: none"> Inspección de mangueras de enfriamiento. Verificar las horas de cambio de mangueras. Chequear fuga o traspaso de líquido refrigerante. 	15-02-2019	J.Cárcamo s.
1	A3	A3.2	S	N	N	S	S										<ul style="list-style-type: none"> Inspección a modulo radiador por contaminación. Realizar presurización de sistema de enfriamiento. Verificar en SAP horas del componente. 	15-02-2019	J.Cárcamo s.
1	A4	A4.1	S	N	N	S	S										<ul style="list-style-type: none"> Inspección a sello de bomba de enfriamiento. Inspección visual de fugas y eliminar, Toma de presiones manometricamente. Verificar si existe traspaso de combustible a otro sistema. 	15-02-2019	J.Cárcamo s.
1	A4	A4.2	S	N	N	S	S										<ul style="list-style-type: none"> Verificar contaminación en sistema de enfriamiento. Toma de registro de valores presión o flujo en sistema. 	15-02-2019	J.Cárcamo s.

Fig. 3.3.15 RCM de Subsistema de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia en conjunto con Hoja de decisiones.

Las tareas propuestas resultantes del análisis RCM del subsistema de enfriamiento del Motor diésel de la fig. 3.3.15 se detallan en fig. 3.3.16.

NUMERO DE FALLO	MODO DE FALLO	TAREAS PROPUESTAS
C1.1	Mangueras dañadas.	Inspección de mangueras de enfriamiento. Verificar las horas de cambio de mangueras. Chequear fuga o traspaso de líquido refrigerante.
C1.2	Modulo radiador obstruido.	Inspección a modulo radiador por contaminación. Realizar presurización de sistema de enfriamiento. Verificar en SAP horas del componente.
C2.1	Ducto de succión bomba de refrigerante dañada.	Inspección a sello de bomba de enfriamiento. Inspección visual de fugas y eliminar. Toma de presiones manométricamente. Verificar si existe traspaso de combustible a otro sistema.
C2.2	Mangueras obstruidas.	Verificar contaminación en sistema de enfriamiento. Toma de registro de valores presión o flujo en sistema.

Fig. 3.3.16 Tareas propuestas del Análisis al subsistema de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Al obtener las tareas propuestas de los tres subsistemas críticos del Motor Diésel se realiza la modificación de las pautas de mantenimiento representadas en fig. 3.3.17; fig. 3.3.18 y fig. 3.3.19.

CENTINELA AUTOPROTECCIÓN MINAS		PAUTA PASO 1 – 797B (250 HR5)		Codigo: CEN-SIPIM-TR-797B-PP1	
				Version: V4-06/2019	
				Fecha Ultima Revisión:	
				Fecha Proxima Revisión: 12/12/2020	
GM- SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas					
1.- ACTIVIDADES SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE MOTOR DIESEL CAT 797					
EQUIPO: _____		FECHA: _____		HOROMETRO: _____	
HORA INICIO: _____		HORA TERMINO: _____		MECÁNICOS: 02 _____	
ACTIVIDADES DENTRO DE TALLER CON EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO			EJECUTADO		
ITEM	EVALUACIÓN DE PRESION LUBRICACIÓN	Nº PARTE	SI	NO	OBSERVACION DE ACUERDO FABRICANTE
1	BOMBA DE LUBRICACION.				PRESION LUBRICACION 120 PSI.
2	HORAS DE TRABAJO DE BOMBA DE LUBRICACION.				
3	NIVEL DE ACEITE DE LUBRICACION.				
ITEM	INSPECCIÓN ENFRIADOR DE ACEITE LUBRICACIÓN	Nº PARTE	SI	NO	ESTADO
3	VÁLVULA DE DERIVACION.				
4	MEDICIÓN DE DIFERENCIAS DE TEMPERATURAS.				SEGUN FABRICANTE DIFERENCIA DE 25 °C.
5	ESTADO DE DUCTOS Y MANGUERAS.				
6	VERIFICACION DE FUGA DE ACEITE LUBRICACION.				

Fig. 3.3.17 Modificación de Pauta de Mantenimiento a Sistema de lubricación.

Fuente: Elaboración propia de pauta de mantenimiento de 250 horas.


	PAUTA PASO 1 – 797B (250 HRS)	Código: CEN-SIPIM-TR-797B-PP1				
		Versión: V4-08/2019 Fecha Última Revisión: Fecha Próxima Revisión: 12/12/2020				
GM- SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas						
2.- ACTIVIDADES SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE MOTOR DIESEL CAT 797						
EQUIPO: _____	FECHA: _____	HOROMETRO: _____				
HORA INICIO: _____	HORA TÉRMINO: _____	MECÁNICOS: 02 _____				
ACTIVIDADES DENTRO DE TALLER CON EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO. EJECUTADO						
ITEM	EVALUACION DE PRESION DE COMBUSTIBLE	N° PARTE	Ejecutado	No ejecutado	OBSERVACION	
1	TESTEO DE PRESION BOMBA DE TRANSFERENCIA.	P182038			FABRICANTE 90 FSL	
2	TESTEO DE PRESION BOMBA DE CEBADO DE COMBUSTIBLE.	P551808			FABRICANTE 36 FSL	
3	HORAS DE TRABAJO BOMBA TRANSFERENCIA.					
4	HORAS DE TRABAJO BOMBA DE CEBADO DE COMBUSTIBLE.					
ITEM	INSPECCION DE SISTEMA DE COMBUSTIBLE	N° PARTE	Ejecutado	No ejecutado	OBSERVACION	
5	VERIFICAR NIVEL DE COMBUSTIBLE.					
6	DESMTAR E INSPECCIONAR TAPON MAGNETICO DE BOMBA TRANSFERENCIA.					
7	VERIFICAR FUGAS DE COMBUSTIBLE CON EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO					
8	TOMA DE MUESTRAS APD DE SISTEMAS ADYACENTES PARA VERIFICAR TRASFASOS INTERNOS DE COMBUSTIBLE.					

