



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE GESTION PARA REDUCCIÓN DE COSTOS OPTIMIZANDO EL  
DESEMPEÑO POR COMPONENTE EN EQUIPOS MINEROS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENERO CIVIL DE MINAS

MARÍA JOSÉ BAHAMÓNDEZ BRAVO

PROFESOR GUÍA:  
CARLOS IGNACIO LLANOS PARADA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JUAN ALBERTO MONTES ABALLAY  
HANS GOPFERT HIELBIG

SANTIAGO DE CHILE  
2017

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo e implementación de un sistema de gestión para mejorar el desempeño, que se encuentra bajo lo esperado, que presentan los componentes de los equipos de carguío y transporte en Minera Escondida; específicamente se busca aumentar la seguridad del operador, reducir el costo asociado al bajo desempeño por componente y mantener la continuidad de la operación.

Este sistema de gestión busca alcanzar los planes de producción y los KPI's que presenta la Gerencia de Operaciones Mina y así conseguir llegar al objetivo de "Escondida 3.0", el cual busca ser la mina más grande de cobre del mundo a julio del 2017.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizará la metodología Six Sigma, la cual busca, en primer lugar, identificar aquel componente que no está cumpliendo con la vida útil esperada, luego se analizará e identificará la principal causa del desgaste prematuro, para posteriormente seleccionar un sistema de medición de esta causa y a partir de este sistema evaluar los parámetros iniciales y los requerimientos de la compañía minera para así implementar distintos tipos de mejoras.

Se identificó que los componentes que no cumplen con la vida útil esperada corresponden a los motores de tracción para el caso de los equipos de transporte, y los cables y baldes para el caso de los equipos de carguío. El desgaste prematuro de estos componentes se debe principalmente a las malas prácticas operacionales por parte de los operadores de estos equipos. Este factor se midió a través de eventos operacionales relacionados a la incorrecta aplicación del freno de servicio y parqueo en el caso de los camiones; y a la realización de *Swing Impact* y *Boom Jack* en el caso de las palas.

Con respecto a las mejoras implementadas para disminuir la cantidad de eventos generados, estas se realizaron en tres etapas. La primera, se enfocó en generar información oportuna y a tiempo (en línea), la segunda, tuvo como objetivo mantener informada a la organización de los eventos ocurridos, y finalmente, la tercera etapa, se basó en un plan de acciones enfocados en reforzamientos operacionales sobre buenas prácticas.

A partir de estas mejoras se logró disminuir en un 52% la cantidad de eventos operacionales generados mensualmente en los camiones y en un 20% la cantidad de eventos operacionales generados mensualmente en las palas, lo que implicó un aumento en promedio, en un periodo de 4 meses (agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2016), de un 5% en la vida útil por cable utilizado y de un 26% en la vida útil por balde utilizado. Esto significó un beneficio económico estimado para Minera Escondida de 2.96 millones de dólares en cuanto a la reducción de uso de éstos componentes. Además, se espera una reducción considerable en los costos por motores de tracción debido a la gran reducción de eventos operacionales asociados a estos que se obtuvo.

## ABSTRACT

The present study aims at the development and implementation of a management system to improve the performance, that replacement parts of the loading and hauling equipments present in Minera Escondida; specifically, it seeks to increase operator safety, reduce the cost due to performance of the replacement parts and keep the operation continuity.

This management system seeks to achieve the production plans and KPIs that have Operations Management Mine and thus achieve the goal of "Escondida 3.0", which seeks to be the largest copper mine in the world by July 2017.

To develop this study, the Six Sigma methodology will be used, , which first seeks to identify the replacement parts that it is not reaching its expected useful life, then, the main cause of premature wear will be analyzed and identified. Subsequently a system of measurement of this cause will be selected, and from this system, the initial parameters and the requirements of the mining company will be evaluated in order to implement different types of improvements.

It was identified that the replacement parts that do not reach the expected useful life were the traction motors for the case of the hauling equipment, and wire and buckets for the case of the loading equipment. The premature wear of these replacement parts is mainly due to bad operational practices by the operators of these equipment. This factor was measured through operational events related to the incorrect application of the service brake and the parking brake in the case of trucks; and to the realization of Swing Impact and Boom Jack in the case of the shovel.

Related to improvements implemented to reduce the number of events generated, these were carried out in three stages. The first focused on generating timely and online information. The second one aimed at keeping the organization informed of the events that occurred and finally the third stage was based on a plan of actions focused on operational reinforcements on good practices.

From these improvements, the number of operational events generated monthly in trucks was reduced by 52% and by 20% the number of operational events generated monthly in the shovels, which implied an average increase of 5% in the useful life per wire used and of 26% in the useful life per bucket used, in a period of 4 months (August, September, October and November of 2016). This meant an estimated economic benefit for Minera Escondida of 2.96 million dollars in the reduction of use of these replacement parts. In addition, a considerable reduction in the costs for traction motors is expected due to the large reduction of operational events associated with these.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Rolando y Marianela, y mi hermana, por su esfuerzo y apoyo incondicional durante todo este periodo de estudios. Por sus enseñanzas, consejos, amor y cariño entregado siempre, y cuyos valores me llevan a ser la persona que soy hoy en día.

A Carlos Llanos por darme la oportunidad, tiempo, apoyo y confianza para realizar mi memoria, también por sus enseñanzas y consejos a lo largo de este proceso. A los profesores integrantes de la comisión Juan Montes y Hans Gopfert por su tiempo y recomendaciones. Y a todo el equipo de la Superintendencia de Gestión de Producción y Superintendencia de producción por la ayuda, enseñanza y simpatía.

A mis amigos de la vida, por estar en todo momento conmigo brindando su apoyo, ayuda y compañía. Y finalmente, a todas las personas que de alguna forma me ayudaron a realizar este estudio. ¡Muchas gracias!

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	2
1.1.	Objetivos .....	3
1.1.1.	Objetivo general .....	3
1.1.2.	Objetivos específicos .....	3
1.2.	Alcances .....	3
1.3.	Metodología .....	4
1.4.	Marco teórico .....	5
1.4.1.	Six Sigma - DMAIC .....	5
1.4.2.	Confiabilidad operacional[6] .....	7
1.4.3.	Herramientas para el control de gestión y calidad de los procesos .....	8
1.4.4.	Muestra representativa [12] .....	9
2.	Antecedentes de la compañía .....	11
2.1.	Reseña histórica .....	11
2.2.	Ubicación y accesos .....	12
2.3.	Geología del yacimiento [2] .....	12
2.4.	Sistema productivo [3] .....	14
2.4.1.	Mineral oxidado .....	15
2.4.2.	Mineral sulfurado .....	16
2.4.3.	Sulfuros de baja ley .....	16
2.5.	Modelo del uso de tiempo [4] .....	17
2.6.	Sistema de turnos y dotación .....	18
3.	Características de la operación .....	19
3.1.	Costos de carguío y transporte .....	20
3.2.	Descripción de equipos .....	22
3.2.1.	Equipos de transporte .....	23
3.2.2.	Equipos de carguío .....	24
3.3.	Gestión de flotas [16] .....	26
4.	Sistema de gestión .....	27
4.1.	Identificación del problema .....	27
4.1.1.	Componentes de desgaste .....	27
4.1.2.	Factores que afectan la vida útil de los componentes .....	31
4.1.3.	Relación vida componentes con malas prácticas operacionales .....	33

4.1.4.	Descripción prácticas operacionales relacionadas.....	35
4.1.5.	Eventos operacionales considerados para el estudio .....	37
4.2.	Análisis de datos.....	40
4.2.1.	Equipos de transporte .....	40
4.2.2.	Equipos de carguío .....	44
4.3.	Mejoras implementadas .....	45
4.3.1.	Primera etapa.....	45
4.3.2.	Segunda etapa.....	49
4.3.3.	Tercera etapa .....	53
5.	Resultados .....	55
5.1.	Resultados equipos de transporte .....	55
5.2.	Resultados equipos de carguío .....	62
5.3.	Relación con respecto al desempeño por componente .....	63
5.3.1.	CAEX .....	63
5.3.2.	Palas .....	65
5.4.	Beneficio por sistema de gestión implementado .....	67
6.	Conclusiones y recomendaciones .....	68
7.	Bibliografía .....	70
ANEXOS .....		73
A.	Anexos: Antecedentes de la compañía [2].....	73
B.	Anexos: Equipos de transporte y carguío.....	77
C.	Anexos: Algoritmo del sistema Dispatch [16] .....	91
D.	Anexos: Daño estructural en palas Bucyrus.....	93
E.	Anexos: Análisis de datos.....	94
F.	Anexos: Reportes .....	96
G.	Anexos: Resultados .....	97
H.	Anexos: Practicas operacionales.....	104

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Niveles del SixSigma. ....	5
Tabla 2.	Distribución de tiempos en Minera Escondida.....	17
Tabla 3.	Vida Útil de componentes CAEX Caterpillar. ....	27
Tabla 4.	Vida Útil componentes CAEX Komatsu.....	28
Tabla 5.	Falla prematura de MT mismo CAEX. ....	29
Tabla 6.	Cambio de MT reparado.....	29

Tabla 7. Vida Útil de cables en palas.....	29
Tabla 8. Vida Útil de baldes en palas.....	29
Tabla 9. Carga útil y Sobrecarga CAEX.....	35
Tabla 10. Eventos por freno de parqueo considerados para el estudio.....	37
Tabla 11. Eventos por freno de servicio considerados para el estudio.....	38
Tabla 12. Promedio de eventos ocurridos, FY16.....	41
Tabla 13. Promedio de eventos por turno.....	43
Tabla 14. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus, 1 <sup>er</sup> semestre 2016.....	44
Tabla 15. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H, 1 <sup>er</sup> semestre 2016.....	44
Tabla 16. Estadísticas básicas de eventos ocurridos diariamente por periodo.....	56
Tabla 17. Promedio de eventos generados.....	58
Tabla 18. Promedio de eventos generados por turno.....	60
Tabla 19. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus.....	62
Tabla 20. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H.....	62
Tabla 21. Comparación porcentajes de in cumplimiento con la vida útil.....	66
Tabla 22. Comparación porcentajes de cumplimiento con la vida útil.....	66

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Modelo Six Sigma.....	5
Ilustración 2. Nivel sigma real vs objetivo.....	6
Ilustración 3. Metodología DMAIC.....	6
Ilustración 4. Confiabilidad Operacional.....	7
Ilustración 5. Diagrama Causa-Raíz.....	8
Ilustración 6. Diagrama de Pareto.....	9
Ilustración 7. Ubicación Minera Escondida.....	12
Ilustración 8. Zonificación mineralógica MEL.....	13
Ilustración 9. Litología MEL.....	14
Ilustración 10. Proceso de extracción.....	14
Ilustración 11. Proceso productivo en Minera Escondida.....	15
Ilustración 12. Procesamiento de mineral oxidado.....	16
Ilustración 13. Procesamiento de mineral sulfurado.....	16
Ilustración 14. Componentes Pala.....	24
Ilustración 15. Diagrama Causa-Efecto de componentes en camiones.....	32
Ilustración 16. Diagrama Causa-Efecto de componentes en palas.....	32
Ilustración 17. Desgaste motor de tracción (arriba) y paquetes de frenos (abajo).....	34
Ilustración 18. Corte cable en pala.....	34
Ilustración 19. Estados de motor en CAEX.....	36
Ilustración 20. Boom Jack.....	36
Ilustración 21. Fisuras en mango.....	39
Ilustración 22. Visualización alarmas en la cabina del operador.....	46
Ilustración 23. Reporte técnico palas P&H y Bucyrus.....	47
Ilustración 24. Reporte semanal: Practicas operacionales en CAEX de MEL.....	49
Ilustración 25. Reporte diario: Practicas operacionales en CAEX de MEL.....	50
Ilustración 26. Reporte cambio de componente Cables.....	51
Ilustración 27. Reporte cambio de componente Baldes.....	52

## Índice de Gráficos

Gráfico 1. Distribución porcentual de costos según operación unitaria en la GOM.....	19
Gráfico 2. Distribución porcentual de costos por suministros y soportes en la GOM.....	20
Gráfico 3. Distribución porcentual de costos por piezas de reemplazo en las operaciones. ....	21
Gráfico 4. Distribución porcentual de costos en la operación de transporte.....	21
Gráfico 5. Distribución porcentual de costos en la operación de carguío.....	22
Gráfico 6. Cambio motor de tracción, FY16.....	28
Gráfico 7. Cambio de cables, 1° semestre 2016.....	30
Gráfico 8. Cambio de baldes, 1°sem 2016.....	31
Gráfico 9. Pareto causa-incidente.....	33
Gráfico 10. Distribución porcentual de eventos según interface.....	38
Gráfico 11. Histograma de cantidad de eventos ocurridos diariamente, FY16.....	40
Gráfico 12. Distribución porcentual según los dos tipos de eventos generales, FY16.....	41
Gráfico 13. Pareto de georeferencia de ocurrencia de eventos.....	42
Gráfico 14. Promedio mensual de eventos por tipo de evento y turno.....	42
Gráfico 15. Distribución porcentual según tipo de evento, FY16.....	43
Gráfico 16. Daño acumulativo en pala.....	44
Gráfico 17. Histograma de eventos operacionales ocurridos diariamente en camiones.....	55
Gráfico 18. Comparación histogramas de eventos diarios.....	56
Gráfico 19. Evolución mensual de eventos.....	57
Gráfico 20. Tendencia de eventos, 2° semestre 2016.....	57
Gráfico 21. Distribución porcentual de eventos según freno de servicio y parqueo.....	58
Gráfico 22. Comparación de eventos por freno de servicio.....	59
Gráfico 23. Comparación de eventos por freno de parqueo.....	59
Gráfico 24. Eventos generados por turno.....	60
Gráfico 25. Comparación de eventos por turno.....	61
Gráfico 26. Comparación de eventos.....	61
Gráfico 27. Comparación de microdaños generados mensualmente.....	62
Gráfico 28. Comparación de eventos operacionales ocurridos.....	63
Gráfico 29. Cambio mensual de MT.....	64
Gráfico 30. Comparación entre tonelaje no movido por cables.....	65
Gráfico 31. Comparación entre tonelaje no movido por baldes.....	66

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Calculo de tamaño de la muestra teórica.....	10
Ecuación 2. Calculo de tamaño de la muestra real.....	10
Ecuación 3. Tiempo Disponible.....	18
Ecuación 4. Rendimiento del equipo.....	18
Ecuación 5. Utilización del equipo.....	18
Ecuación 6. Disponibilidad Física del equipo.....	18

# 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, las compañías mineras se han visto fuertemente afectadas por la abrupta caída que ha presentado el precio del cobre. Entre algunos de los factores que determinan la caída de este metal rojo, destaca el débil crecimiento de la economía mundial, la desaceleración de China, la disminución de la demanda mundial y una elevada oferta de los países productores. Esto genera una disminución en los ingresos de las compañías, llevando incluso a las compañías a presentar un costo de operación por sobre el precio de venta del cobre. [10]

En este escenario, la productividad y la reducción de costos (de producción, operación, administrativos, de exploración y de las inversiones de capital) juegan un rol fundamental para poder mantener la operación de las compañías mineras.

Entre las estrategias implementadas por las mineras se encuentran: los desplazamientos de proyectos, ajustes de personal, revisión de contratos, disminución de la producción (por parte de las pequeñas y medianas compañías mineras), y ajustes en las operaciones mineras en busca de que estas sean más productivas y eficientes, entre otras estrategias.

Para hacer frente a la crisis y cumplir con los objetivos propuestos, Minera Escondida desarrolló el plan “Escondida 3.0”, el cual se enmarca en “el proceso de transformación de la compañía que incorpora varias iniciativas y proyectos necesarios orientados a mejorar la productividad y reducir los costos”. Este proyecto fue introducido en julio del 2015 y buscar lograr que Minera Escondida sea la mina de cobre más grande del mundo a julio del 2017.

Como en toda mina a cielo abierto, las operaciones unitarias de carguío y transporte son las que presentan los mayores costos de la Gerencia de Operaciones Mina (GOM). En este aspecto, Minera Escondida no es la excepción, por lo que identificar la principal falencia que se está generando en estas operaciones, enfocadas en la seguridad de los operadores, el costo principal de la operación y la continuidad de esta, resulta fundamental para Minera Escondida.

Basado en lo anterior, este estudio busca implementar un sistema de gestión que permita identificar el principal problema que afecta a las operaciones de carguío y transporte, y que también pueda identificar, analizar y gestionar la implementación de distintos sistemas de mejoras para reducir la o las causas principales del problema, y de esta forma generar un impacto positivo en los costos, la seguridad y la producción de estas dos operaciones unitarias.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

El objetivo de este estudio de título es implementar un sistema de gestión para la reducción de costos, a través de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), optimizando el desempeño de aquellos componentes que presentan mayor importancia y más costo en los equipos mineros de carguío y transporte, esto con el fin de prolongar la vida útil de los componentes identificados y reducir su consumo.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Describir la metodología utilizada para controlar el desgaste de componentes en los equipos de carguío y transporte: definición DMAIC.
- Identificar los componentes que presentan un bajo desempeño.
- Determinar los principales factores que provocan un bajo desempeño en los componentes seleccionados.
- Analizar la situación actual de estos factores, a través de la identificación de:
  - o La cantidad de ocurrencia.
  - o El comportamiento y tendencia que presentan.
  - o Otro aspecto importante.
- Implementar mejoras en base a los resultados obtenidos, a través de:
  - o Entrega de información oportuna y a tiempo.
  - o Monitoreo por parte de la organización.
  - o Realización y ejecución de planes de acción.
- Determinar la efectividad de las mejoras implementadas, a través de:
  - o La cantidad de ocurrencia.
  - o Vida útil de componente.
  - o Análisis económico.

## **1.2. Alcances**

La realización de este estudio considera los siguientes aspectos:

- Minera Escondida Limitada, área de Producción Mina.
- Equipos mineros de carguío (P&H 4100XPB, P&H 4100XPC y Bucyrus HP495) y de transporte (Caterpillar: 793F, 797F, 797B y Komatsu 930E, 960E)
- La base de datos utilizada y la obtención de datos, proviene del sistema Dispatch, SQL Server y Powerview.

- Los eventos operacionales considerados para el estudio son aquellos asociados a los frenos de servicio y frenos de estacionamiento en camiones, y *Boom Jack* y *Swing Impact* en palas.
- Los componentes analizados corresponden a los motores de tracción para el caso de los camiones Komatsu, y los cables de levante y los baldes para el caso de ambos modelos de palas.
- La vida útil de los componentes de los equipos de transporte está estimada en horas y la de los equipos de carguío está estimada considerando la cantidad de toneladas movidas.

### 1.3. Metodología

El estudio se realizará mediante el uso de la metodología Six Sigma. Esta metodología de mejora de procesos centrada en la reducción de variabilidad, busca reducir o eliminar los defectos o fallos que se están generando en los equipos de carguío y transporte pertenecientes a Minera Escondida. La principal herramienta utilizada para aplicar la metodología Six Sigma corresponde al ciclo de mejora continua DMAIC. Este es un proceso de mejora, sistemático, científico y basado en hechos.

A continuación, se presentan las acciones a realizar para poder desarrollar el estudio descrito anteriormente,

- **Interiorización de los equipos**  
Consiste en conocer los componentes que forman parte de los equipos de carguío y transporte.
- **Análisis de información e identificación de componentes críticos**  
Examinar la información de la vida útil que presentan los componentes y determinar aquellos que poseen un bajo desempeño con respecto a lo esperado.
- **Determinación del factor principal que afecta al bajo desempeño de los componentes**  
Realización de un análisis causa raíz y un diagrama de Pareto para identificar la o las causas principales del desgaste prematuro que presentan los componentes.
- **Definir parámetros a estudiar y análisis de estos**  
Definir aquellos parámetros más influyentes en la causa identificada en la etapa anterior y realizar un análisis de estos parámetros cuantificándolos e identificando otras características relevantes.
- **Implementar mejoras**  
En base a los resultados y las necesidades que presenta la compañía, se desarrollarán distintos tipos de mejoras basadas en entregar información y monitorear el parámetro estudiado, y la realización de distintos planes de acción basados principalmente en una serie de actividades de reforzamiento operacionales.
- **Verificación de efectividad del sistema de gestión**  
Uso de índices o indicadores de los parámetros estudiados, para determinar existencia de cambios.
- **Conclusiones y recomendaciones**

## 1.4. Marco teórico

En esta sección se presentará una breve descripción de algunos conceptos básicos utilizados durante el estudio, como lo son las metodologías utilizadas, el enfoque en el que se basaron las mejoras implementadas y algunos diagramas utilizados normalmente para el control de gestión y calidad de los procesos, entre otros.

### 1.4.1. Six Sigma - DMAIC

Sigma es una unidad estadística de medición que define la desviación estándar de una población y sirve para medir la variabilidad o dispersión de un conjunto de datos.

Six Sigma corresponde a una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallos en la entrega de un producto. Se basa en métodos estadísticos para medir el rendimiento de los procesos y relacionarlos con los defectos por millón de oportunidades (DPO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto no logra cumplir los requisitos.

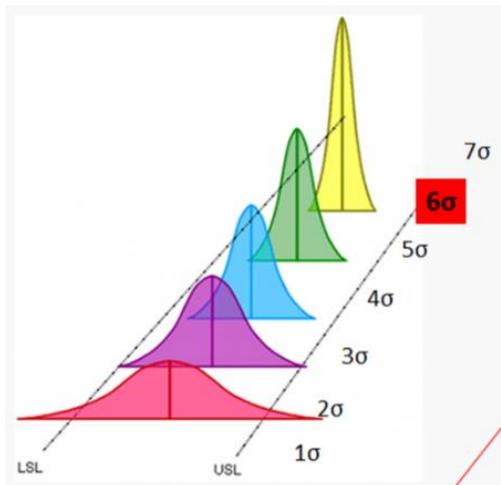


Ilustración 1. Modelo Six Sigma.

El nivel sigma corresponde a cuantas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso. La mayoría de las empresas tradicionales se encuentran en un nivel 3 sigma, esto quiere decir que tiene un 6.7% de defectos; evidentemente la meta es pasar a un nivel 6 Sigma con 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Tabla 1. Niveles del SixSigma.

Nivel sigma	DPO	% Defectos	% Buenas
6	3.4	0.00034%	99.9997%
5	233	0.023%	99.97%
4	6210	0.62%	99.38%
3	66807	6.7%	93.3%
2	308537	30.9%	69.15%
1	691462	69.1%	30.85%

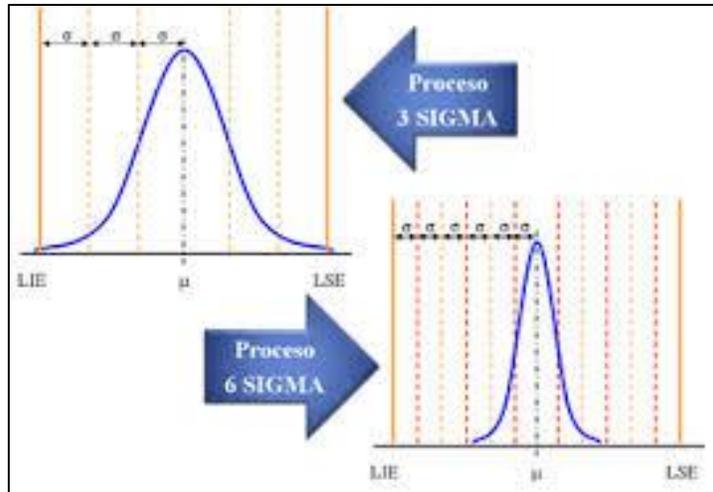


Ilustración 2. Nivel sigma real vs objetivo.

Esta metodología utiliza la herramienta DMAIC, que consiste en un proceso de mejora, sistemático, científico y basado en hechos. Este proceso cerrado elimina pasos improductivos y con frecuencia se enfoca en mediciones nuevas y tecnologías de mejoramiento. DMAIC se basa en un proceso de 5 pasos, ver Ilustración 3. [17]

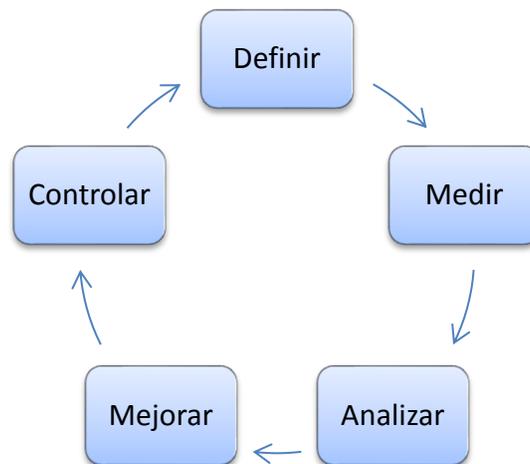


Ilustración 3. Metodología DMAIC.

La primera etapa consiste en definir el problema, es decir, tener clara la condición actual del proceso. Una vez realizado esto se debe medir la condición actual del proceso, esta etapa pretende determinar cómo se mide actualmente el proceso y si esta forma es la correcta de medirlo. Después, se debe analizar de forma exhaustiva las variables claves que se identificaron en las etapas anteriores, para luego dar paso a la etapa de implementación, que consiste en desarrollar el proceso óptimo, a través de soluciones encaminadas para lograr la mejora. Finalmente, la última etapa de control consiste en asegurar el proceso para que con el tiempo este no se deteriore. [19]

### 1.4.2. Confiabilidad operacional[6]

Para entender que es la confiabilidad operacional primero hay que saber que se entiende por confiabilidad. La confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. Por otro lado, la confiabilidad operacional se define como la capacidad de un sistema de realizar sus funciones operativas específicas, relacionando la parte de activos, procesos y personas.

Para la optimización de la confiabilidad operacional de un sistema, es necesario analizar sus cuatro parámetros operativos: confiabilidad de los procesos, confiabilidad de los equipos, confiabilidad humana y mantenibilidad. La variación que pueda sufrir cada uno estos parámetros afecta el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.

- **Confiabilidad del proceso:** es la técnica que nos permite conocer y determinar los parámetros de las operaciones de una organización, de esta forma tener un entendimiento preciso de los mismos.
- **Confiabilidad de equipos:** conjunto de herramientas aplicadas para conducir al mejoramiento y lograr la efectividad global dentro de las organizaciones y de esta forma lograr un mayor tiempo entre fallos de un sistema o componente.
- **Confiabilidad humana:** conjunto de conocimientos y técnicas que se aplican en la predicción, análisis y reducción del error humano, enfocándose sobre el papel de las personas en las áreas de diseño, operación, procesos, mantenimiento y gestión de un activo de producción.
- **Mantenibilidad de equipos:** conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas. Entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeña, bajo el punto de vista operacional.

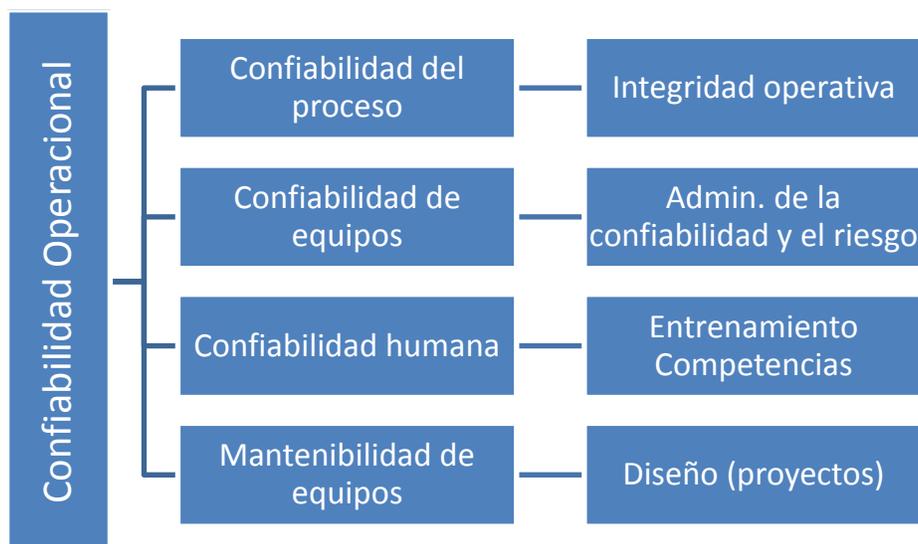


Ilustración 4. Confiabilidad Operacional.

Para mejorar la Confiabilidad Operacional se requieren cambios en la cultura de la empresa, creando un sentido de productividad y una visión clara de los fines del negocio, la cual debe ser adoptada por todos los miembros de la empresa.

Desde una perspectiva estrictamente conceptual y simplificada, la confiabilidad inherente de un sistema se relaciona con el número de fallas que ocurren en determinado tiempo, bajo condiciones específicas de operación. Por su parte, la confiabilidad humana se vincula con el número de errores que se cometen en un tiempo igualmente determinado y, nuevamente, bajo específicas condiciones de trabajo. [6]

### 1.4.3. Herramientas para el control de gestión y calidad de los procesos

#### *Diagrama Causa Efecto (Ishikawa)*

Corresponde a una representación gráfica, ordenada y sistemática de las causas posibles que pueden estar generando un determinado problema, por ende, es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones que nos permitirán identificar las causas raíces de los problemas que ocurren una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso y mejorando la seguridad y la confiabilidad del negocio.

El método más común corresponde al método de las 6M, el cual consiste en agrupar las causas potenciales en las seis categorías principales: Método de Trabajo, Mano de Obra, Material, Máquina, Medición y Medio Ambiente. Estas 6 categorías forman parte de la variabilidad del proceso, por lo que es natural esperar que una de ellas esté relacionada con el problema. [39]

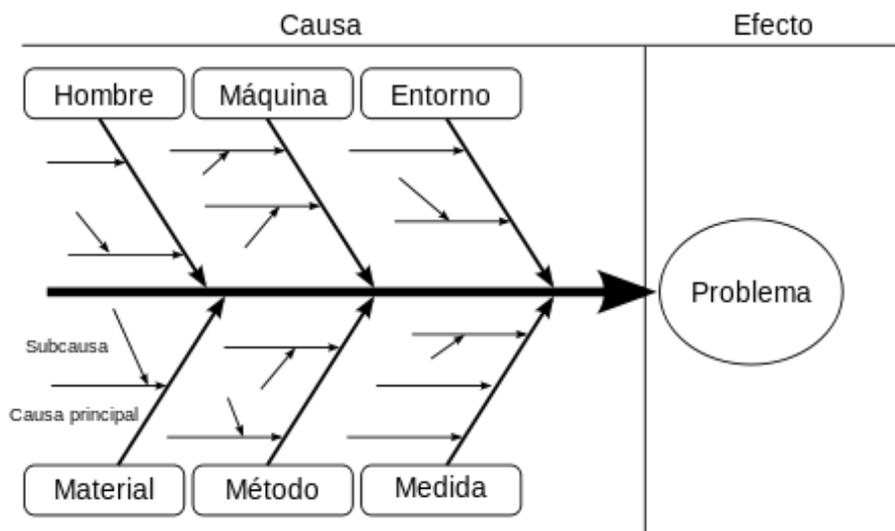


Ilustración 5. Diagrama Causa-Raíz.

### Diagrama de Pareto

El análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto. El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: los “Pocos Vitales” (los elementos muy importantes en su contribución) y los “Muchos Triviales” (los elementos poco importantes en ella). [32]

Esta herramienta permite determinar prioridades con el objetivo de evitar la dispersión del esfuerzo y optimizar los resultados.

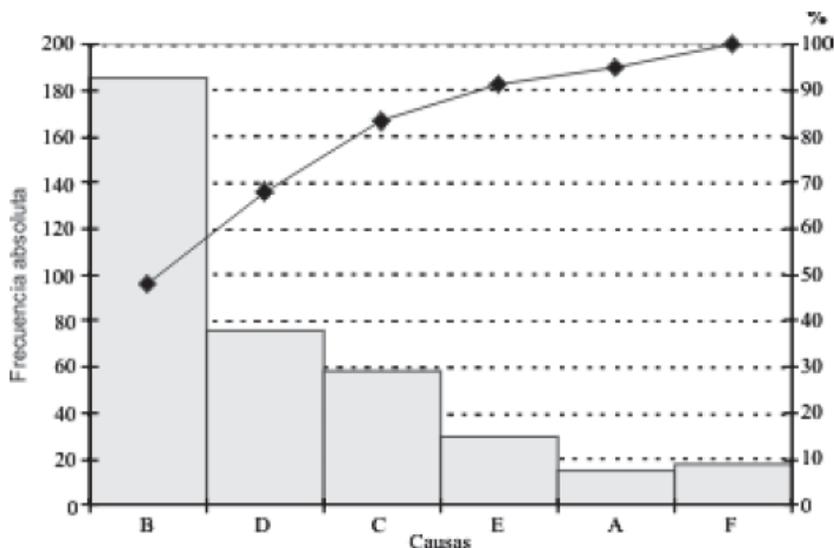


Ilustración 6. Diagrama de Pareto.

#### 1.4.4. Muestra representativa [12]

Para entender este concepto es necesario definir en primera instancia qué es población y muestra. Población se define como el conjunto de todos los individuos, objetos, procesos o sucesos homogéneos que constituyen el objeto de interés; la población se relaciona directamente con el campo de estudio (Moráguez, 2006). Por otro lado, muestra corresponde a un subconjunto o parte de una población (Murray, 1961 y Ogaña, 2003).

En base a esto, muestra representativa se define como un subconjunto de una población que presenta las mismas propiedades de la población a la cual pertenece y que obedece a determinados argumentos, desde un punto de vista estadístico. [35]

Para que una muestra cumpla con el carácter de representatividad, la forma en que esta es extraída y la cantidad de elementos que se debe seleccionar de una población son aspectos importantes a considerar.

Con respecto a la representatividad del tamaño de la muestra está dada por tres aspectos: el nivel de confianza a trabajar, el error a considerar en el cálculo (error muestral), y la proporción de considerar que la muestra calculada no posee las características o propiedades de la población (heterogeneidad)<sup>1</sup>. A continuación, se muestra la forma de determinar el tamaño de una muestra.

$$n' = \frac{Z^2 * p * q}{\varepsilon^2}$$

**Ecuación 1. Calculo de tamaño de la muestra teórica.**

En donde,

$n'$ : Cantidad teórica de elementos de la muestra.

$Z$ : Para un nivel de confianza de 95% se tiene,  $Z=1,96$ .

$\varepsilon$ : Error asumido en el cálculo,  $\varepsilon=0,05$ .

$p$ : Probabilidad que tiene la muestra en poseer las mismas cualidades de la población.

$q$ : Probabilidad de que la población no presente las características.

En caso de desconocer la probabilidad, se utiliza el valor 0.5 (50%), debido a que este valor maximiza el tamaño muestral, destacar que siempre se cumple que:  $p = 1 - q$ .

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}}$$

**Ecuación 2. Calculo de tamaño de la muestra real.**

En donde,

$n'$ : Cantidad teórica de elementos de la muestra.

$n$ : Cantidad real de elementos de la muestra a partir de la población.

$N$ : Número total de elementos que conforman la población.

---

<sup>1</sup> **Heterogeneidad**: hace referencia a la dispersión en alguna variable relevante en la investigación. Cuanto más heterogénea sea una población, mayor será el tamaño de la muestra. **Error muestral**: hace referencia a cuánto varían los resultados de la muestra respecto de la población. Cuanto menor sea el error muestral, más grande será el tamaño de la muestra (más preciso, menos error). **Nivel de confianza**: es la probabilidad que el resultado obtenido se encuentre dentro del intervalo de confianza. Se suelen utilizar niveles de confianza del 95%. [36]

## **2. ANTECEDENTES DE LA COMPAÑÍA**

En el contexto de la gran minería, Minera Escondida Limitada (MEL) es una de las empresas mineras más grandes del mundo en la producción de cátodos y concentrado de cobre, a través del proceso de lixiviación y flotación, respectivamente, obteniendo así una producción aproximada de 1.100.000 toneladas de cobre fino anuales.

Se encuentra ubicada a 170 Kilómetros al sureste de la ciudad de Antofagasta, y cuenta con dos rajos dedicados a la explotación de cobre: Escondida y Escondida Norte; además MEL posee otras instalaciones tales como:

- Plantas concentradoras: Los Colorados y Laguna Seca.
- Planta de lixiviación de óxidos.
- Planta de lixiviación de sulfuros.
- Planta de electro-obtención para la producción de cátodos.
- Planta desalinizadora
- Mineroducto y acueducto.
- Puerto Coloso.

Actualmente, Minera Escondida es operada por BHP Billiton, división Minerals Americas, que cuenta con un 57.5% de su propiedad. Entre los otros propietarios de esta minera se encuentran: Rio Tinto con un 30%, Jeco Corp con un 10% y Jeco2 Ltda con un 2.5%.

### **2.1. Reseña histórica**

En la década de los 80, en Chile se impulsó una política abierta a la inversión minera, de manera que Minera Utah Chile y Getty Minig Inc. firmaron un joint venture para la exploración minera en la Región de Antofagasta, lo que dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Escondida el 14 de marzo de 1981 por los geólogos Francisco Ortiz y David Lowell, en el pozo 6 a 240 metros de profundidad. Ya para el año 1983 se contaba con la primera evaluación de reservas y el diseño de un plan minero.

Fue a mediados de 1988, específicamente el 25 de julio, que comenzó la construcción de las instalaciones de Minera Escondida Limitada; y el 3 de noviembre de 1990 se da por comienzo al procesamiento del mineral. Así, lo que partió con una producción anual de 320 mil toneladas de cobre fino, se ha incrementado en los últimos años sobre 1 millón de toneladas al año.

Algunos otros hitos importantes son la terminación y entrega, en el año 2015, de la Oxide Leach Area Project (OLAP), que corresponde a una nueva pila de lixiviación dinámica y un sistema de correas transportadoras de mineral, y también, a inicios del 2016 se terminó la construcción del proyecto Organic Growth Project (OGP1), la tercera planta concentradora de la minera. [2]

## 2.2. Ubicación y accesos

El yacimiento se encuentra ubicado en la Región de Antofagasta, Provincia y Comuna de Antofagasta, a 170 km al sureste de la ciudad de Antofagasta, en medio del desierto de Atacama, a una altura de 3100 metros sobre el nivel del mar. La ubicación geográfica corresponde latitud sur 24° 17' y longitud oeste 69° 9'.

El acceso se realiza por la ruta B-475, que inicia en el sector La Negra hacia el sureste a unos 155 kilómetros, hasta el yacimiento. A continuación, la Ilustración 7 muestra la ubicación de Minera Escondida.



Ilustración 7. Ubicación Minera Escondida.

## 2.3. Geología del yacimiento [2]

Los yacimientos Escondida y Escondida Norte son de cobre y forman parte del distrito minero Escondida, estos se ubican en el interior de la franja de Pórfidos Cupríferos (enriquecidos en Mo y Au), del Eoceno superior-Oligoceno inferior en Chile. Su emplazamiento se relaciona con un sistema estructural que recorre toda la Región de Antofagasta de norte a sur, el cual segmenta la cordillera de Domeyko (sistema de fallas de Domeyko), en tramos bien definidos, formando un lente de cizalle denominado Escondida-Sierra de Varas. Este sistema durante el Eoceno-Oligoceno habría impuesto un régimen recurrente de fallas en el sector.