Fig. 3.3.18 Modificación de Pauta de Mantenimiento de Sistema de Combustible.

Fuente: Elaboración propia de pauta de mantenimiento de 250 horas.


	PAUTA PASO 1 – 797B (250 HRS)	Versión: V4-08/2019 Fecha Última Revisión: Fecha Próxima Revisión: 12/12/2020				
		GM- SI Confiabilidad y Mejoramiento Minas				
3.- ACTIVIDADES DE ENFRIAMIENTO DE MOTOR DIESEL 797.						
EQUIPO: _____	FECHA: _____	HOROMETRO: _____				
HORA INICIO: _____	HORA TÉRMINO: _____					
ACTIVIDADES DENTRO TALLER EJECUTADO						
ITEM	CAMBIOS DE ACEITE Y FILTROS	N° PARTE	Ejecutado	No Ejecutado	OBSERVACION	
1	INSPECCION DEL ESTADO DE MANGUERAS ENFRIAMIENTO.					
2	VERIFICACIÓN DE FUGAS CON EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO.					
3	HORAS DE TRABAJO DE MANGUERAS QUE SE ACERCA AL CUMPLIMIENTO DE VIDA ÚTIL.					
4	TOMA DE MUESTRA DE LÍQUIDO REFRIGERANTE.					
5	INSPECCION VISUAL AL INTERIOR MODULO RADIADOR POR PRESENCIA DE CONTAMINACIÓN.					
6	INSPECCIÓN EXTERIOR DE MODULO RADIADOR SI PRESENTA OBSTRUCCIÓN.					
7	INSPECCIÓN VISUAL EXTERIOR A SELLO BOMBA DE ENFRIAMIENTO.					
8	MEDICIÓN DE PRESIÓN DE BOMBA DE ENFRIAMIENTO.					
9	VERIFICAR HORAS DE TRABAJO DE BOMBA DE ENFRIAMIENTO.					
10	TOMA DE REGISTRO DE DIFERENCIAS DE TEMPERATURA EN MODULO RADIADOR Y DEJAR REGISTRO EN SAP.					

Fig. 3.3.19 Modificación de Pauta de Mantenimiento de Sistema de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia de pauta de mantenimiento de 250 horas.

Las nuevas tareas propuestas en las pautas de mantenimiento se deben ejecutar inicialmente en las ocho pautas de mantenimiento divididas cada 250 horas para verificar los resultados, en las nuevas pautas se agrega 01 Mantenedor Mecánico al mantenimiento preventivo de los camiones de extracción, en total el personal encargado de ejecutar el mantenimiento deben ser 03 Mantenedores mecánicos y 01 Mantenedor eléctrico, a la vez analizar la cantidad de horas de mantenimiento según las pautas modificadas ya que inicialmente la duración era de 12 horas teniendo en cuenta que el mantenimiento preventivo es para todos los sistemas del camión de extracción 797, sistemas de motor diésel, sistema de frenos, sistema de transmisión, sistema eléctrico de 24 volt y sistema de dirección .

Durante el análisis inicial de las pautas de mantenimiento se observa repetición de tareas en cada pauta, para concluir la mejora en las pautas, al agregar las nuevas tareas se debe analizar nuevamente las pautas, se tomará como referencia solo dos pautas de mantenimiento 250 horas y 750 horas siguiente información técnica de fabricante CATERPILLAR.

CATERPILLAR indica que cada 500 horas se debe realizar lo detallado en la fig. 3.3.20.