La formación de los cuerpos ricos en cobre, se ha generado a partir de intrusivos porfídicos, con dimensiones variables de unos cientos de metros, hasta unos pocos kilómetros de diámetro, los cuales podrían relacionarse a apófisis sobre cúpulas de plutones félsicos a intermedios más profundos. En la roca de caja representada principalmente por volcanitas, también es posible observar mineralización relacionada al pórfido cuprífero. Los cuerpos de mena se encuentran principalmente representados por las siguientes asociaciones mineralógicas:

- Zona Lixiviada: Goethita-Magnetita-Jarosita
- Zona Oxidación: Brochantita-Antlerita
- Enriquecimiento Secundario: Calcosina-Covelina-Pirita/Covelina-Calcopirita-Pirita
- Primario: Bornita-Calcopirita-Pirita-Magnetita

La naturaleza geológica en la que se encuentra inserto el yacimiento, está constituida por diversas unidades litológicas abarcando un promedio de 900 m<sup>2</sup>. La edad de estas unidades varía desde el Paleozoico Superior al Cenozoico (de 250Ma a 65Ma) que corresponden a rocas de origen volcánico, intrusivas y sedimentarias.

El complejo intrusivo en el cual se encuentra hospedado el yacimiento, pertenece a un Pórfido Granodiorítico Tonalítico. Su composición es de diorita a granodiorítica, definido como CIFE (Complejo Intrusivo Feldespático Escondida). Este complejo es denominado como Pórfido Feldespático, el cual inserta en rocas volcánicas de la Formación Augusta Victoria del Cretácico Superior. Otra unidad también importante, es un cuerpo hipabisal más pequeño, denominado Pórfido Cuarcífero de composición riodacítica, que se incrusta en el Pórfido Feldespático. Por último, también se encuentra la presencia de diques dacíticos, los cuales representan los últimos impulsos ígneos, y de gravas.

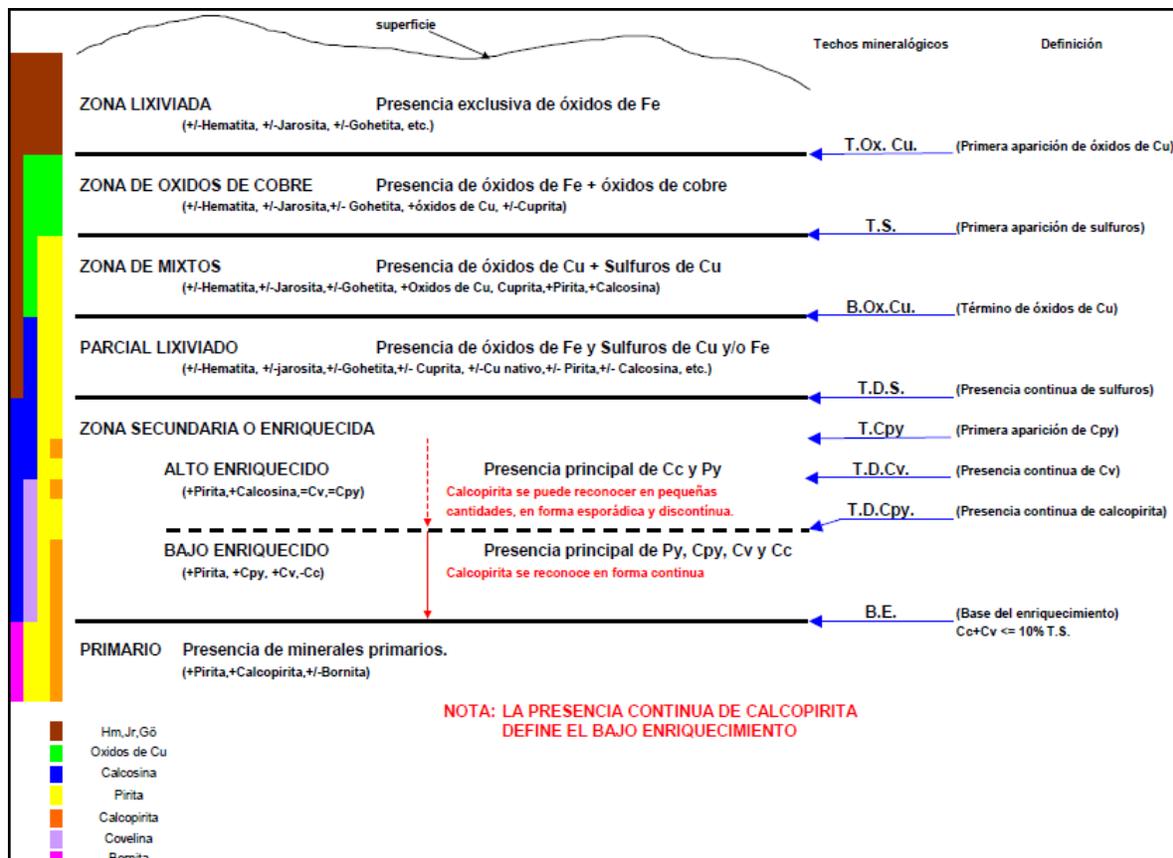


Ilustración 8. Zonificación mineralógica MEL.

Como todo cuerpo geológico, el CIFE también ha estado sometido a cambios, debido a los factores naturales donde se encuentra inmerso (presión, temperatura, agua, etc.). Una mirada al origen del proceso de mineralización del yacimiento, muestra que durante la transición Eoceno-Oligoceno

(35-30 Ma), ocurrió el emplazamiento de una caja intrusiva de composición granodiorítica dentro de un estrato de lava andesítica del Paleoceno, lo que produjo como producto la evolución del sistema hidrotermal asociado a la posterior mineralización y formación del pórfido cuprífero actual. Por su parte, estas lavas andesíticas están sobrepuestas a estratos volcánicos y sedimentarios del Mesozoico y Paleozoico, los que son característicos del basamento y fallas de la cordillera de Domeyko. Estas rocas con rocas carboníferas (360-280Ma), expuestas, forman la roca caja del yacimiento.

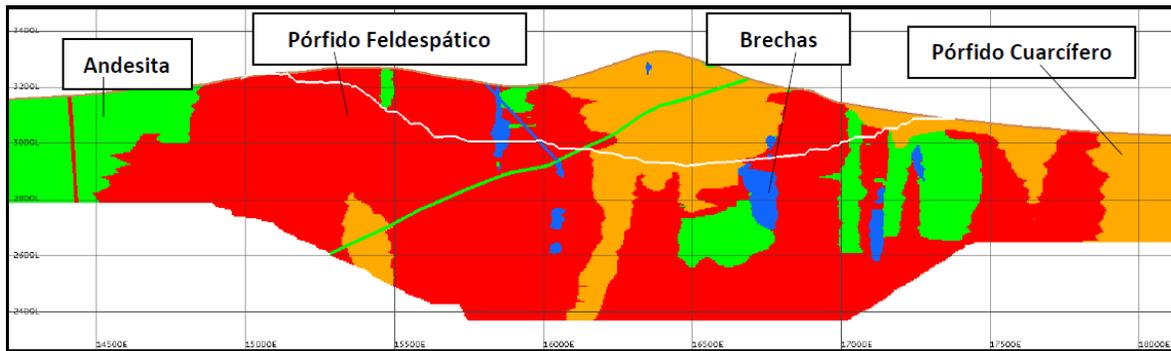


Ilustración 9. Litología MEL.

## 2.4. Sistema productivo [3]

El sistema productivo comienza con la extracción del mineral a partir de los rajos Escondida y Escondida Norte, este mineral es extraído y enviado a la siguiente etapa, la cual corresponde al procesamiento de mineral. El proceso de extracción se realiza mediante las 4 operaciones unitarias: perforación, tronadura, carguío y transporte.

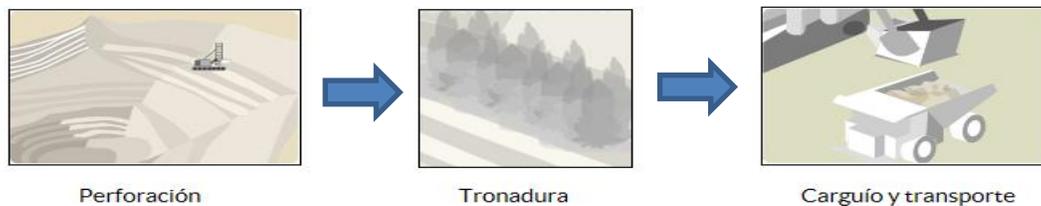


Ilustración 10. Proceso de extracción.

La Gerencia de Operaciones Mina está encargada de los procesos de:

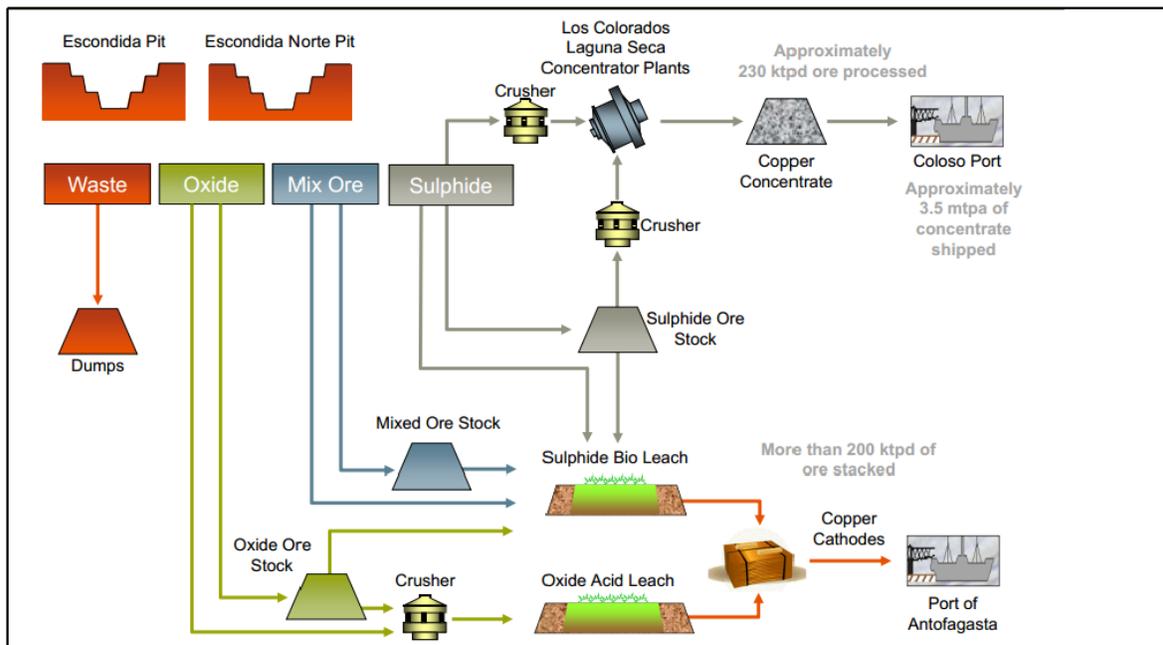
- Perforación
- Tronadura
- Carguío
- Transporte
- Chancado

El proceso de tronadura en Minera Escondida se encuentra externalizado por las empresas Maxam y Enaex.

Con respecto al procesamiento de minerales, se tiene que los productos principales de cobre que produce Minera Escondida (cátodos y concentrado), provienen de 3 tipos de minerales:

- Sulfuros de cobre
- Óxidos de cobre
- Sulfuros de cobre de baja ley

El procesamiento de los minerales sulfurados de cobre se realiza a través del proceso físico-químico de separación llamado flotación, en las plantas concentradoras Los Colorados y Laguna Seca, de donde se obtiene como producto final concentrado de cobre. Por otro lado, el procesamiento de mineral oxidado es sometido al proceso hidrometalúrgico de lixiviación, y los sulfuros de baja ley se procesan por medio del proceso de biolixiviación, de ambos procesos se obtiene como producto final cátodos de cobre. A continuación, se presenta un diagrama del proceso productivo que tiene Minera Escondida (ver Ilustración 11), y posteriormente se define detalladamente los tres tipos de procesamientos a los cuales el mineral es sometido.



**Ilustración 11. Proceso productivo en Minera Escondida.**

#### 2.4.1. Mineral oxidado

El mineral oxidado se procesa en tres etapas, de lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención, con el objetivo de producir cátodos de cobre. Para ello, una vez chancado, el mineral se deposita en grandes pilas con base impermeable donde es sometido a la acción de ácido sulfúrico para disolver lentamente el cobre y obtener una solución rica en cobre (PLS); a este proceso se le denomina lixiviación. Luego esta solución es sometida al proceso de extracción por solventes, cuyo objetivo es liberar de impurezas el PLS y concentrar el contenido de cobre, obteniendo una solución de electrolito, este proceso se realiza mediante la ayuda de un fluido llamado orgánico.

Posteriormente, el proceso de electro-obtención consiste en la aplicación de corriente eléctrica continua de muy baja intensidad a las soluciones de electrolito de cobre, logrando que el cobre en solución se deposite en placas de acero inoxidable (cátodos), y en cinco días, el cátodo de cobre adquiere un peso de 78 kilogramos con una pureza del 99,99%. Después del proceso, los cátodos son transportados vía ferrocarril al puerto de Antofagasta para su posterior embarque.

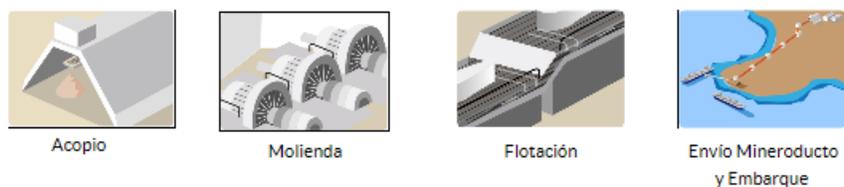


**Ilustración 12. Procesamiento de mineral oxidado.**

#### 2.4.2. Mineral sulfurado

Luego de ser chancado, el mineral sulfurado ingresa a las plantas concentradoras donde es sometido a los procesos de molienda y flotación, con el objetivo de separar el cobre de la roca estéril. Para esto, el primer paso consiste en continuar reduciendo el tamaño del mineral en un proceso denominado molienda, donde se incorporan distintos tipos de reactivos con el objetivo de seleccionar solo los sulfuros de cobre. Posteriormente, el mineral pasa al circuito de flotación, el cual consiste en burbujear aire desde el fondo de la celda de flotación, estas burbujas arrastran consigo los minerales sulfurados de cobre para su separación y concentración; el proceso es reiterado en varios ciclos, generando así el concentrado de cobre.

Luego de ese proceso, la pulpa es desaguada parcialmente, almacenada por un tiempo en tanques y transportada a través de un mineroducto de 170 kilómetros de extensión a la planta de filtros en el puerto de Coloso para su posterior secado y embarque. El agua remanente es rebombada a la mina junto al agua proveniente de la planta desalinizadora de agua de mar.



**Ilustración 13. Procesamiento de mineral sulfurado.**

#### 2.4.3. Sulfuros de baja ley

Finalmente, se tiene la producción de cobre a partir de sulfuros de baja ley. Este mineral es llevado a pilas de biolixiviación, donde, por medio de la utilización de bacterias, que tiene la habilidad de oxidar minerales sulfurados, y ácido sulfúrico, se obtiene una solución que contiene cobre. Al igual que con los óxidos, esta solución es tratada en los procesos de extracción por solventes y electro-obtención. El producto final, también corresponde a cátodos de cobre de alta pureza.

En la sección Anexo A se entregan detalles adicionales con respecto los antecedentes de la compañía, en cuanto a reseña histórica, clima, fisiografía y mineralización de la empresa.

## 2.5. Modelo del uso de tiempo [4]

El modelo de uso de tiempo en Minera Escondida corresponde al TUM (Time Usage Model). La definición de este modelo está basada en el Tiempo Operativo de cada equipo, siendo este el tiempo en que el proceso está generando una cantidad de producto medible, a diferencia del tiempo disponible. El propósito de este modelo consiste en maximizar el tiempo de operación, más que el tiempo disponible cuando el equipo puede estar operando, pero no produciendo.

La siguiente tabla divide los tiempos según su aplicación:

**Tabla 2. Distribución de tiempos en Minera Escondida.**

Tiempo Calendario					
Tiempo Requerido					Stand By
Tiempo Operativo	Tiempo Espera	Detención No Programada		Detención Programada	
		Proceso (DNPP)	Equipo (DNPE)	Proceso (DPP)	Equipo (DPE)

### *Tiempo Calendario*

Corresponde al calendario gregoriano acordado internacionalmente, el cual consta de 365 días en el año, con un bisiesto cada 4 años. Con cada día de 24 horas y cada hora de 60 minutos y cada minuto de 60 segundos.

### *Tiempo Requerido*

Periodo de tiempo durante el cual un equipo o personal son requeridos para producción o mantención.

### *Tiempo Operativo*

Tiempo en que efectivamente el equipo está realizando su función.

### *Tiempo de Detención*

Periodo de tiempo durante el cual un proceso o equipo no está realizando su función de producción, es decir, no se encuentra disponible, debido a que permanece detenido por reparaciones, sustituciones, inspecciones, etc.

### *Tiempo de Espera*

Periodo de tiempo en donde el equipo se encuentra esperando realizar su función (ej. el tiempo de espera de pala y/o chancado (tiempo de cola) por parte del camión y el tiempo de espera de camión para el caso de las palas), también llamado tiempo de pérdidas operacionales.

### *Stand By*

Periodo de tiempo en que el equipo no es requerido o no está disponible debido a condiciones o motivos que escapan al control directo de la administración del proceso. Por ejemplo: estructura de turnos, disputas laborales, feriado legal, fallas en el servicio que prestan terceros, desastres naturales declarados y otros eventos de fuerza mayor.

A continuación, se presentan los principales índices operacionales:

$$Tiempo\ Disponible = TOperativo + TEspera + DNPP + DPP$$

**Ecuación 3. Tiempo Disponible.**

$$Rendimiento = \frac{tonelaje}{TOperativo}$$

**Ecuación 4. Rendimiento del equipo.**

$$Utilizacion = \frac{TOperativo}{Tiempo\ Disponible}$$

**Ecuación 5. Utilización del equipo.**

$$Disponibilidad\ Fisica = \frac{Tiempo\ Disponible}{TRequerido}$$

**Ecuación 6. Disponibilidad Física del equipo.**

## **2.6. Sistema de turnos y dotación**

Minera Escondida posee un sistema de turno de 7x7, es decir, 7 días de trabajo por 7 días de descanso, para el caso de los trabajadores que están asociados directamente a la operación de la mina; por otro lado, para el caso de los trabajadores que están relacionados a un trabajo administrativo (personal indirecto), el sistema de turno es de 4x3.

La jornada laboral es de 12 horas diarias, por lo que en el caso del sistema de turno 7x7 se cuenta con un turno día y un turno noche, se considera inicio de turno a las 8:00 a.m. y a las 20:00 p.m. respectivamente, para el turno día y turno noche.

Basado en estos antecedentes la compañía minera cuenta con cuatro turnos (turno A, turno B, turno C y turno D), divididos en dos coordinaciones: Coordinación A/D y Coordinación B/C.

Con respecto a la dotación, Minera Escondida posee aproximadamente 1360 operadores en la producción, del cual aproximadamente el 8% corresponde a mujeres, para el caso de trabajadores que representan el staff (personal indirecto), es de 108 trabajadores aproximadamente.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN

La extracción del mineral, como se dijo en la sección anterior, corresponde a la primera etapa del proceso productivo en una mina. En esta etapa las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte juegan un rol determinante en la entrega del mineral a la planta para su procesamiento.

Específicamente, las operaciones de carguío y transporte en minería a cielo abierto corresponden a operaciones fundamentales para llevar a cabo este proceso minero, no solo debido a que son responsables del movimiento del material tronado, ya sea estéril y/o mineral, desde la frente hasta su lugar de destino, sino también debido a su participación dentro de los costos de operación, el cual se encuentra entre un 45% a 65% del costo global de la operación de la mina [31]. A continuación, el Gráfico 1 muestra la participación que tienen estas dos operaciones unitarias en la Gerencia de Operaciones Mina de Minera Escondida.

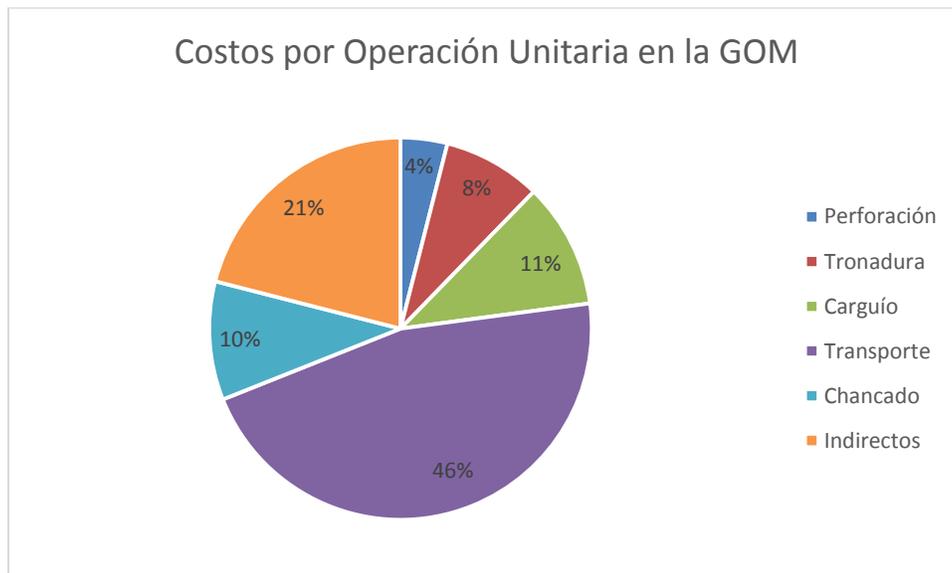
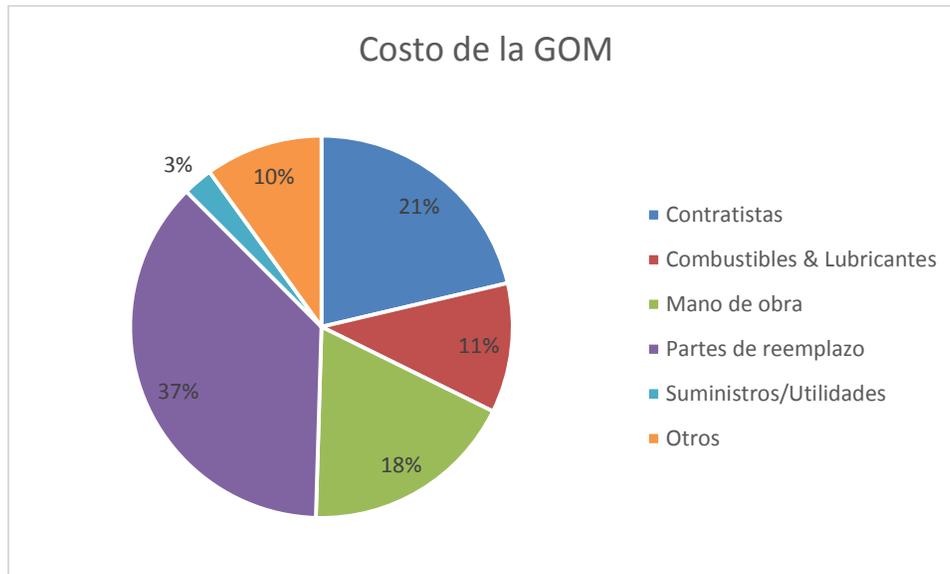


Gráfico 1. Distribución porcentual de costos según operación unitaria en la GOM.

Por otro lado, desde un punto de vista de los gastos específicos en los cuales debe incurrir la Gerencia de Operaciones Mina, como por ejemplo el combustible, la energía, los contratos, entre otros, destacan los costos por piezas de reemplazo, ya que representan un 37% de los costos totales de la gerencia, ver Gráfico 2.



**Gráfico 2. Distribución porcentual de costos por suministros y soportes en la GOM.**

De este gráfico es posible observar que las piezas de reemplazo representan el mayor costo, seguido por el los contratistas y la mano de obra con un 21 y 18%, respectivamente. La categoría que representa a Otros con un 10% incluye los costos por energía, arriendos, explosivos y gastos menores como impuestos y permisos, viajes y comidas, educación y entrenamientos, entre otros.

A partir del Gráfico 1 y Gráfico 2 es posible inferir que el mayor costo que tiene la gerencia de operaciones mina corresponde al costo de carguío y transporte, específicamente a las piezas de reemplazo de estos. A continuación, se realiza una indagación detallada de estos ítems con el objetivo de identificar si el mayor gasto, y el enfoque del estudio, que presenta la gerencia es efectivamente este.

### **3.1. Costos de carguío y transporte**

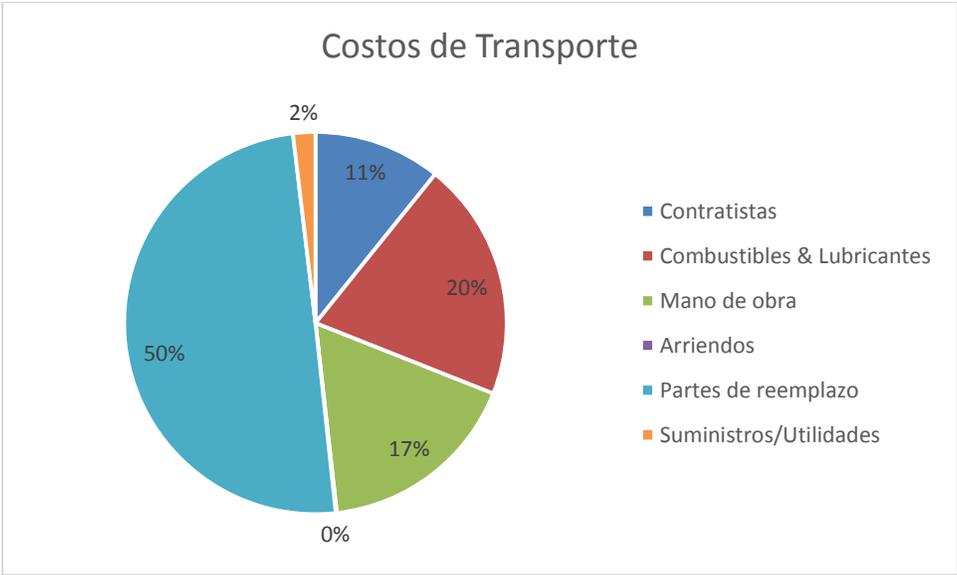
Efectivamente, como se planteó anteriormente, del Gráfico 1 es posible observar la participación que tiene el transporte y el carguío en la gerencia mina, estos representan un 46% y un 11%, respectivamente, del total de los costos de esta gerencia. En general el costo de transporte en una mina a cielo abierto oscila entre un 35 y un 45%, y el de carguío se encuentra entre un 10 y un 20%.[31]

Por otro lado, con respecto al costo asociado a las partes de reemplazo, en la Gerencia de Operaciones Mina se tiene que el 78% corresponde a las operaciones de carguío y transporte, específicamente un 16% y 62% respectivamente, ver Gráfico 3.

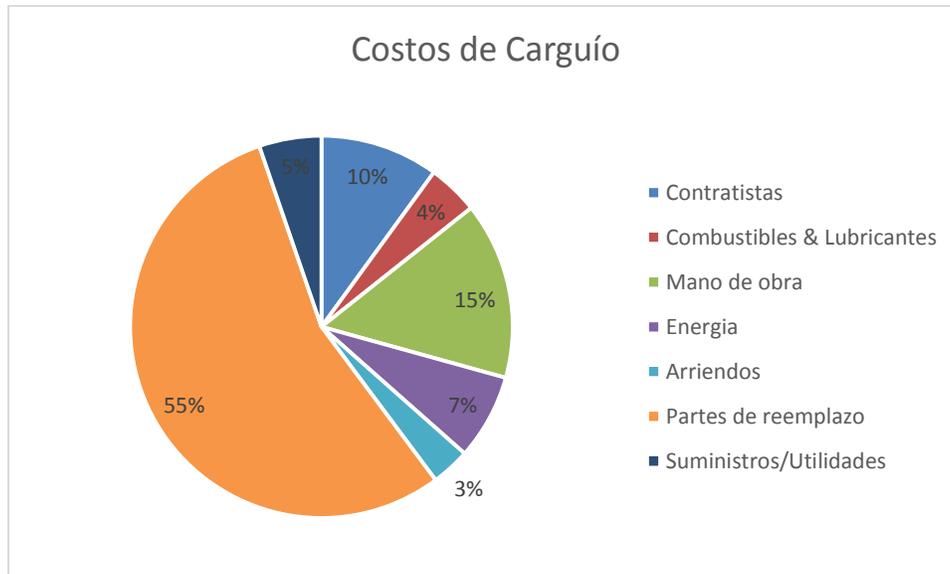


**Gráfico 3. Distribución porcentual de costos por piezas de reemplazo en las operaciones.**

A continuación, el Gráfico 4 y el Gráfico 5, muestran la distribución porcentual de los costos de las operaciones de carguío y transporte en Minera Escondida, de estos gráficos es posible observar que los costos asociados a piezas de reemplazo representan más de la mitad del costo total en cada operación, específicamente el 50% en el caso del transporte y 55% para el carguío.



**Gráfico 4. Distribución porcentual de costos en la operación de transporte.**



**Gráfico 5. Distribución porcentual de costos en la operación de carguío.**

Entre los costos por piezas de reemplazo en la operación de transporte destacan los neumáticos, los motores de tracción, las suspensiones traseras y la transmisión, entre otros. Para el caso del carguío destacan los siguientes componentes: baldes, corredera, eje de giro, mango y las transmisiones planetarias, entre otros.

Como se pudo observar en los gráficos anteriores, efectivamente, el costo más relevante en las operaciones de carguío y transporte corresponde al costo por repuestos y componentes. Debido a esto resulta fundamental para Minera Escondida, específicamente para la Gerencia de Operaciones Mina, prolongar la vida de estos elementos lo máximo posible. Ya que un bajo desempeño de estos componentes impacta directamente no solo en la continuidad operacional (la que afecta el cumplimiento de los planes de producción en cuanto a movimientos de material), sino también en la seguridad de los operadores, los costos asociados a un mayor consumo de componentes, costos por HH (hora-hombre), y tiempo por mantenciones/repares no programadas, generando un impacto significativo en la disponibilidad física del equipo y en los cumplimientos de los KPI's de la gerencia.

### **3.2. Descripción de equipos**

En esta sección se identifican los equipos de carguío y transporte que posee Minera Escondida y sus principales características; cabe destacar que en la sección Anexo B se presentan detalladamente los componentes específicos que posee cada equipo.

### 3.2.1. Equipos de transporte

Minera Escondida cuenta con cinco distintos tipos de camiones de extracción de las compañías Caterpillar y Komatsu.

Para el caso de los camiones Caterpillar cuenta con tres tipos de camiones: 793F, 797B y 797F; estos tipos de camiones presentan un sistema de accionamiento mecánico. Con respecto al sistema de monitoreo, estos camiones de extracción cuentan con un sistema monitor de control electrónico que permite el funcionamiento, la administración de información y correcta operación del equipo. El sistema monitor utilizado corresponde al VIMS (Sistema de Administración de Información Vital del equipo), el cual actúa como un sistema de supervisión y monitoreo, permitiendo el control de la información de todos los sistemas del equipo y la descarga de los datos almacenados durante la operación, para la solución de problemas, la planificación y la reducción de costos de operación y mantenimiento.

Entre las funciones principales del VIMS se tiene:

- Monitoreo general del estado de la máquina
- Recolectar datos de carga útil para producción
- Proveer detección temprana y alertar sobre problemas activos o potenciales en el camión
- Capturar datos automáticamente cuando ocurre un evento
- Almacenar información para administración del sistema
- Ayudar a elevar las habilidades del operador

Por otro lado, en el caso de los camiones Komatsu, Minera Escondida cuenta con dos tipos de camiones: 930E y 960E; estos equipos son equipos de propulsión eléctrica. En general, el principio de funcionamiento de estos tipos de camiones se basa en que el motor diésel acciona un alternador en línea a velocidad de motor, el alternador produce corriente AC la que es rectificadora a DC, los inversores cambian el voltaje rectificado a AC y de esta forma entregan energía de voltaje y frecuencia variable a cada Motor de Tracción de Inducción AC.

Con respecto al sistema de control de estos equipos, se tiene el ICP (Panel de Control Integrado), el cual consta de tres componentes principales: Controlador del Sistema de Propulsión (PSC), Interface de Control del Camión (TCI), y Controlador del Motor de Tracción (TMC).

La TCI es la interface principal entre los sistemas y dispositivos del camión Komatsu y el personal de servicio. Entre las funciones que permite realizar el panel TCI están:

- Se comunica con el sistema modular de Despacho Mina para intercambiar datos de estado del camión.
- Proporciona señales para activar las luces de advertencia e indicadores instalados en la cabina.
- Monitorea el sistema de control del motor, información de carga útil, temperatura ambiente y del sistema de propulsión, entradas de control del operador, etc.

### 3.2.2. Equipos de carguío

Actualmente, Minera Escondida cuenta con distintos tipos de equipos de carguío (cargadores frontales, palas eléctricas y palas hidráulicas), donde destacan las palas eléctricas, ya que son las encargadas del movimiento principal de material en la mina. Específicamente la minera cuenta con 5 palas P&H 4100XPB, 3 palas P&H 4100XPC y 8 palas Bucyrus 495HR, ver Anexo B.6.

Con respecto a estos modelos, la capacidad que poseen es de 73 yardas cubicas y, corresponden a los modelos más vendidos y de mayor capacidad en el mercado de la minería nacional del cobre, debido principalmente a la productividad que ofrecen estos equipos. Por otro lado, con respecto al mercado de palas de cable, este se distribuye principalmente en estas dos marcas, P&H y Bucyrus, esta última adquirida el 2011 por Caterpillar.

En general, las palas eléctricas comparten muchas características de diseño y movimientos. En base a esto se tiene una pluma apoyada y pivoteada en superestructura giratoria, suspendida con 4 cables de suspensión, balde con puerta y mecanismo de abrir balde similares, corona de giro afianzada al chasis inferior, con similares componentes, así como similitudes en sistema de rodado, lubricación, eléctrico, control y en sistemas auxiliares [30]. La Ilustración 14 muestra cuáles son y dónde se ubican algunos componentes de este tipo de equipo de carguío (pala), como por ejemplo la pluma, el mango, los cables, el balde, entre otros. Un mayor detalle de los componentes de estos equipos se encuentra en la sección Anexo B.7.

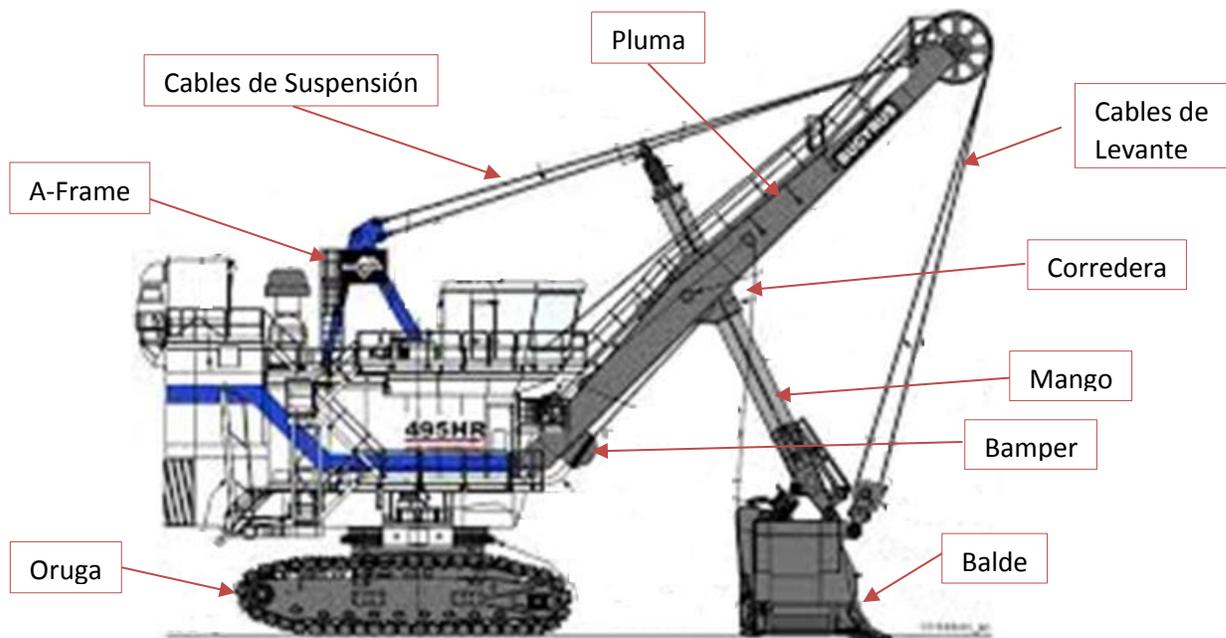


Ilustración 14. Componentes Pala.

La diferencia más relevante entre ambas marcas corresponde al sistema de empuje. Específicamente, en las palas P&H se tiene un mecanismo de piñón y cremallera con mango de dos brazos, los que son de sección rectangular; en cambio, en las palas Bucyrus se tiene un mango tubular y un mecanismo de empuje y recogida accionado por una transmisión y dos cables, cable de empuje y recoge, ver la sección Anexo B.7. [30]

Para el caso de las P&H, la principal diferencia entre las palas 4100XPC y 4100XPB, es que la primera corresponde a un equipo de corriente continua, en cambio, la segunda a un equipo de corriente alterna. Si bien en ambos modelos se usa alimentación alterna (7200 volt), en el interior de la máquina XPB es transformada en continua para que sea usada por la motorización disponible para los distintos tipos de movimiento. Una ventaja relevante de la máquina alterna respecto de la continua, desde el punto de vista del mantenimiento, consiste en que los motores alternos no usan carbones, por lo que se disminuye un elemento importante en el mantenimiento de la motorización de la pala alterna. [30]

En general, estos equipos de carguío tienen 4 movimientos principales, tres de ellos están directamente relacionados con el ciclo de carguío de la pala. A continuación, se describen estos movimientos y en la sección Anexo B.8 se presenta las fases del ciclo de carguío. [29]

- Sistema de levante (hoist): se encarga del movimiento vertical del balde a través del banco en la fase de excavación y durante otras fases de la operación.
- Sistema de empuje (crowd): proporciona el movimiento del mango hacia adentro o hacia afuera, para controlar la profundidad de corte y posicionar el balde sobre el camión para vaciar la carga.
- Sistema de giro (swing): es el encargado del movimiento de giro de la pala entre las posiciones de excavación y vaciado, el sistema de giro utiliza dos transmisiones, una 180° hacia la izquierda y otra, 180° hacia la derecha.
- Sistema de propulsión (propel): el movimiento de avance o propulsión, se utiliza para posicionar la pala en relación al banco o frente de carguío, para trasladarla o moverla según sean los requerimientos de mineral o según condiciones operacionales de la mina y para realizar movimientos cortos durante trabajos de mantenimiento. [30]

Los movimientos de empuje y levante son muy importantes para obtener buenos tiempos de ciclos y eficiencia en la excavación de la pala. Sin embargo, una buena operación del equipo, en cuanto a eficacia y seguridad, requiere un control coordinado de los movimientos de empuje, levante y giro en una secuencia suave de pasos. [29]

### **3.3. Gestión de flotas [16]**

El sistema de gestión de flotas utilizado por Minera Escondida corresponde al sistema DISPATCH; este sistema permite maximizar la producción y eficiencia, al tiempo de aumentar la seguridad y el control en la flota, con el objetivo de obtener su mayor rendimiento y beneficio.