Cada 500 horas de servicio o cada 3 meses
<u>Aire acondicionado - Comprobar</u>
<u>Filtro del aire acondicionado - Limpiar</u>
<u>Secador de aire - Comprobar</u>
<u>Depósito de lubricación automática - Llenar</u>
<u>Correas - Inspeccionar/Ajustar/Reemplazar</u>
<u>Acumulador del freno - Comprobar</u>
<u>Filtro del aceite de accionamiento de los frenos - Reemplazar</u>
<u>Filtro de aceite de enfriamiento del freno - Reemplazar</u>
<u>Filtro de aire de la cabina - Limpiar/Reemplazar</u>
<u>Cable de retención de la caja del camión - Inspeccionar</u>
<u>Muestra de refrigerante del sistema de enfriamiento (Nivel 1) - Obtener</u>
<u>Aceite del diferencial y de los mandos finales - Inspeccionar</u>
<u>Filtro de aceite del diferencial y de los mandos finales - Reemplazar</u>
<u>Muestra de aceite del diferencial y mando final - Obtener</u>
<u>Respiradero del acoplamiento del motor - Limpiar</u>
<u>Filtro del aceite del acoplador del motor - Reemplazar</u>
<u>Muestra de aceite del acoplamiento del motor - Obtener</u>
<u>Respiradero del cárter - Limpiar</u>
<u>Respiradero del cárter - Limpiar</u>
<u>Filtro del aceite del motor (Sistema de renovación de aceite) - Cambiar</u>
<u>Filtro del aceite del motor (Sistema de renovación de aceite) - Cambiar</u>
<u>Muestra de aceite del motor - Obtener</u>
<u>Aceite y filtro del motor - Cambiar</u>
<u>Aceite y filtro del motor - Cambiar</u>
<u>Bastidor - Limpiar/Inspeccionar</u>
<u>Aceite de las ruedas delanteras - Cambiar</u>
<u>Muestra de aceite de la rueda delantera - Obtener</u>
<u>Filtro de combustible (Sistema de renovación de aceite - Reemplazar</u>

Fig. 3.3.20 Servicio de Mantenimiento cada 500 horas.

Fuente: Información obtenida desde fabricante SISWEB CAT.

De acuerdo con información obtenida desde sistema de información Caterpillar, el fabricante entrega un listado cada 500 horas de las tareas que se deben ejecutar en los equipos, al modificar las tareas de mantenimiento esto permitirá agregar las nuevas mejoras a las pautas permitiendo que se puedan realizar dentro de las 9,5 horas en que está programado el mantenimiento preventivo.

3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MEJORAMIENTO GENERAL

La propuesta de mejoramiento en este trabajo de título no se enfoca de manera directa a una evaluación económica o a un estudio de mercado, se da un enfoque a una evaluación costos beneficio ya que anualmente se disponen de recursos económicos, el mejoramiento permitirá reducir costos que se destinaran para el año siguiente y con ello destinar recursos a otra área de la compañía minera.

Los costos generados por la cantidad de mantenciones preventivas realizadas durante el periodo se reflejan en tabla de fig. 3.4.1, se detallan costos de mano de obra del mantenedor, cantidad de mantenedores, cantidad de repuestos y horas de duración del mantenimiento preventivo.

Plan de mantención (horas)	Costo mano de obra por hora mantenedor (usd)	Costo mano de obra por Mantenedor (usd)	Cantidad de Mantenedores	Costos mano de obra total (usd)	Costos en repuestos (usd)	Duración de Mantención (horas)
250	\$35,76	\$339,68	3	\$1.019,03	\$5.060,60	9,5
750	\$35,76	\$339,68	3	\$1.019,03	\$5.060,60	9,5

Fig. 3.4.1 Costos económico de ejecución pautas mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración Propia.

El costo total del mantenimiento se dividen entre mano de obra y costos por repuestos, con participación de 03 mantenedores con un costo total mano de obra de \$1019,03 USD, los costos de repuestos es de \$5060,60 USD utilizados en el mantenimiento, dando un costo de \$6079,63 USD, asociados a la ejecución de solo 1 pauta de mantenimiento preventivo de 250 horas.

El activo presenta un Horizonte de funcionamiento de 5760 horas, de acuerdo a este tiempo, se realizan aproximadamente 23 mantenciones cada 250 horas con un costo total de mantenimiento preventivo de \$139831,49 USD.

Al enfocarse a la cantidad de imprevistos que presenta durante los meses de Enero a Septiembre 2018, es de 77 imprevistos que se dividen en 48 averías en repuestos y 29 averías por relleno de fluidos.

Ítem	Repuestos	Averías	T. Esperado Ejecución por una avería (horas)	Detiene o No Detiene Activo	HH Especialidad (horas)/(usd)			Costos (Rep & Mat & Herr & Serv) (usd)		
					HH Esp 1	HH Esp 2	Costos HH	Repuestos	Ins & Materiales	Herramientas
1	Manguera Aceite lubricación	7	2	1	14	14	\$ 1.001,28	\$ 1.549,87	\$ 16.453,50	\$ 350,00
2	Manguera Lubricación coupling.	7	2,07	1	14,49	14,49	\$ 1.036,32	\$ 1.082,90	\$ 5.484,50	\$ 315,00
3	Ducto enfriamiento Motor.	5	2	1	10	10	\$ 715,20	\$ 1.562,50	\$ 7.835,00	\$ 175,00
4	Ducto retorno aceite lubricación.	4	2,13	1	8,52	8,52	\$ 609,35	\$ 1.802,40	\$ 5.014,40	\$ 180,00
5	Motor cebado.	2	4	1	8	8	\$ 572,16	\$ 1.623,66	\$ 1.567,00	\$ 60,00
6	Bomba combustible.	3	5	1	15	15	\$ 1.072,80	\$ 4.697,40	\$ 8.712,00	\$ 150,00
7	Manguera retorno combustible.	7	3	1	21	21	\$ 1.501,92	\$ 774,90	\$ 1.270,50	\$ 315,00
8	Bomba cebado.	3	2,5	1	7,5	8	\$ 536,40	\$ 5.162,40	\$ 1.410,30	\$ 75,00
9	Manguera carga combustible.	4	3	1	12	12	\$ 858,24	\$ 800,40	\$ 15.670,00	\$ 100,00
10	Modulo Radiador.	1	33	1	33	33	\$ 2.360,16	\$ 14.500,50	\$ 4.356,00	\$ 150,00
11	Motor Diesel.	1	48	1	48	48	\$ 3.432,96	\$ 45.012,75	\$ 9.057,00	\$ 200,00
12	Bomba lubricación.	2	4	1	8	8	\$ 572,16	\$ 3.841,20	\$ 6.268,00	\$ 80,00
13	Enfriador aceite lubricación.	2	4,80	1	9,6	9,60	\$ 686,59	\$ 8.750,74	\$ 12.076,00	\$ 90,00
		48			209,11	209,11	\$ 14.955,55	\$ 91.161,62	\$ 95.174,20	\$ 2.240,00

Detención del Activo	Costos Lubricantes
1	si 15W40 \$15,67
2	no RF \$7,26

Fig. 3.4.2 Tabla de costos asociados a 48 Imprevistos.

Fuente: Elaboración Propia.

En tabla fig. 3.4.2 se ingresan costos asociados a imprevistos, esta tabla fue generada por el análisis de datos del historial de detenciones del activo, como resultado se obtienen los 13 ítem de repuestos con la cantidad de averías durante operación, en cada avería se indica la cantidad de mano de obra junto a costos total de los repuestos utilizados en todas las averías, materiales y herramientas utilizadas durante el imprevisto, la suma total de los costos originados por fallas en repuestos es de \$ 203531,37 USD.

Las 29 averías que no están en tabla anterior originadas por relleno de fluidos por Bajo nivel de Aceite de Motor y líquido refrigerante generan un costo total de \$108.846,08 USD. (fig.3.4.3).

Costo de relleno de fluidos						
Fluido	Cantidad de Imprevistos	Litros	Costo Unitario usd x (litro).	HH 2 Mantenedores	Costos HH usd.	Costo total usd.
Aceite de Motor	16	3200	\$15,67	32	\$ 1.144,32	\$51.288,32
Líquido Refrigerante	13	7800	\$7,26	26	\$ 929,76	\$57.557,76
Total	29	11000		58	\$ 2.074,08	\$108.846,08

Fig. 3.4.3 Tabla Costos Imprevistos por Relleno fluidos.

Fuente: Elaboración Propia.

En análisis del comportamiento del activo, se identifican tiempos de detención bastante altos debido a problemas de stock de repuestos en bodega, esto ha generado un costo

económico que se dividen entre los tiempos de espera en que llegue el repuesto, ha esto sumado el costo económico por el traslado de repuestos a faena minera desde la ciudad de Antofagasta y Sucursal La negra de Finning Chile S.A.

En fig. 3.4.4. Se especifican 6 ítem repuestos sin stock en bodega en faena, en tabla se ingresaron datos de cantidad de imprevistos, tiempos de llegada de repuestos a faena, y costos económicos por traslado de repuestos, un dato importante se agrega en tabla que tiene relación a los costos por perdida de movimiento de mineral al esperar la llegada de un repuesto.

Repuestos sin stock	Cantidad	Tiempo total de llegada repuesto a faena (horas)	Costos de traslado de repuestos por repuesto (usd)	Costos total de traslado de repuestos (usd)	Costos perdida movimiento por espera (usd)
Manguera aceite lubricación	3	12	\$ 279,60	\$ 838,80	\$ 44.642,76
Manguera lubricación coupling	4	10	\$ 145,81	\$ 583,24	\$ 37.202,30
Ducto enfriamiento Motor	2	13	\$ 174,76	\$ 349,52	\$ 48.362,99
Bomba de combustible	1	9	\$ 357,56	\$ 357,56	\$ 33.482,07
Manguera retorno combustible	3	14	\$ 279,60	\$ 838,80	\$ 52.083,22
Manguera carga combustible	2	16	\$ 156,42	\$ 312,84	\$ 59.523,68
Total	15	74	\$ 1.393,75	\$ 3.280,76	\$ 275.297,02

Fig. 3.4.4 Costos por traslado de repuestos no disponibles en bodega.

Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar el cálculo del costo total de imprevisto del activo, se recopila la información relacionada a las cantidad de detenciones, tiempos de detención total, cantidad de material sin movimiento durante las averías, costos por averías en repuestos, costos por tiempo de demora de llegada de un repuestos por bajo stock en bodega, todos estos datos son ingresados en tabla de fig. 3.4.5 en donde el total de los costos por imprevistos durante los meses de Enero a Septiembre 2018 es de \$ 2306949,69 USD.

Resumen de costos de imprevistos	
	Datos Imprevistos iniciales
Cantidad de imprevistos por averias en repuestos	48
Cantidad de imprevistos por relleno de fluidos	29
Total de Imprevistos (Averia repuestos + Relleno Fluidos)	77
Tiempo detención por imprevistos camión 12 (horas)	521,22
Costo por detención total sin movimiento camión 12 (usd)	\$ 1.939.058,28
Costos total de imprevistos camión 12 (usd)	\$ 330.613,75
Costos de mano de obra detenciones caex 12(usd) (02 Mantenedores)	\$ 37.277,65
Total de Imprevistos	\$ 2.306.949,69

Fig. 3.4.5 Tabla resumen costos por imprevistos.