Este sistema de despacho corresponde a un sistema de asignación dinámica de camiones, basado en esquemas de control de tiempos de ciclo pala-camión, asociados a un destino conocido. Esta herramienta de gestión busca optimizar la asignación de camiones a palas, maximizando la utilización del tiempo y minimizando las pérdidas, en tiempo real. En la sección Anexo C se entrega una descripción más detallada.

En general, el sistema está encargado de registrar cada uno de los eventos que se producen durante los distintos ciclos de operación y en base a esta información determina la ruta óptima de acarreo. Entre las operaciones que desarrolla el sistema destacan:

- Registro de eventos relevantes del ciclo de acarreo.
- Transmisión instantánea de datos y posterior decodificación.
- Software del sistema registra y guarda los datos.
- Software procesa información y realiza asignaciones óptimas para camiones de extracción, mediante distintos algoritmos (Mejor ruta, Programación lineal o Programación dinámica)
- Envío de asignación al camión de extracción respectivo

El Dispatch como herramienta de gestión y control puede ser descrito en tres funciones básicas:

- Colector de datos
- Almacenador de datos
- Solución de problemas en tiempo real

## 4. SISTEMA DE GESTIÓN

El estudio se basa en realizar un sistema de gestión para la mejora del proceso de carguío y transporte, específicamente se enfoca en el desgaste prematuro de los componentes que estos equipos poseen. Para esto, se utilizará la metodología de mejora de proceso Six Sigma.

En esta sección se detalla el desarrollo realizado para implementar un sistema de gestión para la reducción de costos en la Gerencia Mina a través de la optimización del desempeño por componentes en los equipos de carguío y transporte mineros. Específicamente, en esta sección se identifica el problema y se realizan las mejoras respectivas basadas en las necesidades que presenta Minera Escondida actualmente, con el objetivo de reducir la variabilidad del problema.

### 4.1. Identificación del problema

#### 4.1.1. Componentes de desgaste

En la sección anterior se presentaron los equipos de carguío y transporte con que cuenta Minera Escondida, en esta sección se presentan los componentes que usualmente son cambiados en estos equipos, y también se busca destacar aquellos componentes que presentan un desgaste prematuro, es decir, los casos en que la vida del componente es menor a la vida útil esperada de este, por lo que se tiene que cambiar antes de lo previsto, incurriendo en un mayor costo.

Los componentes de los camiones de extracción Caterpillar que están sujetos a un constante replazo son el motor, el radiador, la transmisión, el convertidor de torque, el diferencial, los mandos finales, los cilindros de dirección, las suspensiones, los cilindros de levante y la tolva, entre otros. A continuación, se presentan los rangos de vida útil esperada de estos componentes.

**Tabla 3. Vida Útil de componentes CAEX Caterpillar.**

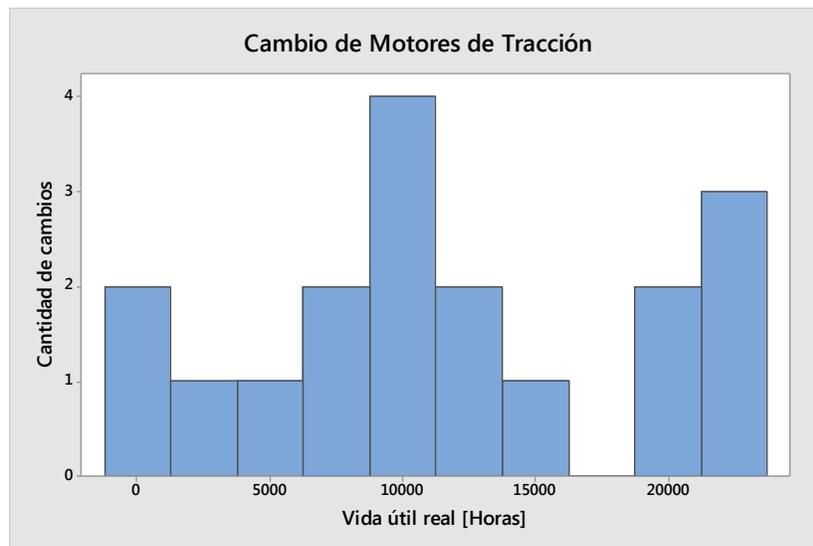
Componentes camión CAT	Vida útil [hr]
Motor	9500 - 12500
Radiador	19000 - 25000
Transmisión	11000 - 15000
Convertidor de Torque	15000 - 21000
Diferencial	13000 - 17000
Mando final (derecho e izquierdo)	12000 - 16000
Cilindro dirección (derecho e izquierdo)	11000 - 15000
Suspensión delantera (derecho e izquierdo)	12000 - 16000
Cilindro levante (derecho e izquierdo)	20000-27000
Tolva	20000-27000

Por otro lado, los principales componentes de los camiones de extracción Komatsu que son reemplazados son el motor de tracción, el blower parrilla, la bomba de dirección y freno, la bomba de levante, los cilindros de levante, los cilindros de dirección, el conjunto suspensión de masa, las suspensiones y la tolva, entre otros. La Tabla 4 muestra los rangos de vida útil esperada de estos componentes.

**Tabla 4. Vida Útil componentes CAEX Komatsu.**

Componentes camión Komatsu	Vida útil [hr]
Módulo potencia	15000 – 21000
Motor Tracción (derecho e izquierdo)	20000 - 27000
Blower parrilla (derecho e izquierdo)	17000 - 23000
Bomba dirección y freno	20000 - 27000
Bomba levante	20000 – 27000
Cilindro levante (derecho e izquierdo)	20000 – 27000
Cilindro dirección (derecho e izquierdo)	8000 - 12000
Suspensión trasera (derecho e izquierdo)	20000 – 27000
Tolva	20000 - 27000

Con respecto a los componentes que presentan una falla prematura, es decir, aquellos que no están cumpliendo su desempeño en cuanto a vida útil esperada por Minera Escondida, en los camiones Komatsu, destacan los motores de tracción y los discos de frenos. El Gráfico 6 que se presenta a continuación, muestra el cambio de motores de tracción que registró la compañía durante el primer semestre del 2016.



**Gráfico 6. Cambio motor de tracción, FY16.**

La vida útil esperada para un motor de tracción es de aproximadamente 23500 horas. De este gráfico es posible observar que, del total de motores de tracción cambiados durante el periodo del primer semestre de 2016, un 72% no cumplió con la vida útil esperada debido a un cambio por falla prematura. Por otro lado, dadas las características de disponibilidad y utilización de los camiones, un motor de tracción debiese durar aproximadamente entre tres y cuatro años.

Con respecto a las estadísticas básicas de los datos de cambio de MT, durante el primer semestre del 2016, se tiene un promedio es de 11635 horas y una desviación estándar de 7273 horas. En la sección Anexo E.1 se muestra la variación que presentan los MT según Six Sigma.

A continuación, se presenta un ejemplo específico de cambio recurrente de motor de tracción en la posición RH ocurrido en un equipo Komatsu 960E.

**Tabla 5. Falla prematura de MT mismo CAEX.**

Equipo	Componente	Posición	Fecha de Cambio	Horas Componente Retirado	Motivo de Cambio
TK396	Motor Tracción	RH	27-06-2016	9204	Falla Prematura
TK396	Motor Tracción	RH	30-07-2016	468	Falla Prematura

Los motores de tracción que son instalados en los camiones pueden provenir de reparación o pueden ser nuevos; el motor de tracción que es retirado para su reparación y nuevamente instalado, puede ser instalado en cualquier posición: RH (right hand) o LH (left hand) según requerimiento. La tabla que se presenta a continuación, muestra la condición específica de los motores que son sometidos a reparación.

**Tabla 6. Cambio de MT reparado.**

Equipo	Posición	Horas Componente Retirado	Motivo de Cambio	N/S Retirado	N/S Instalado	Cambio de horómetro
TK852	RH	1734	Falla Prematura	WX14100048T	WX14100050	SI
TK396	RH	468	Falla Prematura	W12010002	WX14100048T	SI
TK853	LH	20782	Horas	W11100008	W12010002	SI
TK861	RH	13757	Falla Prematura	W13040080	WX14090036T	SI
TK872	RH	3710	Falla Prematura	WX1504005T	W13040080	SI

En el caso de los equipos de carguío los componentes que presentan constantes cambios o remplazos son: los cables de levante, los cables de empuje y recoge para el caso de las palas Bucyrus, la pluma, el mango, el balde, las cremalleras y rodillos de giro y la maquinaria de propulsión, entre otros.

De estos componentes los que destacan debido a que no cumplen con su vida útil son los cables, baldes, mangos y plumas. A continuación, se presenta los rangos de vida útil de los cables y baldes, elementos que serán considerados para este estudio, debido principalmente al alcance de tiempo definido para este estudio.

**Tabla 7. Vida Útil de cables en palas.**

Cables	Vida útil [t movido]
SV065 - SV066 - SV067 - SV069 - SV070 - SV078 - SV079 - SV092 (BRIDON)	3.800.000 - 5.100.000
SV068 - SV072 - SV073 - SV074 - SV075 - SV076 - SV077	2.600.000 - 3.400.000

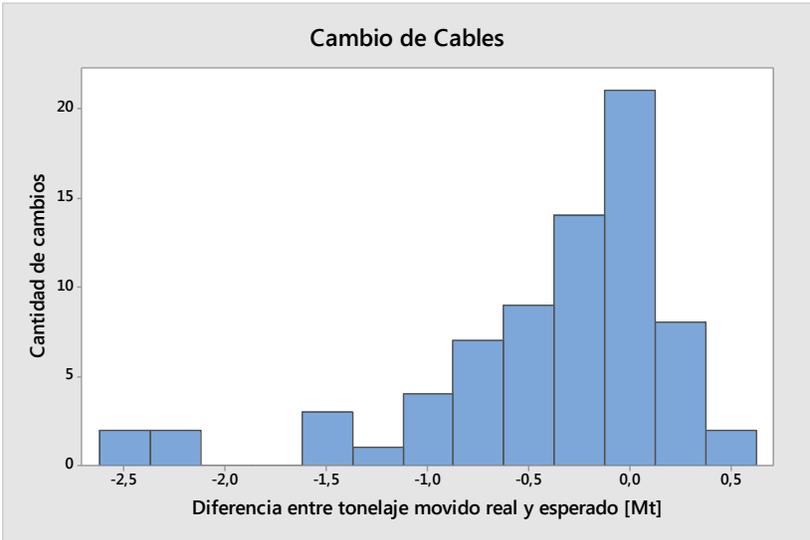
**Tabla 8. Vida Útil de baldes en palas.**

Balde	Vida útil [t movido]
SV063 - SV065 - SV066 - SV067 - SV069 - SV070 - SV068 - SV071 - SV072 - SV073 - SV074 - SV076 - SV077 - SV079	19.00.000 - 25.000.000

Los gráficos que se presentan a continuación muestran como los componentes (cables y baldes) no cumplen con el tonelaje que se espera que muevan (vida útil esperada), esta situación se presenta en el gráfico como la diferencia entre el tonelaje movido por la pala (el componente), y tonelaje movido que se espera (vida útil esperada del componente), en otras palabras la diferencia entre tonelajes movidos que tiene signo negativo corresponde a la cantidad de tonelaje que le faltó al componente por cumplir, si la diferencia entre tonelaje movido es cero significa que el componente cumplió con su vida útil programada y finalmente si se tiene que la diferencia entre tonelajes movidos es positiva significa que el componente tuvo un mayor desempeño del esperado.

También, se consideró que aquellos componentes que han cumplido satisfactoriamente con su vida útil son aquellos que, a lo menos, han alcanzado el 90% de la vida útil que se esperada para este. En la sección Anexo E.2 se muestra la variación que presentan los cables y baldes según Six Sigma.

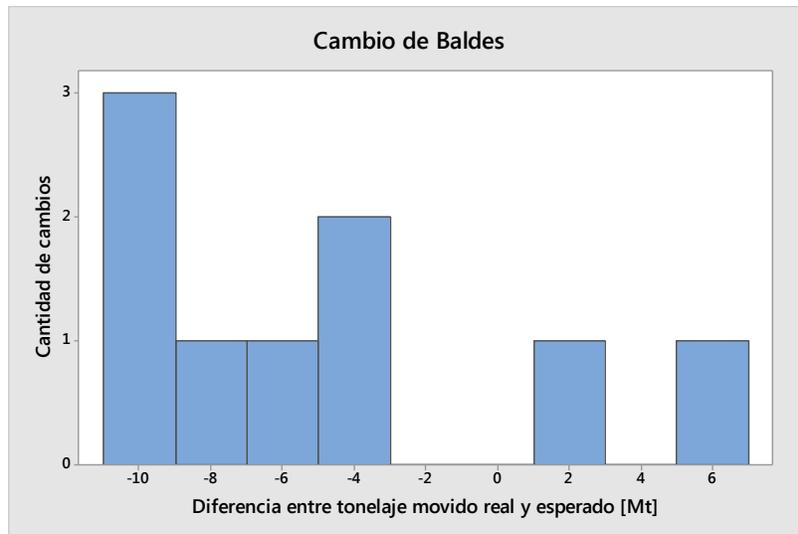
Con respecto al tonelaje movido promedio esperado por cable este es de 3.65 millones de toneladas, lo que equivale a aproximadamente, dadas las condiciones de disponibilidad y utilización de las palas, a una duración aproximada de un mes y medio.



**Gráfico 7. Cambio de cables, 1º semestre 2016.**

Del Gráfico 7, es posible observar que durante el periodo evaluado del total de cables que fueron cambiados un 44% no cumplió con la vida útil esperada, y en promedio se obtuvo que el tonelaje faltante por mover fue de 718 mil toneladas por cable que no cumplió con la vida útil esperada, es decir, faltó por cumplir un 20% de la vida útil esperada promedio por cable.

Para el caso de los baldes el tonelaje movido promedio es de 21.45 millones de toneladas, lo que equivale aproximadamente, dadas las condiciones de disponibilidad y utilización de las palas, a una duración entre 7 y 9 meses.



**Gráfico 8. Cambio de baldes, 1°sem 2016.**

Del Gráfico 8 se tiene que el 78% de los baldes cambiados, durante el periodo del 1° semestre del 2016, tuvo un bajo desempeño con respecto a su vida útil esperada, con respecto a la cantidad de tonelaje que faltó por mover en promedio por balde, que no cumplió con la vida útil esperada, fue 7.2 millones de toneladas, lo que equivale a un 34% de la vida útil esperada.

#### 4.1.2. Factores que afectan la vida útil de los componentes

En este contexto de componentes que presentan bajo desempeño, resulta fundamental entender, identificar y analizar las principales causas que generan esta condición. Para esto se realizó un análisis causa raíz, basado en la realización de una lluvia de ideas para cada categoría sumado a la experiencia y observación adquirida por el estudiante junto con un equipo de supervisores, instructores, mantenedores y personal de fábrica.

A continuación, en la Ilustración 15 e Ilustración 16 se muestra el diagrama Ishikawa realizado tanto para el desgaste prematuro de los componentes de los CAEX (motor de tracción), como para las palas (cable y balde), en donde se puede observar que se enumeran un conjunto de causas que potencialmente explican el bajo desempeño de estos componentes.

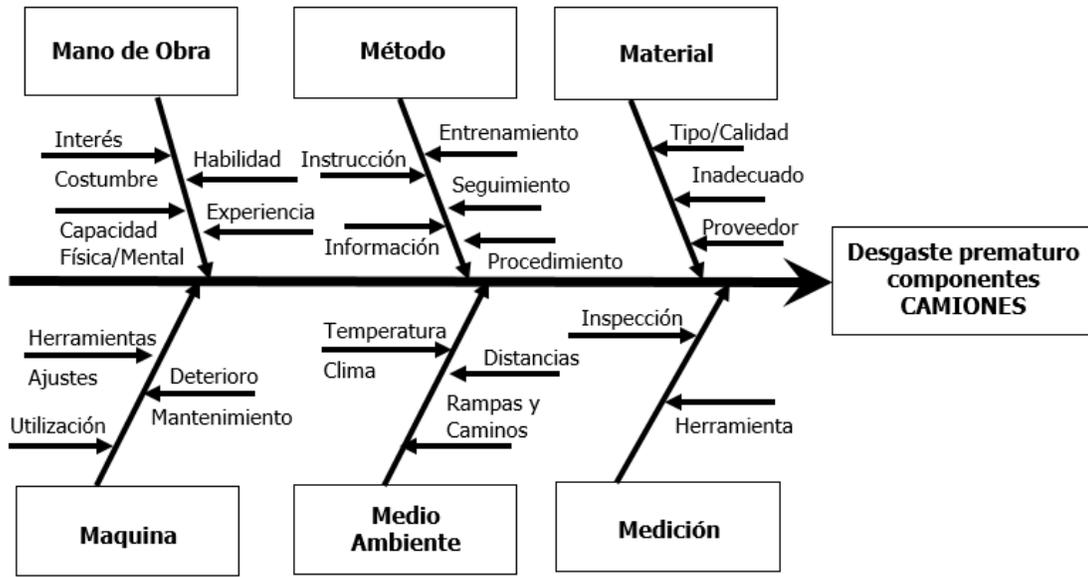


Ilustración 15. Diagrama Causa-Efecto de componentes en camiones.

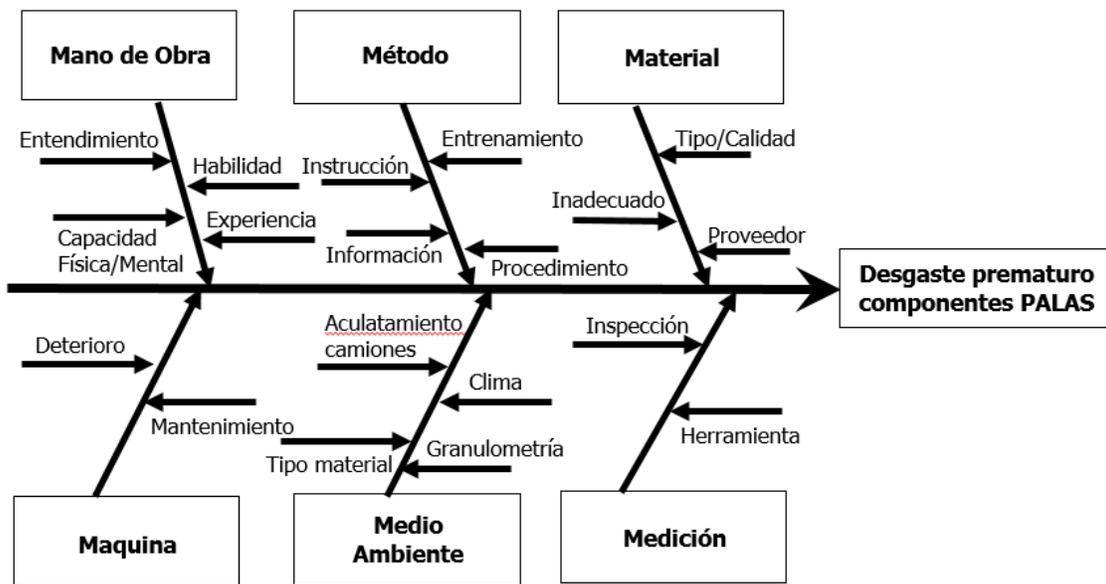


Ilustración 16. Diagrama Causa-Efecto de componentes en palas.

De estos diagramas es posible observar que son muy similares por lo que el análisis de cada categoría se realizó en paralelo. La categoría de mano de obra se refiere al operador y como este a través de su operación afecta en el desgaste prematuro de los componentes del equipo, entre estas causas se puede mencionar la falta de experiencia del operador, que no se encuentra concentrado en su trabajo, la monotonía de la operación del equipo, la costumbre de operar cierto modelo de equipo, entre otras razones, como se muestra en la Ilustración 15 e Ilustración 16.