Fuente: Elaboración Propia.

Para proponer una mejora en la cantidad de imprevistos que han ocurrido entre los meses de enero a septiembre del año 2018 en donde el activo presentó un Mtbf bajo lo solicitado por el departamento de confiabilidad, se realizó directamente en aumentar la disponibilidad de los repuestos más críticos en 1%, sobre esa base realizar cálculos costos y con ello generar la propuesta de la cantidad de repuestos adquirir fig. 3.4.6.

Repuestos	Detenciones	Duración (horas)	Mtbf (horas)	Tasa de Fallas (fallas/hora)	Mttr (horas)	As
Manguera Aceite lubricación	7	14	846,57	0,001181	2	99,76%
Manguera Lubricación coupling.	7	14,49	846,50	0,001181	2,07	99,76%
Ducto enfriamiento Motor.	5	10	1186,00	0,000843	2	99,83%
Ducto retorno aceite lubricación.	4	8,52	1482,87	0,000674	2,13	99,86%
Motor cebado.	2	8	2966,00	0,000337	4	99,87%
Bomba combustible.	3	15	1975,00	0,000506	5	99,75%
Manguera retorno combustible.	7	21	845,57	0,001183	3	99,65%
Bomba cebado.	3	7,5	1977,50	0,000506	2,5	99,87%
Manguera carga combustible.	4	12	1482,00	0,000675	3	99,80%
Modulo Radiador.	1	33	5907,00	0,000169	33	99,44%
Motor Diesel.	1	48	5892,00	0,000170	48	99,19%
Bomba lubricación..	2	8	2966,00	0,000337	4	99,87%
Enfriador aceite lubricación.	2	9,6	2965,20	0,000337	4,8	99,84%
	48	209,11				96,53%

Fig. 3.4.6 Tabla de Disponibilidad Esperada sin mejora.

Fuente: Elaboración Propia.

El diagrama lógico funcional es sistema serie, en donde los datos de disponibilidad esperada a la falla del sistema se calcula como el producto de todas las disponibilidades de repuestos críticos, sobre esta disponibilidad se propone un aumento del 1% para analizar los costos beneficios pensando en el resultado inicial apoyado por el plan de mantenimiento con nuevas tareas propuestas que se vieron en capítulos anteriores.

Repuestos	Detenciones	Duración (horas)	Mtbf (horas)	Tasa de Fallas (fallas/hora)	Mttr (horas)	As
Manguera Aceite lubricación	5	10	1186,00	0,000843	2	99,83%
Manguera Lubricación coupling.	5	10,35	1185,93	0,000843	2,07	99,83%
Ducto enfriamiento Motor.	2	4	2968,00	0,000337	2	99,93%
Ducto retorno aceite lubricación.	2	4,26	2967,87	0,000337	2,13	99,93%
Motor cebado.	1	4	5936,00	0,000168	4	99,93%
Bomba combustible.	1	5	5935,00	0,000168	5	99,92%
Manguera retorno combustible.	4	12	1482,00	0,000675	3	99,80%
Bomba cebado.	2	5	2967,50	0,000337	2,5	99,92%
Manguera carga combustible.	2	6	2967,00	0,000337	3	99,90%
Modulo Radiador.	1	33	5907,00	0,000169	33	99,44%
Motor Diesel.	1	48	5892,00	0,000170	48	99,19%
Bomba lubricación..	1	4	5936,00	0,000168	4	99,93%
Enfriador aceite lubricación.	1	4,8	5935,20	0,000168	4,8	99,92%
	28	150,41				97,49%

Fig. 3.4.7 Tabla de Mejora de Disponibilidad Esperada a la Falla.

Fuente: Elaboración Propia

En tabla de fig. 3.4.7 se refleja los resultados obtenidos para llegar a 97% de disponibilidad esperada, en donde se aumento en 1% más la disponibilidad, esto originará modificaciones en las cantidades de repuestos y beneficios económicos que presentan cada una de las averías (fig. 3.4.8), todo proyectado a un horizonte de 5940 horas.

Ítem	Repuestos	Averías	T. Esperado Ejecución	Detiene o No Detiene	HH Especialidad (horas)/(usd)			Costos (Rep & Mat & Herr & Serv) (usd)		
					HH Esp 1	HH Esp 2	Costos HH	Repuestos	Ins & Materiales	Herramientas
1	Manguera Aceite lubricación	5	2	1	10	10	\$ 715,20	\$ 1.107,05	\$11.752,50	\$ 250,00
2	Manguera Lubricación coupling.	5	2,07	1	10,35	10,35	\$ 740,23	\$ 773,50	\$ 3.917,50	\$ 225,00
3	Ducto enfriamiento Motor.	2	2	1	4	4	\$ 286,08	\$ 625,00	\$ 3.134,00	\$ 70,00
4	Ducto retorno aceite lubricación.	2	2,13	1	4,26	4,26	\$ 304,68	\$ 901,20	\$ 2.507,20	\$ 90,00
5	Motor cebado.	1	4	1	4	4	\$ 286,08	\$ 811,83	\$ 783,50	\$ 30,00
6	Bomba combustible.	1	5	1	5	5	\$ 357,60	\$ 1.565,80	\$ 2.904,00	\$ 50,00
7	Manguera retorno combustible.	4	3	1	12	12	\$ 858,24	\$ 442,80	\$ 726,00	\$ 180,00
8	Bomba cebado.	2	2,5	1	5	5	\$ 357,60	\$ 3.441,60	\$ 940,20	\$ 50,00
9	Manguera carga combustible.	2	3	1	6	6	\$ 429,12	\$ 400,20	\$ 7.835,00	\$ 50,00
10	Modulo Radiador.	1	33	1	33	33	\$ 2.360,16	\$ 14.500,50	\$ 2.904,00	\$ 150,00
11	Motor Diesel.	1	48	1	48	48	\$ 3.432,96	\$ 45.012,75	\$ 9.057,00	\$ 200,00
12	Bomba lubricación..	1	4	1	4	4	\$ 286,08	\$ 1.920,60	\$ 3.134,00	\$ 40,00
13	Enfriador aceite lubricación.	1	4,8	1	5	5	\$ 343,30	\$ 4.375,37	\$12.076,00	\$ 45,00
		28			150,41	150,41	\$10.757,32	\$ 75.878,20	\$61.670,90	\$ 1.430,00

Fig. 3.4.8 Tabla de costos con mejora imprevistos

Elaboración Propia.

Durante el período de evaluación han existidos costos por la adquisición de repuestos, asociadas a deficiencias por parte de bodega de suministrar repuestos al momento que el activo presenta un imprevisto, al no existir un stock en bodega ha sido necesario que el cliente coordine la llegada del o los repuestos asumiendo los costos.

Para que esto no ocurra se realizarán cálculos de la cantidad óptima que permitirá obtener una cantidad de ítem en cada pedido obteniendo el menor costo para mantener un inventario, el cálculo matemático se realizará con la fórmula de la fig. 3.4.9.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times K \times D_{\text{Anual}}}{H}}$$

Fig. 3.4.9 Fórmula Matemática Cálculo de Cantidad Óptima.

Fuente: Fundamentos de gestión de inventario, Luis Andrés Zapata Cortés.

Q* : Cantidad óptima (cantidad de ítem en cada pedido para obtener el menor costo)

K : Costo de la Gestión de Reponer el ítem, independiente de la cantidad de unidades que se compran en cada pedido [Costo de Adquisición]

D_{anual} : Demanda anual del ítem

H : Costo de almacenamiento por unidad, costo de mantenimiento

$$\bullet CT = D_{Anual} * P + \frac{D_{Anual}}{Q} * K + \frac{Q}{2} * H$$

CT : Costo total.

D_{Anual} : Demanda Anual.

P : Precio de compra unitario.

Q : Cantidad Real Comprada.

K : Costo de Adquisición de una orden.

H : Costo de almacenamiento por unidad.

Fig. 3.4.10 Fórmula Cálculo de Costo Total.

Fuente: Fundamentos de gestión de inventario, Luis Andrés Zapata Cortés.

Para realizar el cálculo del cantidad óptima o denominada como EOQ, será necesario primeramente conocer el concepto de costo total anual, se describirá de acuerdo a la fórmula representada en la fig. 3.4.10, el costo total anual consiste en la sumatoria entre el costo de compra que es el costo de los bienes, el costo de ordenar es el costo de adquisición de una orden y el costo de mantener un inventario.

Al identificar los costos que forman parte del costo total anual de inventario nos enfocaremos en el cálculo de la cantidad óptima a pedir ya que es el cálculo del tamaño del lote con que se disminuyen los costos normales de operación, en muchas empresa el modelo de lote se utiliza como herramientas de gestión de inventarios de acuerdo a lo que describiremos en la fig. 3.4.11.