Por otro lado, el método de trabajo se refiere a la manera de como la forma de operar el equipo afecta el desempeño de los componentes, en cuanto a las estandarizaciones de los procedimientos de operación del equipo.

El material en este caso corresponde a los componentes empleados y como estos afectan a su desgaste, en cambio la categoría de máquina y medio ambiente se refiere a como el camión o la pala y el medio ambiente, respectivamente, afectan la vida útil de los componentes.

Finalmente, la medición se refiere a la forma en que se mide que tan desgastado esta un componente y cuando este sobrepasa su valor crítico para su cambio, en esta categoría destaca que la inspección realizada no fue la adecuada, la herramienta para medir el desgaste no es la adecuada o está mal calibrada, entre otras.

#### 4.1.3. Relación vida componentes con malas prácticas operacionales

A partir del Diagrama de Ishikawa confeccionado, se identificó que la causa más probable a la que se debe el bajo desempeño que presentan los componentes de los equipos de carguío y transporte, corresponde a las malas prácticas operacionales por parte de los operadores de estos equipos, provocando una gran cantidad de eventos operacionales.

A continuación, se muestra el Diagrama de Pareto realizado, el cual se basa en identificar las principales causas de los incidentes que se generan en los equipos de carguío y transporte, y donde resultan especialmente afectados los componentes de estos equipos.

Este diagrama se generó a partir de una recopilación de los informes que realiza Minera Escondida por cada incidente que ocurre en la mina, específicamente para la confección del diagrama se utilizó sólo aquellos incidentes relacionados a los equipos de carguío y transporte, que generaron un daño y/o desgaste en los componentes de estos equipos.

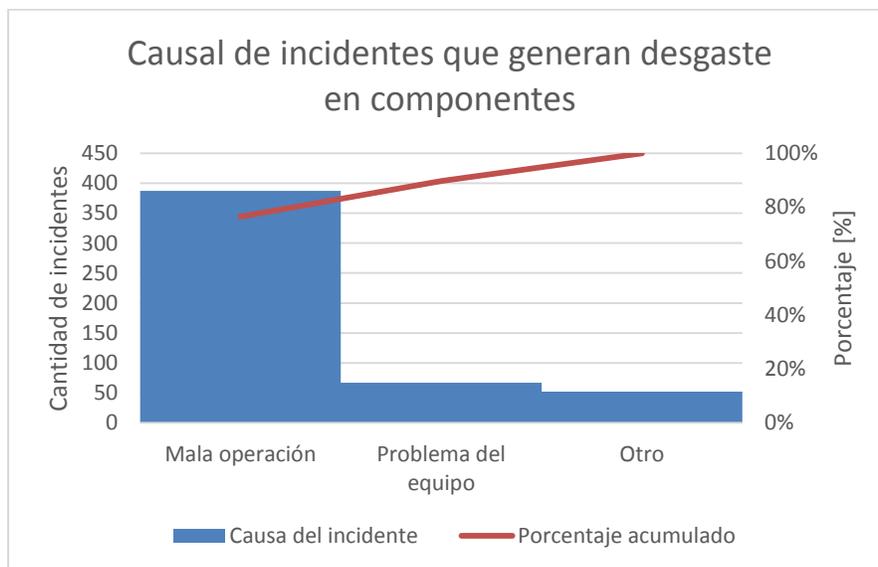
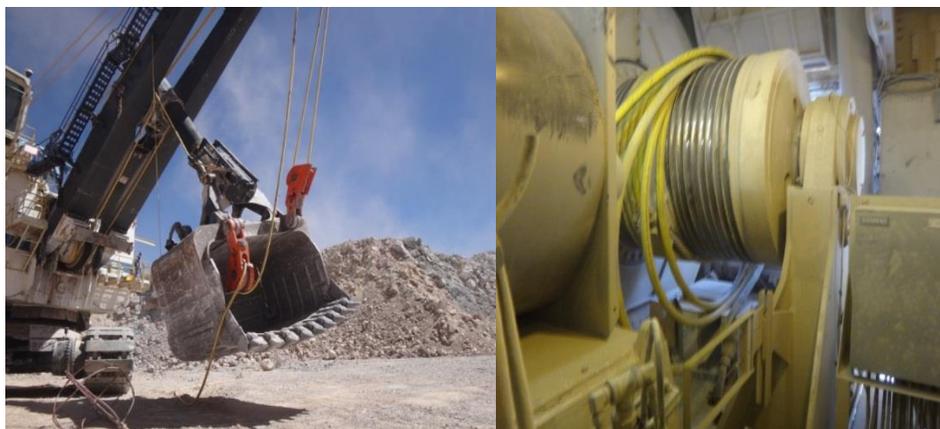


Gráfico 9. Pareto causa-incidente.

De este gráfico es posible observar que los incidentes que se generan en los equipos de carguío y transporte en Minera Escondida, asociados a un desgaste prematuro en los componentes de los equipos, se deben principalmente a una mala operación del equipo por parte de los operadores. Con esto se verifica que la mano de obra es el principal factor que afecta la vida útil de los componentes o, dicho de otra forma, el bajo desempeño que presentan los componentes estudiados (motores de tracción para los camiones y cables y baldes para las palas). La Ilustración 17 e Ilustración 18 muestran el desgaste de los componentes estudiados producto de la mala operación en ambos equipos, respectivamente.



**Ilustración 17. Desgaste motor de tracción (arriba) y paquetes de frenos (abajo).**



**Ilustración 18. Corte cable en pala.**

#### 4.1.4. Descripción prácticas operacionales relacionadas

Se realizaron varias salidas a terreno con el objetivo de observar e identificar las malas prácticas operacionales de los operadores en ambos equipos, a continuación, se describen las principales y más reiteradas. Cabe destacar la importancia de una buena operación del equipo ya que está en peligro la integridad del operador por accidente, el cual corresponde al principal objetivo que tiene Minera Escondida que es la Seguridad. Esta es una de las razones por la que resulta fundamental conocer e identificar las incorrectas prácticas operacionales, ya que en base a eso se puede conocer cómo prevenir la ocurrencia de estas. A continuación, se presentan las malas prácticas operacionales ocurridas en los camiones de extracción:

##### *Sobrecarga*

Se define como la situación que se produce cuando la carga útil alcanza el límite de sobrecarga según el modelo y configuración del equipo. En Minera Escondida, es considerado sobrecarga cuando la carga es mayor al 110% de la carga útil.

**Tabla 9. Carga útil y Sobrecarga CAEX.**

Modelo	Carga útil	Límite sobrecarga
793F	240 t métricas	260 t métricas
797B – 797F	354 t métricas	390 t métricas
930E	290 t métricas	320 t métricas
960E	330 t métricas	360 t métricas

La sobrecarga en los camiones Komatsu afecta principalmente la vida útil de los componentes: chasis, motor diésel, motores de tracción, suspensiones, cilindros de levante y neumáticos, entre otros. Y en los camiones Caterpillar afecta el tren de fuerza, suspensiones, sistema de levante, chasis, tolva, dirección y neumáticos, entre otros. [21]

La sobrecarga principalmente se debe a la operación del palero ya que este es el que carga el camión cumpliendo o no con el Factor de Carga estipulado por Minera Escondida.

##### *Uso incorrecto de frenos*

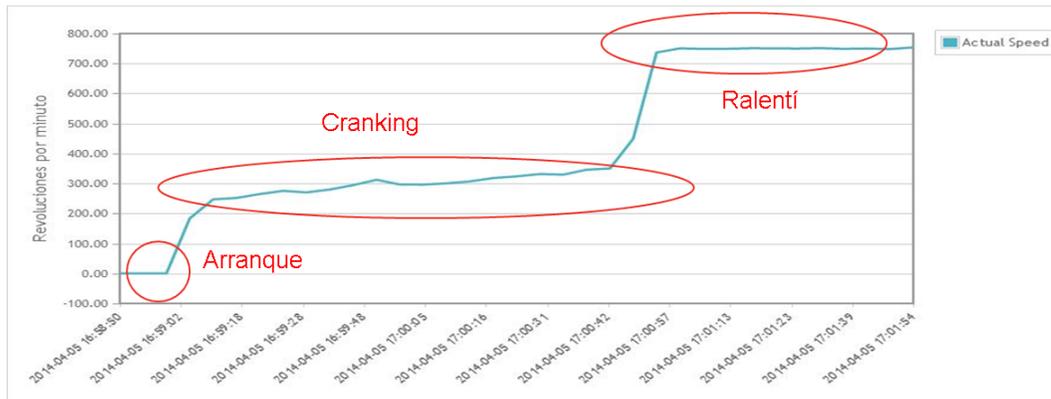
En este aspecto destaca la aplicación de frenos de servicios a alta velocidad y la aplicación del freno de parqueo con el equipo en movimiento, entre otras acciones relacionadas directamente con la aplicación de distintos tipos de frenos en situaciones que no corresponde, aumentando el desgaste y reduciendo la vida útil de los paquetes de frenos, específicamente causando daño a los discos de frenos, contaminando y aumentando la temperatura de aceite en sistema hidráulico por alta fricción y dañando al conjunto de válvulas hidráulicas por contaminación.

##### *Otras*

Entre otras malas prácticas operacionales que se identificaron, y que se están presentando en Minera Escondida, destaca el abuso de transmisión en los camiones Caterpillar y un excesivo cranking y ralenti en los camiones Komatsu.

El abuso de transmisión se genera al enganchar esta cuando el motor se encuentra en altas r.p.m. (sobre 1500r.p.m.) para salir del sitio en donde se encuentra el equipo y también en los abruptos cambios de sentido de marcha cuando se pasa desde primera a reversa en los acuatamientos. Estas malas prácticas dañan la transmisión y sus piezas internas como, por ejemplo, discos de embrague, rodamientos y engranajes, entre otros.

El cranking corresponde al periodo entre el arranque y el ralentí, esta alerta se genera cuando el motor permanece en este estado por sobre 25 segundos. En cambio, el ralentí excesivo se produce cuando el motor se encuentra en ralentí por un periodo mayor a 10 minutos. Estas prácticas reducen la vida útil del motor y sus piezas móviles. La ilustración que se presenta a continuación, muestra estos estados.



**Ilustración 19. Estados de motor en CAEX.**

Por otro lado, las prácticas operacionales que fueron identificadas y que ocurren recurrentemente durante la operación de una pala generando daño en los sistemas y/o componentes de la máquina son las que se presentan a continuación:

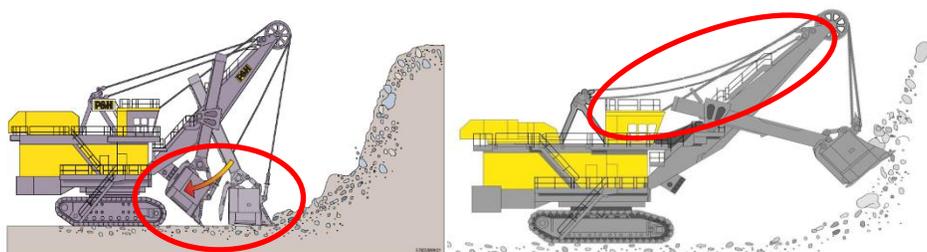
#### *Swing Impact (Impacto de giro)*

Esta condición se genera principalmente en el ciclo de carguío de la pala, específicamente al comienzo de la fase de excavación, para el llenado del balde, ocurre cuando esta acción se realiza en giro, es decir, se gira con el balde en la frente de carguío y no verticalmente hacia arriba. Esta acción genera daños progresivos sobre los motores, las transmisiones de giro y principalmente en los elementos estructurales de carguío como el balde, mango, la pluma y cables de levante.

También esta mala operación está relacionada a la detención abrupta de la pala contra el banco o el material cargado en el camión, con el mango extendido, mientras la pala gira.

#### *Boom Jack (levantar la pluma al cargar)*

Se produce al levantar la pluma por exceso de referencia de empuje (mucha penetración de empuje), generando que la pluma caiga y se flexione entre el gantry y el extremo superior de la pluma, lo que lleva a una sobre extensión de los cables de suspensión. Los componentes afectados son los cables de suspensión, el A-Frame y la pluma.



**Ilustración 20. Boom Jack**

Normalmente se produce cuando el operador sobre exige el empuje al inicio del ciclo de llenado del balde (excavación). Esto se debe a una incorrecta coordinación de elevación debido a que el operador utiliza la velocidad excesiva de levante en el inicio del ciclo de excavación, teniendo los cables de levante sueltos o sin tener referencia de elevación alguna, lo que provoca una tensión excesiva en los componentes. [15]

*Impacto zapata-balde*

Se genera cuando el operador, al momento del comenzar la fase de excavación o mientras realiza limpieza del piso de trabajo, impacta con el balde la zapata de la pala. Esta acción provoca desgaste prematuro de la zapata, provocando fracturas en esta misma, en el balde o en el ojo de pestillo. Generalmente ocurre cuando el operador ubica el balde para comenzar la fase de excavación.

Una acción similar es la provocada por la excavación de la pala en la frente. Dada las condiciones operacionales que esta presenta, sumado al modo en que el operador ataca la frente, se genera un derrumbe de está provocando la caída abrupta de bolones. Estos bolones impactan el equipo de carguío, provocando daños en las estructuras y componentes de las mismas, siendo particularmente la zapata el componente que resulta más dañado debido a esta acción.

*Sinking shovel (hundimiento de la pala)*

Esta práctica se genera cuando la operación de ésta se realiza en superficies no firmes (irregulares), y desniveladas, con escombros o rocas, ocasionando sobre esfuerzos en componentes estructurales del chasis inferior y sobrecarga en los elementos estructurales de carguío.

A partir de estas prácticas operacionales se identificó que las que están relacionadas directamente al desgaste prematuro de los componentes estudiados, para el caso de los equipos de transporte se tiene que el desgaste prematuro del motor de tracción se debe a una mala aplicación de los frenos, provocando también un desgaste en estos; y para el caso de los equipos de carguío, la mala operación de este equipo genera cortes, fisuras y daños en los cables y baldes.

4.1.5. Eventos operacionales considerados para el estudio

A partir de las malas prácticas operacionales que se detectaron en Minera Escondida, es el uso incorrecto de los frenos la que destaca en los equipos de transporte. Esto debido a su alta ocurrencia e impacto en el desgaste prematuro de los paquetes de freno y los motores de tracción. Los eventos asociados a estas prácticas operacionales son los eventos por freno de servicio y freno de parqueo, específicamente:

**Tabla 10. Eventos por freno de parqueo considerados para el estudio.**

Dispatch ID	EVENTOS	Interface
5010081	Parking Brake – Active	VIMS
501132D	Parking Brake Cab Switch – Active	VIMS
B01FF01	Parking Brake Commanded Off (GEControlled PB) – Active	TCI
B01FEB3	Parking Brake Switch – Active	TCI
5012523	Park Brake Solenoid – Active	VIMS

**Tabla 11. Eventos por freno de servicio considerados para el estudio.**

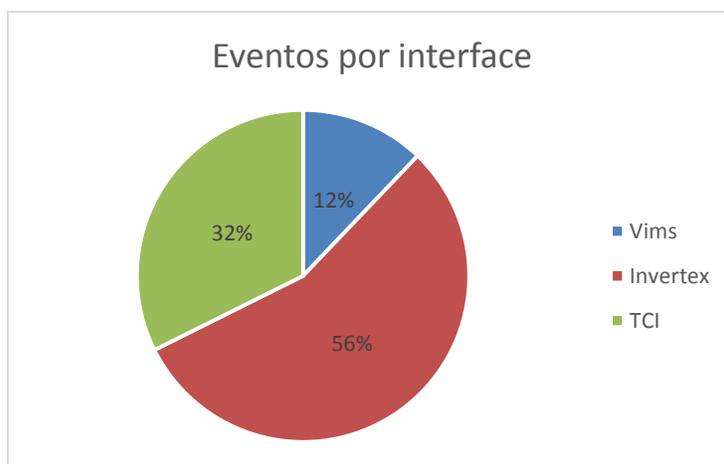
Dispatch ID	EVENTOS	Interface
3E01FCBD	Service Brake @ Speed	Invertex
50118BB	Service Brake Accumulator Pressure-Active	VIMS
B010014	Service BRK > 8mph	TCI
5013601	Service Brake Acc Pressure Not Responding – Active	VIMS

El evento operacional por freno de parqueo se debe a su aplicación cuando el equipo se encuentra en movimiento, es decir su velocidad es mayor a 0 km/h. En los camiones Komatsu el evento por parking brake commanded off está asociado a la aplicación del freno de parqueo en carga/descarga del equipo.

Por otro lado, los eventos operacionales por freno de servicio se deben a su aplicación en velocidad mayor a la recomendada por el fabricante. En los camiones Caterpillar el evento por acumulación de presión en el freno de servicio se debe a una posible baja presión del acumulador, ya sea por fuga de aceite interna, acumulador descargado (nitrógeno), bomba de freno no carga, falla sensor de presión.

Específicamente, el bajo desempeño que presentan los motores de tracción se debe solo a los eventos asociados a los camiones de extracción Komatsu, ya que los camiones Caterpillar no poseen motores de tracción. De todas formas, para la realización de este estudio y análisis de eventos ocurridos, se considerarán aquellos eventos anteriormente mencionados asociados a ambos equipos de transporte (Komatsu y Caterpillar).

El gráfico que se presenta a continuación muestra la distribución porcentual de la cantidad de eventos ocurridos durante el periodo del primer semestre del 2016 según la interface del equipo de transporte.



**Gráfico 10. Distribución porcentual de eventos según interface.**

Con respecto a los eventos operacionales que serán considerados en los equipos de carguío, destacan los eventos por *Boom Jack* y *Swing Impact*, ya que estos debido al impacto y la vibración que generan en el equipo provocan daños acumulativos en el tiempo en los baldes, cables, pluma y mango. Específicamente, en este estudio se considera sólo el daño generado en los baldes y cables. Pese a esto, al disminuir la cantidad de eventos que afectan a estos componentes, también se mejora el desempeño del mango y la pluma, debido a que estos componentes resultan igualmente afectados a través de fisuras generadas por las vibraciones que los eventos por *Swing Impact* y *Boom Jack* provocan en el equipo.



**Ilustración 21. Fisuras en mango.**

En síntesis, se detectó que la causa principal del desempeño bajo lo esperado que presentan los componentes es debido a la mala operación del equipo. Estas malas prácticas operacionales son medibles por eventos operacionales, aquellos que generan un impacto significativo en los motores de tracción son los eventos por freno de parqueo y los eventos por freno de servicio. En cambio, para los cables y baldes los eventos que afectan su desempeño son principalmente los eventos por *Swing Impact* y por *Boom Jack*.

Debido al impacto que generan las malas prácticas operacionales en los equipos, resulta fundamental reducir la cantidad de eventos generados en los equipos de carguío y transporte para obtener un buen desempeño de los componentes que se ven especialmente afectados con estos eventos.

## 4.2. Análisis de datos

Esta etapa del estudio consiste en analizar la información relevante de los eventos operacionales seleccionados. Por esta razón los párrafos que se presentan a continuación muestran las principales características de los eventos ocurridos durante el periodo FY16 (desde julio 2015 a junio 2016) para el caso de los CAEX y el 1<sup>er</sup> semestre del 2016 para las palas.

### 4.2.1. Equipos de transporte

Con respecto a la flota de transporte, el Gráfico 11 muestra la distribución diaria de la cantidad de eventos operacionales generados por la mala aplicación del freno de servicio y el freno de parqueo, por parte de los operadores de equipos Komatsu y Caterpillar, durante el periodo de FY16, es decir, antes de la implementación de mejoras.