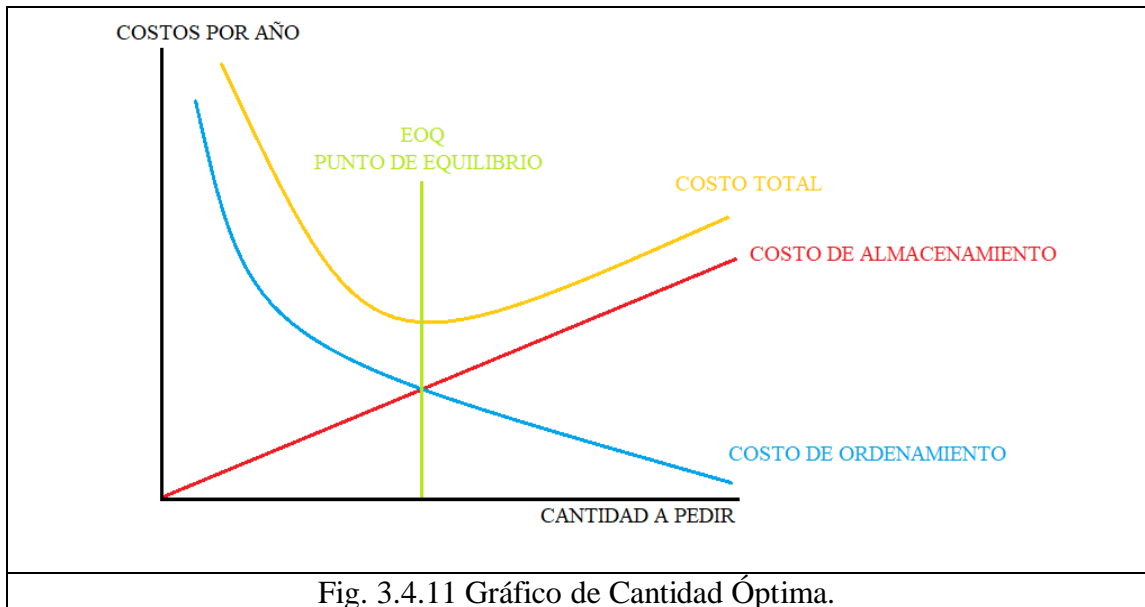


Fig. 3.4.11 Gráfico de Cantidad Óptima.
 Fuente: Libro de Mantenimiento Alberto Mora Gutierrez.

En gráfico se ve reflejado la definición del EOQ en donde el punto equilibrio es el resultado de la intersección de los costos de ordenamiento y los costos de almacenamiento de acuerdo a lo que busca el modelo de lote en donde el costo total esta en el punto en donde los costos por año es menor, existen varias representaciones gráficas que se podrían dar de acuerdo a la cantidad a pedir, si la cantidad a pedir fuera minima el costo de almacenamiento seria minimo pero el costo de orden seria bastante alto y no existiría un punto de equilibrio, pero si la cantidad a pedir fuera excesiva el costo de almacenamiento será bastante al igual que el costo total, a diferencia del costo de ordenamiento tendrá un menor costo.

Inicialmente el activo al presentar una alta cantidad de imprevistos, bodega no suministraba los repuestos ya que no mantenía un stock en sus inventarios, por ende, mantenimiento tomaba la opción de adquirir los costos de traslado de los repuestos para que pudieran llegar lo antes posible a faena.

En trabajo de título al buscar el mejoramiento en las pautas de mantenimiento y los imprevistos, se busca que la cantidad de imprevistos pueda estar coordinado con el stock de repuestos que se necesita para atender los imprevistos.

Se elabora tabla de costos (fig. 3.4.12) en donde se reflejan los resultados de cálculos matemáticos utilizando fórmula de cantidad óptima de repuestos, que permitirá satisfacer las necesidades del area de mantenimiento cuando el activo presente averías en repuestos, el objetivo es que exista un stock en bodega disminuyendo los costos y tiempos de adquisición de respuestos cuando se encuentren en otra sucursal, una menor cantidad de

averías y menor utilización de repuestos permitirá obtener un menor costo económico en comparación con la tabla de fig. 3.4.2.

Repuesto	N° parte	D.anual	Precio unitario. (usd)	Q.	n	k (usd)	t (días)	H (usd)	Días entre pedidos	Costo total (usd)
Manguera.	334-3676	5	\$ 221,41	3	1,5	\$ 12	5	\$ 11,07	237	\$ 1.143,50
Manguera.	273-3538	5	\$ 154,70	4	1,3	\$ 12	5	\$ 7,74	284	\$ 803,97
Ducto.	394-9671	2	\$ 312,50	2	1,3	\$ 10	3	\$ 15,63	288	\$ 650,00
Ducto.	375-86687	2	\$ 450,60	1	1,5	\$ 10	3	\$ 22,53	240	\$ 931,22
Motor cebado.	378-3236	1	\$ 811,83	0	2,0	\$ 5	3	\$ 40,59	179	\$ 831,98
Bomba combustible.	464-9988	1	\$ 1.565,80	0	2,8	\$ 5	3	\$ 78,29	129	\$ 1.593,78
Manguera.	366-8500	4	\$ 110,70	4	1,0	\$ 12	5	\$ 5,54	375	\$ 465,85
Bomba cebado.	416-0611	2	\$ 1.720,80	1	2,4	\$ 15	4	\$ 86,04	150	\$ 3.513,45
Manguera.	273-3538	2	\$ 200,10	2	1,0	\$ 10	5	\$ 10,01	360	\$ 420,20
Modulo Radiador.	245-8213	1	\$ 14.500,50	1	1,9	\$ 100	5	\$ 725,03	189	\$ 14.881,30
Motor Diesel.	113-4573	1	\$ 45.012,75	1	1,5	\$ 500	5	\$ 2.250,64	240	\$ 46.512,96
Bomba lubricación..	464-9988	1	\$ 1.920,60	0	2,2	\$ 10	3	\$ 96,03	164	\$ 1.964,42
Enfriador aceite lubricación.	324-6579	1	\$ 4.375,37	1	1,5	\$ 50	3	\$ 218,77	243	\$ 4.523,28
		28								\$ 78.235,91

Fig. 3.4.12 Cálculo de cantidad optima y costos totales con mejoramiento.

Fuente: Elaboración propia.

Con datos de costos económicos en imprevistos iniciales y sus mejoras, se elabora una tabla de resumen (fig. 3.4.13) en donde se pueden comparar ambos costos, dentro de los datos de imprevistos iniciales aparecen costos repuestos sin stock inventario a diferencia de datos imprevisto con mejoramiento no aparece ningún costo asociado, ya que la mejora se enfoca en mantener un stock de repuestos disponibles durante alguna avería.

Resumen comparativo de costos con mejoramiento		
	Datos Imprevistos iniciales	Datos Imprevistos con Mejoramiento
Cantidad de imprevistos por averías en repuestos	48	28
Cantidad de imprevistos por relleno de fluidos	29	18
Total de Imprevistos (Avería repuestos + Relleno Fluidos)	77	46
Tiempo detención por imprevistos camión 12 (horas)	521,22	168,41
Costo por detención total sin movimiento camión 12 (usd)	\$ 1.939.058,28	\$ 626.523,93
Costos total de imprevistos camión 12 (usd)	\$ 330.613,75	\$ 193.979,78
Costos de mano de obra detenciones caex 12(usd) (02 Mantenedores)	\$ 37.277,65	\$ 12.044,68
Total de Imprevistos	\$ 2.306.949,69	\$ 832.548,40

Fig. 3.4.13 Tabla resumen costos económicos con mejoramiento.

Fuente: Elaboración Propia.

Los beneficios porcentuales que existen entre los imprevistos del periodo evaluado y el mejoramiento en relación a cantidad de imprevistos es de un 43% y de costos un 36,08 % de beneficios.

En tabla de fig. 3.4.14 se representan cada uno de los costos junto a las diferencias económicas que existen con la propuesta de mejora que se propone en este trabajo de título, a esto se traduce en las ganancias que se podrían obtener con esta propuesta.

Tabla Comparativa de reducción de costos económicos			
	Costos de Mantenimiento cada 250 horas (usd)	Costos de perdida Mineral por detención Activo (usd)	Costos Total por Imprevistos (usd)
Imprevistos Periodo evaluado 2018	\$ 6.079,63	\$ 1.939.021,08	\$ 2.630.057,69
Imprevisto con Mejoramiento	\$ 6.419,48	\$ 626.523,93	\$ 832.548,40
Ganancias total		\$ 1.312.497,15	\$ 1.797.509,29

Fig. 3.4.14 Tabla Comparativa de costos con Mejoramiento.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN

Durante el desarrollo de este trabajo de título el alumno se interioriza aún más en conceptos y la forma de trabajo del Área de planificación en los indicadores de gestión en Minera Centinela, en ocasiones el trabajador no toma importancia de estos temas que afectan directamente al área de mantenimiento.

Mediante la ejecución del trabajo de título se recopila información de manera satisfactoria con área de planificación, área de confiabilidad, área de mantenimiento, área de monitoreo de condiciones de activo físico, fue de gran importancia durante este proceso ingresar a enlaces de intranet de la Compañía Minera para adquirir datos del comportamiento de Flota de Camiones de Extracción 797 Caterpillar identificando y demostrar el sistema crítico de la flota.

El mantenimiento preventivo es parte fundamental a la hora de mantener una flota 100% operativa, en ocasiones se cometen errores o pasos de la etapa del mantenimiento que no se efectúa correctamente por el trabajador, ocasionando imprevistos y el efecto que origina es una disminución de la vida útil del activo junto a una baja en los indicadores de mantenimiento.

Se analizaron las pautas de mantenimiento que se realizan cada 250 horas, y se proponen mejoras en cada una de ellas, se identifican pasos que en ocasiones no es de importancia que sea realizado dejando de lado otro sector que podría ser más crítico, se ha detectado que las pautas son copias de otras pautas de mantenimiento de otras faenas mineras y mantenimiento no ha buscado mejoras ,por ejemplo, el listado de repuestos ya que en ocasiones en el listado están los repuestos repetidos y eso ha generado un costo económico que se podría haber evitado.

En la propuesta de trabajo de título se toman en cuenta dos temas importantes en el mantenimiento, uno relacionado al mantenimiento y otro al inventario de stock de bodega existente en Minera Centinela, se proponen nuevas tareas para las pautas de mantenimiento, en el mismo tiempo en horas que tiene estipulado el área de planificación pero agregando un trabajador más a la pauta preventiva, no dejando de lado que los trabajos deben ser ejecutados con calidad por todas las áreas involucradas en la ejecución del mantenimiento.

Finning Chile S.A actualmente presta servicios de control de inventario de repuestos ha presentado dificultad para suministrar repuestos en faena, esta mala coordinación golpea directamente a los indicadores de mantenimiento, para ello se propone un suministro de una cantidad de repuestos cada cierto tiempo para que no exista un déficit de inventario por flota, y así el área de mantenimiento mantenga una respuesta rápida ante imprevistos operacionales, con ello, aumentar la vida útil del equipo, disminuir los costos asociados por repuestos no disponibles en faena y generar un aumento en los indicadores de gestión de Minera Centinela.

BIBLIOGRAFÍA

Alberto Mora Gutiérrez. (2009). **Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control.**

Alfaomega Grupo Editor, S.A, México.

John Mitchell Moubray IV. Segunda Edición 1997, **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

Aladon LLC, Asheville, North Carolina, 28803, USA.

Luis Amendola, Ph.D. (2002). **Modelos Mixtos de Confiabilidad.**

Empresa Datastream, Valencia, España.

Julián Andrés Zapata Cortez. (2014). **Libro de Fundamentos de gestión de inventario.**

Centro Editorial Esumer, Medellín, Colombia.