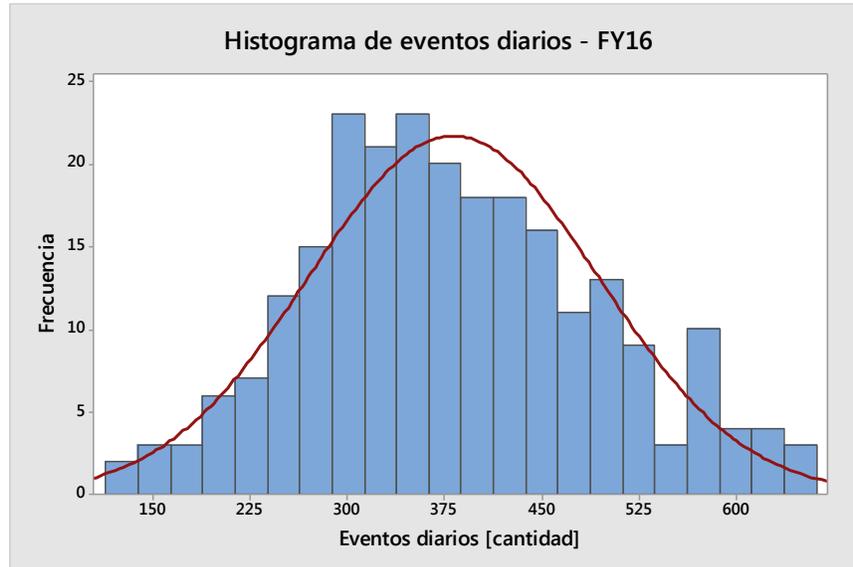
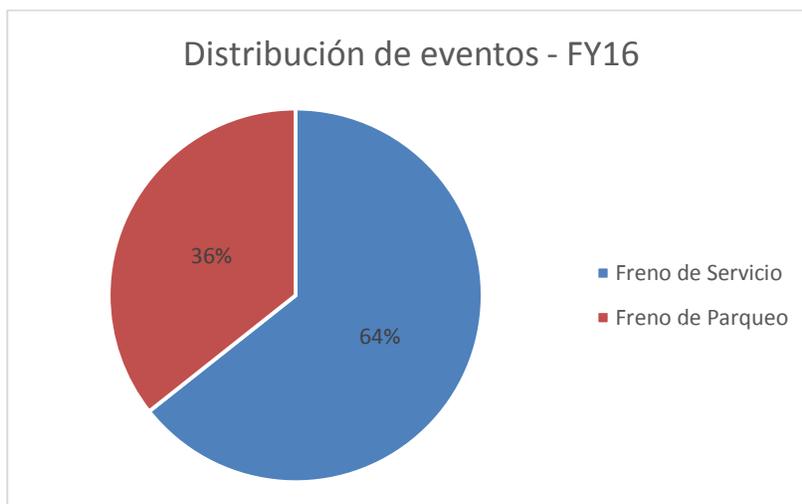


Gráfico 11. Histograma de cantidad de eventos ocurridos diariamente, FY16.

Como se vio anteriormente, los eventos operacionales se dividieron en: eventos por freno de parqueo y eventos por freno de servicio. Específicamente se tiene que el 64% del total de los eventos corresponde a eventos por freno de servicio y un 36% a eventos por freno de parqueo, tal y como se muestra en el Gráfico 12.



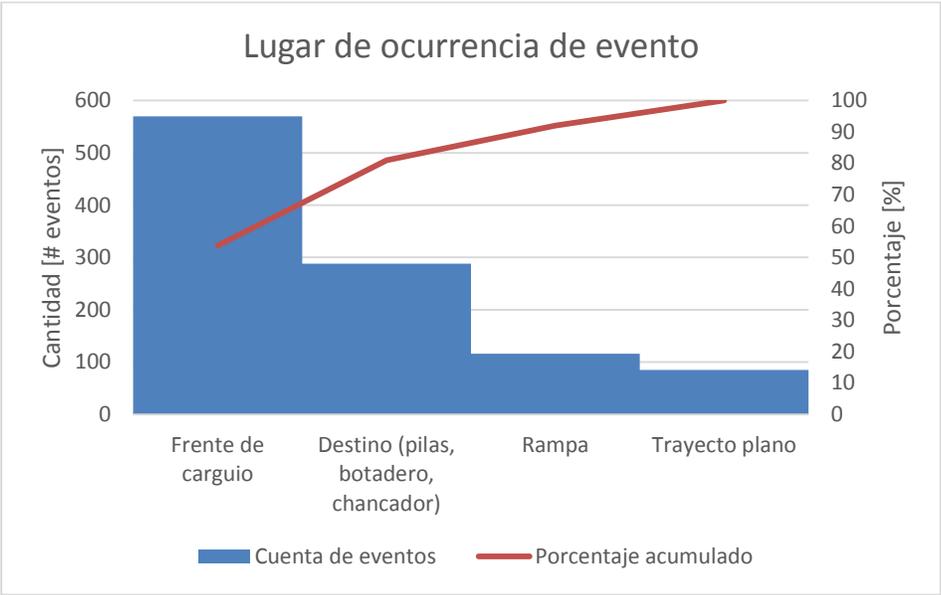
**Gráfico 12. Distribución porcentual según los dos tipos de eventos generales, FY16.**

Con respecto a la cantidad de eventos ocurridos durante el periodo FY16, la Tabla 12 muestra el promedio mensual, semanal y diario de estos.

**Tabla 12. Promedio de eventos ocurridos, FY16.**

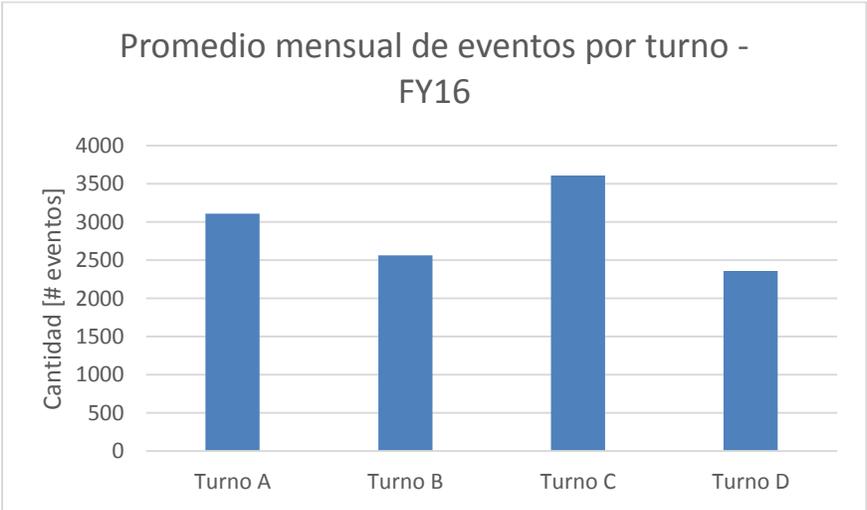
Evento	Promedio [cantidad]			Participación [%]
	Mensual	Semanal	Diario	
Freno de servicio	7486	1718	245	64%
Freno de parqueo	4150	953	136	36%
Total	11636	2671	382	100%

A partir de los datos recolectados, se identificaron los lugares donde generalmente ocurren ambos tipos de eventos (freno de servicio y freno de parqueo). Como se puede observar en el Gráfico 13, estos tipos de eventos ocurren principalmente en las frentes de carguio, seguido por aquellos lugares en donde el equipo debe disminuir su velocidad para detenerse.



**Gráfico 13. Pareto de georeferencia de ocurrencia de eventos.**

Al analizar la cantidad de eventos por turno, se tiene que el turno que presenta una mayor cantidad de eventos corresponde al turno C, el gráfico que se presenta a continuación muestra la cantidad de eventos por turno.



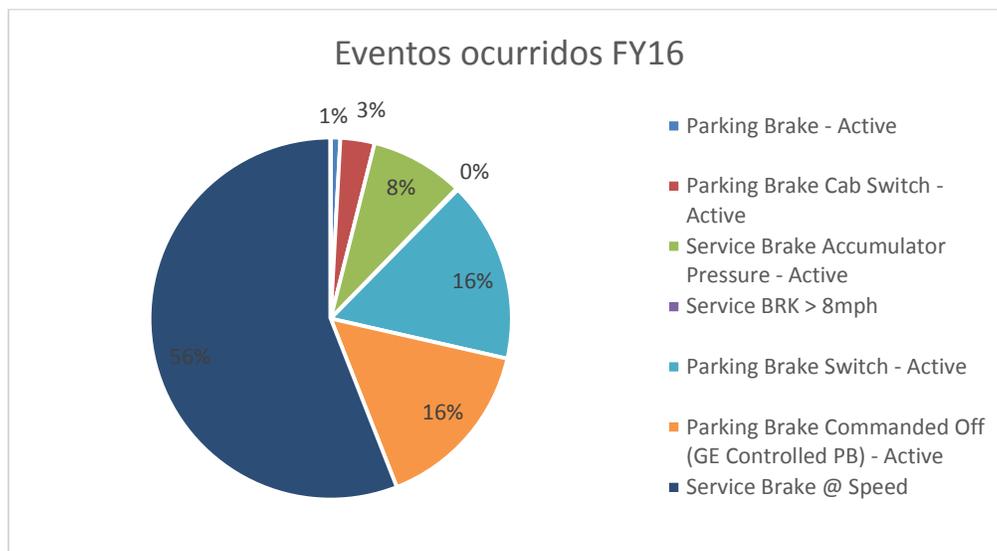
**Gráfico 14. Promedio mensual de eventos por tipo de evento y turno.**

La Tabla 13 muestra el promedio mensual, semanal y diario que presentó cada turno durante el periodo FY16, también la participación porcentual que cada turno tiene con respecto a la cantidad total de eventos ocurridos.

**Tabla 13. Promedio de eventos por turno.**

Turno	Promedio			Participación [%]
	mensual	semanal	diario	
A	3109	1463	209	27%
B	2562	1148	164	22%
C	3607	1616	231	31%
D	2358	1119	160	20%

Por otro lado, también se analizaron los eventos que más se generan en Minera Escondida, los cuales corresponden a los eventos por freno de servicio aplicado en velocidad (Service Brake @ Speed), seguido por la aplicación del freno de parqueo con el equipo en movimiento (Parking Brake Switch – Active) y aplicación del freno de parqueo en carga y descarga en los camiones Komatsu (Parking Brake Commanded Off (GE Controlled PB) – Active), ver Gráfico 15.



**Gráfico 15. Distribución porcentual según tipo de evento, FY16.**

#### 4.2.2. Equipos de carguío

Los eventos por *Boom Jack* y *Swing Impact*, generan daños estructurales en los componentes de carguío, debido principalmente a las altas vibraciones y esfuerzos a los que estos componentes se ven sometidos; generando daños, tales como fisuras, en los componentes, que son acumulativos en el tiempo. El gráfico que se presenta a continuación muestra el promedio de daño acumulativo que presenta en general un equipo de carguío en Minera Escondida, durante el primer semestre del 2016. Cabe destacar que en general se cumple, que al millón de microdaños<sup>2</sup> se genera una falla catastrófica en los componentes.



Gráfico 16. Daño acumulativo en pala.

De este gráfico se tiene que el promedio semanal y mensual de microdaños generados en un equipo de carguío Bucyrus, es de:

Tabla 14. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus, 1<sup>er</sup> semestre 2016.

Semanalmente	Mensualmente
21500 microdaños	96750 microdaños

Por otro lado, para el caso de las palas P&H se tiene que la cantidad de eventos ocurridos en promedio por pala, durante el periodo del primer semestre del 2016, específicamente los meses de abril, mayo, junio y julio, fue de:

Tabla 15. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H, 1<sup>er</sup> semestre 2016.

Diariamente	Semanalmente	Mensualmente
30	209	940

<sup>2</sup> Unidad de medida del daño estructural generado en un equipo de carguío, ver Anexo D.

## 4.3. Mejoras implementadas

En esta sección se detallan las mejoras que se realizaron para disminuir la cantidad de eventos operacionales en los equipos mineros de carguío y transporte. Estas se dividieron en tres etapas; la primera etapa consistió en generar información oportuna y a tiempo de los eventos operacionales que estaban ocurriendo, la segunda etapa se basa en mantener informada a la organización sobre los eventos ocurridos, su cantidad y características principales; y finalmente en la tercera etapa se realizó un análisis de la información y toma de acciones en base a estos resultados. A continuación, se detalla lo realizado en cada etapa:

### 4.3.1. Primera etapa

Dadas las características que presenta actualmente Minera Escondida, contar con un sistema de alarma en línea que informe a los operadores de la mala operación que se está realizando en ese momento en el equipo, resulta fundamental para que el operador tome conciencia y modifique su actuar (manera de operar el equipo) durante el turno, y así evitar que las malas prácticas operacionales perduren a lo largo del turno.

Con este objetivo, se implementó en los equipos de transporte el Módulo Fast Feedback y en los equipos de carguío se implementó la generación de un reporte por parte de los fabricantes de los eventos ocurridos y también se implementó la instalación del control adaptivo. A continuación, se detallan estas mejoras realizadas.

#### - *Fast Feedback*

Con el objetivo de asegurar tanto la operatividad del equipo como la seguridad del operador, a través de la prevención en el uso del equipo de transporte, se implementó el módulo Fast Feedback. Este módulo de DISPATCH consiste en una herramienta que posee la capacidad de recibir alarmas de los sensores de estado del equipo en tiempo real y los registra en una base de datos. También permite configurar mensajes para ser enviados a los operadores y despachadores cuando se gatille un evento de alarma OEM (Vims, PLM, Cense, Invertex, etc.).

Las alarmas Fast Feedback se implementaron en todas las flotas de camiones de extracción, en el display de la cabina del operador, con el objetivo de advertir al operador sobre una condición de funcionamiento anormal en uno de los sistemas del equipo. Específicamente, esta advertencia consiste en visualizar en la pantalla del display el evento generado por la mala práctica operacional.



**Ilustración 22. Visualización alarmas en la cabina del operador.**

Entre los beneficios que se tienen al implementar estas alarmas en el display, destacan:

- Realizar las acciones correctas ante la aparición de un evento de condición anormal de funcionamiento.
- Evitar que una condición anormal de operación del equipo se convierta en un riesgo para las personas o pueda producir algún daño material.
- Evitar que una condición anormal de operación produzca daños en los componentes del equipo o integridad del mismo.

- *Reportes técnicos del fabricante*

Estos reportes tienen el objetivo de identificar la cantidad de eventos operacionales de *Swing Impact* y *Boom Jack* ocurridos en los equipos de carguío. Dado que Minera Escondida cuenta con dos tipos de palas, P&H y Bucyrus, el reporte generado en ambos casos es distinto. A continuación, se detalla cada uno de estos.

Para el caso de las palas P&H, el reporte generado corresponde a un reporte diario y por pala, que muestra la cantidad de eventos generados durante el día, el horario en que se generaron estos y el estado que presentó la pala durante el día, es decir, si se encontraba operativa, en falla o parada.

Con respecto a las palas Bucyrus el reporte generado proviene de la tecnología implementada por Cadetech Engineering, el cual consiste en un reporte semanal (desde el inicio hasta el final del turno), y por pala, que mide el daño estructural que generan los eventos por *Swing Impact* y *Boom Jack*. La unidad de medida del daño generado es microdaño. Cabe destacar que los daños producidos en los componentes son acumulativos en el tiempo, este reporte entrega el total de microdaños generados en la pala durante un turno.

La ilustración que se presenta a continuación muestra ambos reportes técnicos que se implementaron. Cabe destacar que en la sección Anexo D se especifica como se mide el daño estructural en el equipo de carguío y el funcionamiento de este.

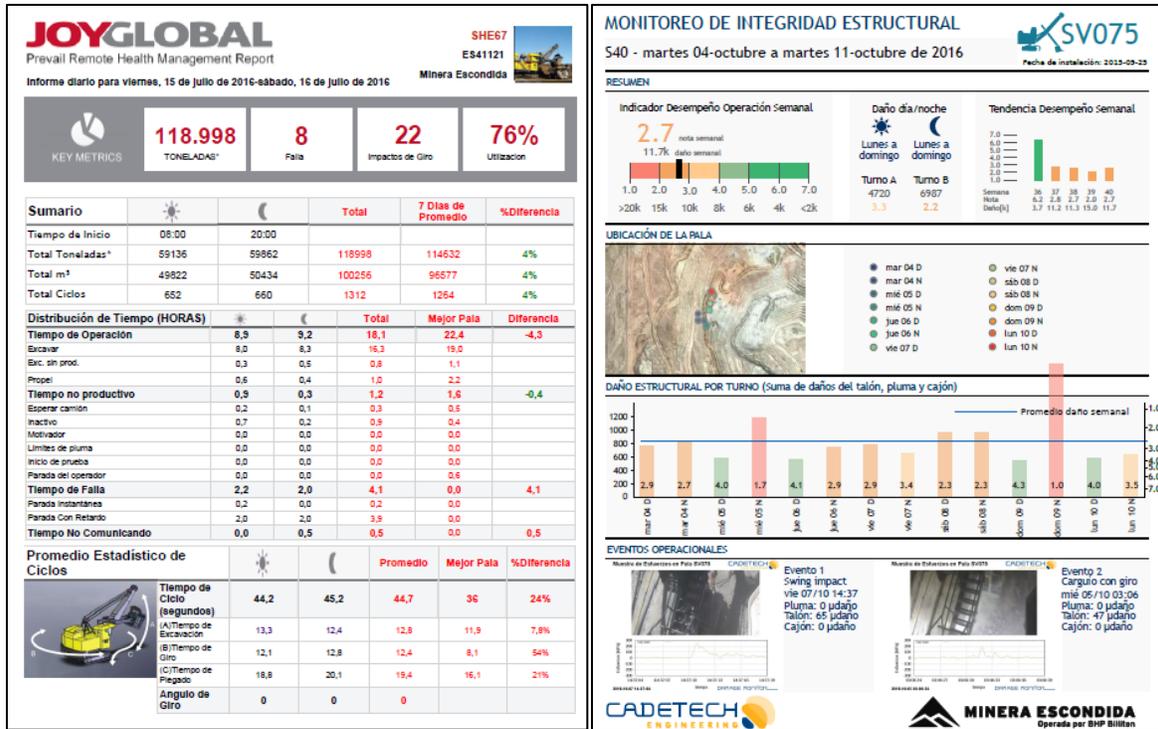


Ilustración 23. Reporte técnico palas P&H y Bucyrus.

- *Control adaptivo*

También, con el fin de cuidar los componentes en los equipos de carguío, se implementó la instalación gradual del control adaptivo en las palas. Este sistema consiste en una serie de funciones de control que optimizan el uso de energía de la pala en diferentes fases del ciclo de excavación. Su propósito es mejorar el rendimiento de la pala mientras se disminuye el efecto de los impactos de operación en la máquina.

Con respecto al control adaptivo este se encarga de:

1. Control y aplicación de energía inteligente.
2. Mejorar la producción de la pala sin sacrificar la vida de esta
3. Reducir los *Boom Jack*.

Específicamente, la disminución del daño en el equipo reduce el tiempo de reparación y mantenimiento, mientras reduce la exposición de los empleados a los riesgos de seguridad. A continuación, se presentan las funciones que posee esta tecnología:

- Entrada inteligente



- ✓ Mejora la penetración en los bancos
- ✓ Mejora la eficiencia del operador
- ✓ Reduce los *Boom Jack*

- Opti-toe



- ✓ Mejora la fuerza del corte y la productividad
- ✓ "Recompensa" al operador para cavar cerca

- Retroceso inteligente



- ✓ Desacoplamiento más suave del banco
- ✓ Reduce la carga estructural

- Compensación de carga activa



- ✓ Optimiza los torques y las velocidades de las maquinas
- ✓ Activa cuando se excede el RSL

- Alcance extendido



- ✓ Mejora el alcance al dump

### 4.3.2. Segunda etapa

#### - Reporte practicas operacionales en CAEX

Con el objetivo de mantener informada a la organización, se realizó un reporte semanal por turno y diario, que permite obtener información de los eventos y sus principales características, de forma de analizar e identificar las falencias y así poder tomar acciones inmediatas para evitar las malas prácticas operacionales y de esta forma disminuir la cantidad de eventos en los CAEX. La Ilustración 24 e Ilustración 25 muestran la confección de estos reportes.

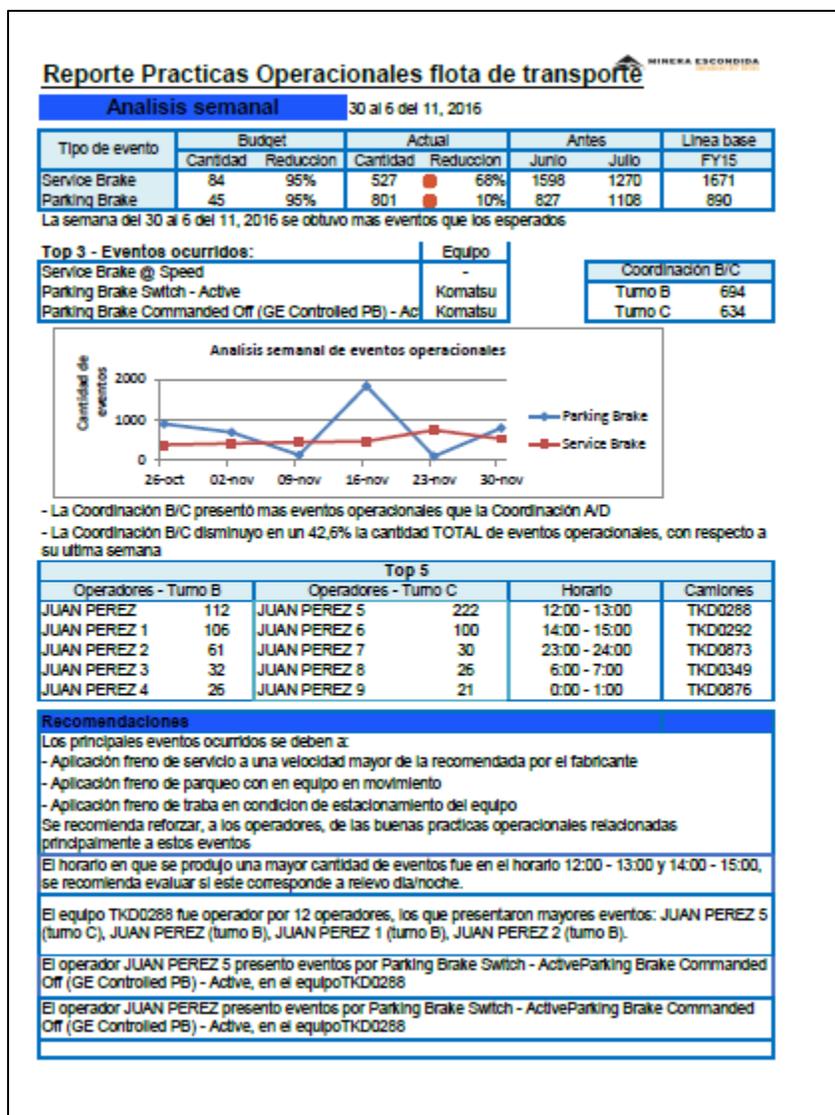


Ilustración 24. Reporte semanal: Practicas operacionales en CAEX de MEL

## Reporte Practicas Operacionales flota de transporte



**Analisis diario** 19-12-2016

Tipo de evento	Budget		Actual		Linea base FY15
	Cantidad	Reduccion	Cantidad	Reduccion	
Service Brake	12	95%	61	75%	245
Parking Brake	7	95%	3	98%	136

La semana del 19-12-2016 se obtuvo mas eventos que los esperados

### Top 3 - Eventos ocurridos:

Evento	Equipo
Service Brake @ Speed	-
Service Brake Accumulator Pressure - Active	Caterpillar
Parking Brake - Active	Caterpillar

Coordinación B/C	
Turno C	37
Turno B	27

### Top Operadores

Nombre	Turno	Cantidad
JUAN PEREZ	B	4
JUAN PEREZ 1	B	4
JUAN PEREZ 2	C	4
JUAN PEREZ 3	C	4
JUAN PEREZ 4	C	3
JUAN PEREZ 5	B	3
JUAN PEREZ 6	C	3
JUAN PEREZ 7	B	3
JUAN PEREZ 8	B	2
JUAN PEREZ 9	B	2
JUAN PEREZ 10	C	2
JUAN PEREZ 11	C	2
JUAN PEREZ 12	B	2
JUAN PEREZ 13	B	2
JUAN PEREZ 14	C	2
JUAN PEREZ 15	C	2
JUAN PEREZ 16	C	2
JUAN PEREZ 17	C	2
JUAN PEREZ 18	C	2
JUAN PEREZ 19	C	2

### Detalle de operadores por evento

Operador	Turno	Equipo	Cantidad	Evento
JUAN PEREZ	B	TKD0396	4	Service Brake @ Speed
JUAN PEREZ 1	B	TKD0874	4	Service Brake @ Speed
JUAN PEREZ 2	C	TKD0872	4	Service Brake @ Speed
JUAN PEREZ 3	C	TKD0396	4	Service Brake @ Speed
JUAN PEREZ 4	C	TKD0861	3	Service Brake @ Speed
JUAN PEREZ 5	B	TKD0879	3	Service Brake @ Speed

Ilustración 25. Reporte diario: Practicas operacionales en CAEX de MEL.

Como se muestra en estas ilustraciones, esta herramienta permite identificar:

- La cantidad de eventos ocurridos semanalmente/diariamente, y cómo se encuentra el cumplimiento de estos con respecto al objetivo de reducción de eventos en un 95%.
- Los 3 eventos más frecuentes.
- La cantidad de eventos por turno.
- La tendencia de la cantidad de eventos ocurridos por frenos de servicio y frenos de parqueo semanalmente en el turno
- A los operadores que presentan mayor cantidad de eventos
- Los camiones de extracción que presentaron más eventos y el horario en que se produjo una mayor cantidad de eventos (para el caso del reporte semanal)

- El camión y el evento del operador que presentó una mayor cantidad de eventos (para el caso del reporte diario).

La herramienta se generó principalmente para el uso de los Supervisores Training encargados del área de capacitación mina, pero puede ser usada por cualquier miembro de la organización, ya sea despachador, staff, instructor u otro; también puede ser utilizada en cualquier parte de la compañía que se tenga conexión WIFI BHP. En la sección Anexo F se muestra el funcionamiento de estos reportes.

- *Reporte próximo cambio de componente en Palas*

Con respecto a la información entregada para los equipos de carguío, se implementó un reporte cuyo objetivo es entregar los días pendientes para el próximo cambio del componente, específicamente los cables y baldes, según el tonelaje actual y tonelaje pendiente por pala.

REPORTE CABLES PALAS								17-10-2016
Equipo	Sector Pala	Posicion	SC Cables	Fecha Instalacion	Ton Actual	Ton Pendientes	Dias Pendientes	Próximo Cambio
SV063	E. Norte	Lev. Der.	10385041	31-08-2016	145.272	2.354.728	39	25-11-2016
		Lev. Izq.	10385041	31-08-2016	145.272	2.354.728	39	25-11-2016
		Empuje	10385036	03-10-2016	-	2.500.000	42	27-11-2016
		Recoge	10385036	03-10-2016	-	2.500.000	42	27-11-2016
SV065	Escondida	Lev. Der.	11029545	22-06-2016	3.922.239	577.761	6	23-10-2016
BRIDON		Lev. Izq.	11029545	22-06-2016	3.922.239	577.761	6	23-10-2016
SV066	Escondida	Lev. Der.	11029545	04-08-2016	2.271.126	2.228.874	20	06-11-2016
BRIDON		Lev. Izq.	11029545	04-08-2016	2.271.126	2.228.874	20	06-11-2016
SV067	E. Norte	Lev. Der.	11029545	02-09-2016	3.780.606	719.394	7	24-10-2016
BRIDON		Lev. Izq.	11029545	02-09-2016	3.780.606	719.394	7	24-10-2016
SV069	Escondida	Lev. Der.	11029545	23-09-2016	1.664.906	2.835.094	27	13-11-2016
BRIDON		Lev. Izq.	11029545	23-09-2016	1.664.906	2.835.094	27	13-11-2016
SV070	E. Norte	Lev. Der.	11029545	03-10-2016	994.157	3.505.843	39	24-11-2016
BRIDON		Lev. Izq.	11029545	03-10-2016	994.157	3.505.843	39	24-11-2016
SV068	Escondida	Lev. Der.	10845959	01-08-2016	1.126.973	1.873.027	19	04-11-2016
		Lev. Izq.	10829554	01-08-2016	1.126.973	1.873.027	19	04-11-2016
		Empuje	10408045	01-08-2016	1.126.973	1.873.027	19	04-11-2016
		Recoge	10408045	01-08-2016	1.126.973	1.873.027	19	04-11-2016
SV071	E. Norte	Lev. Der.	10486012	30-09-2016	1.362.305	1.637.695	16	02-11-2016
		Lev. Izq.	10486011	30-09-2016	1.362.305	1.637.695	16	02-11-2016
		Empuje	10408045	03-09-2016	2.608.271	391.729	4	20-10-2016
		Recoge	10408045	03-09-2016	2.608.271	391.729	4	20-10-2016
SV072	E. Norte	Lev. Der.	10486012	07-07-2016	1.143.088	1.856.912	19	04-11-2016
		Lev. Izq.	10486011	07-07-2016	1.143.088	1.856.912	19	04-11-2016
		Empuje	10408045	20-06-2016	1.882.439	1.117.561	12	28-10-2016
		Recoge	10408045	20-06-2016	1.882.439	1.117.561	12	28-10-2016
SV073	Escondida	Lev. Der.	10845959	15-10-2016	124.272	2.875.728	32	17-11-2016
		Lev. Izq.	10829554	15-10-2016	124.272	2.875.728	32	17-11-2016
		Empuje	10408045	15-10-2016	124.272	2.875.728	32	17-11-2016
		Recoge	10408045	15-10-2016	124.272	2.875.728	32	17-11-2016

Ilustración 26. Reporte cambio de componente Cables.

REPORTE BALDES PALAS							17-10-2016
Equipo	BALDE	SC BALDE	Fecha Instalacion	Toneladas Actuales	Ton Pendientes	Dias Pendientes	Próximo Cambio
SV063	5-A	10390659	05-oct-16	-	22.000.000	367	18-10-2017
SV065	7-C	10484779	02-may-16	7.158.299	14.841.701	156	22-03-2017
SV066	5-C	10484779	14-may-16	15.250.363	6.749.637	61	17-12-2016
SV067	3-C	10484779	02-sep-16	3.780.606	18.219.394	182	17-04-2017
SV069	1-E	10484779	28-jul-16	7.054.876	14.945.124	142	08-03-2017
SV070	2-C	10484779	03-oct-16	994.157	21.005.843	233	07-06-2017
SV068	1-D	10485087	05-abr-16	14.809.961	7.190.039	72	27-12-2016
SV071	5-D	10485088	30-sep-16	1.362.305	20.637.695	206	11-05-2017
SV072	11-D	10485088	20-jun-16	1.882.439	20.117.561	201	06-05-2017
SV073	8-D	10485088	15-oct-16	124.272	21.875.728	243	17-06-2017
SV074	12-D	10485088	21-dic-15	21.432.079	567.921	6	23-10-2016
SV075	15-D	10485088	07-feb-16	27.192.134	- 2.192.134	-18	28-09-2016
SV076	9-D	10485088	26-mar-16	19.481.447	2.518.553	25	11-11-2016
SV077	13-D	10485088	03-sep-16	1.874.184	20.125.816	268	12-07-2017
SV078	5-E	10490399	02-jul-16	9.176.758	15.823.242	176	10-04-2017
SV079	2-E	10490399	07-dic-15	26.887.139	- 1.887.139	-21	26-09-2016
SV092	3-E	10490399	18-nov-15	29.155.135	- 4.155.135	-44	03-09-2016

Ilustración 27. Reporte cambio de componente Baldes.

Este reporte se implementó con el objetivo de informar tanto a los mantenedores como a la operación de la condición o estado en que se encuentra el componente, y de esta manera lograr estar pendiente de su cuidado y reparación o cambio.

### 4.3.3. Tercera etapa

En base a los antecedentes recolectados y de manera de disminuir la ocurrencia de los eventos operacionales en los CAEX, se realizaron las siguientes acciones:

- Desarrollo Fast Feedback-reportabilidad semanal
- Consulta a instructores de fábrica de la correcta operación del equipo.
- Programas focalizados de instrucción en frentes de carguío.
- Tríptico de prácticas operacionales acerca de la correcta operación del equipo.
- Reforzamiento operacional a la totalidad de los tutores e instructores para estandarizar las prácticas operacionales.
- Reforzamiento teórico, a través de charlas, de buenas prácticas operacionales los días sábados a los 5 operadores que presentan mayor cantidad de eventos.
- Reforzamiento operacional en terreno con tutor o instructor.
- De ser necesario: reforzamiento en simuladores y capacitación.

Con respecto a las acciones realizadas, en esta etapa, para los equipos de carguío se tiene:

- Consulta a instructores de fábrica de la correcta operación del equipo.
- Reforzamiento operacional en terreno con instructor de fábrica.
- Charlas de eventos operacionales y conocimiento del equipo.
- Charlas por personal de mantención sobre el área mecánica del equipo y los costos.
- Reforzamientos condiciones óptimas de uso del equipo para obtener su máximo rendimiento y cuidar de esta forma de componentes.

A continuación, se presentan buenas prácticas operacionales relacionadas con la correcta aplicación/utilización de los frenos en los equipos de transporte e inmediatamente después se presentan estas prácticas en los equipos de carguío.

#### *Buenas prácticas - Camiones Caterpillar*

El freno de parqueo se debe aplicar cuando el equipo se encuentra completamente detenido (velocidad: 0 km/h). Para desconectar el freno de estacionamiento se debe pisar el freno de servicio a fondo y luego pasar la marcha desde neutro, cabe destacar que antes de pasar la marcha se recomienda esperar que el VIMS libere la alarma de freno conectado.

También, para carga y descarga se recomienda aplicar solamente el freno de parqueo. Al levantar la tolva en forma paralela se recomienda la aceleración gradual hasta los 1750 rpm.

Por otro lado, el freno de servicio se debe aplicar bajo los 8 km/h. Y finalmente, se debe utilizar el ARC en pendientes descendentes, sin acelerar ni aplicar el freno de servicio para evitar la desaplicación del ARC.

### *Buenas prácticas - Camiones Komatsu*

El freno de servicio se debe aplicar a una velocidad menor a 4.8 km/h, con el objetivo de llevar el equipo a velocidad cero. Por otro lado, el freno de parqueo se debe aplicar solo cuando el equipo se encuentre detenido (0 km/h) y, para carga y descarga se debe aplicar solamente el freno de traba.

Se debe usar el RSC en pendientes descendentes, sin acelerar ni aplicar freno de servicio de forma tal de evitar la desaplicación del RSC.

### *Buenas prácticas - Palas*

En el caso del equipo de carguío, los operadores deben evitar realizar *Boom Jack* y *Swing Impact*, para esto no deben generar un sobre empuje al momento de atacar la frente, ni girar al momento de realizar el carguío del balde o chocar con un obstáculo cuando la pala realiza el movimiento de giro. Específicamente, se tiene que para el caso de *Swing Impact* hay que realizar las siguientes acciones: [30]

- No realizar un giro con balde penetrando en el banco. Penetrar con el balde en el banco, sólo una vez que se concluya el movimiento de giro de la máquina.
- No detener balde en contra del banco (desaceleración brusca). No limpiar piso usando el balde en giro (barrido).
- No detener balde en giro en la carga de camiones (desaceleración brusca). No acomodar la carga en una tolva con el balde.
- Verificar movimiento de “cabeceo” de correderas. Se debe solicitar ajuste en caso de existir juego.
- No operar sin las planchas de ajuste de las correderas, ya que aumenta el juego de mango y existe más sensibilidad a los impactos en giro.
- Revisión de ajuste de pasador central. Verificar “cabeceo” de la máquina con carga. Exceso de juego en pasador central e impactos sobrecargan corona principal.
- Mantener buena zona de carga (fragmentación del material). Por diseño y seguridad, la máquina no puede cargar material no tronado o doblar bancos.

Por otro lado, para el caso de *Boom Jack* se tiene que realizar las siguientes acciones:

- No dar exceso de referencia de empuje al momento de levantar la carga en el banco.
- Colocarse a una distancia adecuada del banco para no extender demasiado el mango y balde o quedar demasiado cerca del banco.
- Dar movimiento suave y continuo de empuje con el mango al arremeter contra un banco.
- Perforación y tronadura adecuada, cuidando de no dejar zonas altas de material duro en el piso de la pala (“patas”).

En la sección Anexo H se detallan procedimientos básicos de la operación de los equipos de carguío y, buenas y malas prácticas operaciones que ocurren en los equipos de carguío y transporte en minería a cielo abierto. Y también en esta sección, se presenta el funcionamiento de los frenos tipo ARC en los Caterpillar y RSC en los Komatsu.

## 5. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de las mejoras implementadas en Minera Escondida. En primera instancia se evaluarán los resultados para los camiones y posteriormente para las palas. El periodo de tiempo considerado para evaluar los resultados corresponde a los meses de: agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2016.

### 5.1. Resultados equipos de transporte

El Gráfico 17 muestra la distribución diaria de la cantidad de eventos operacionales ocurridos durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, es decir, después de la implementación de las mejoras.

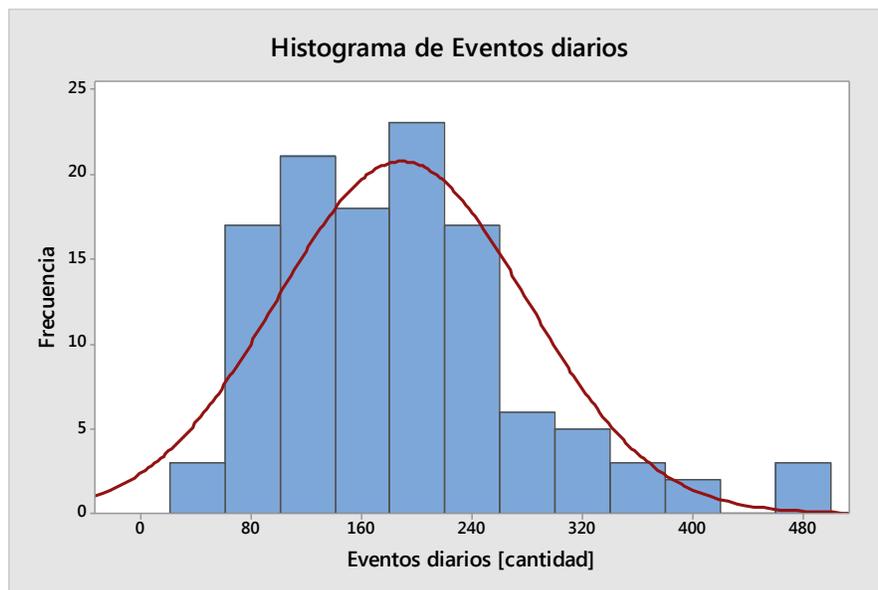


Gráfico 17. Histograma de eventos operacionales ocurridos diariamente en camiones.

Del Gráfico 18 es posible observar que la curva de distribución se desplazó hacia la izquierda, es decir, la cantidad de eventos ocurridos diariamente disminuyó y con ello también disminuyó la desviación estándar de los eventos, también se puede observar la zona de intersección entre ambos histogramas (FY16 y resultados).

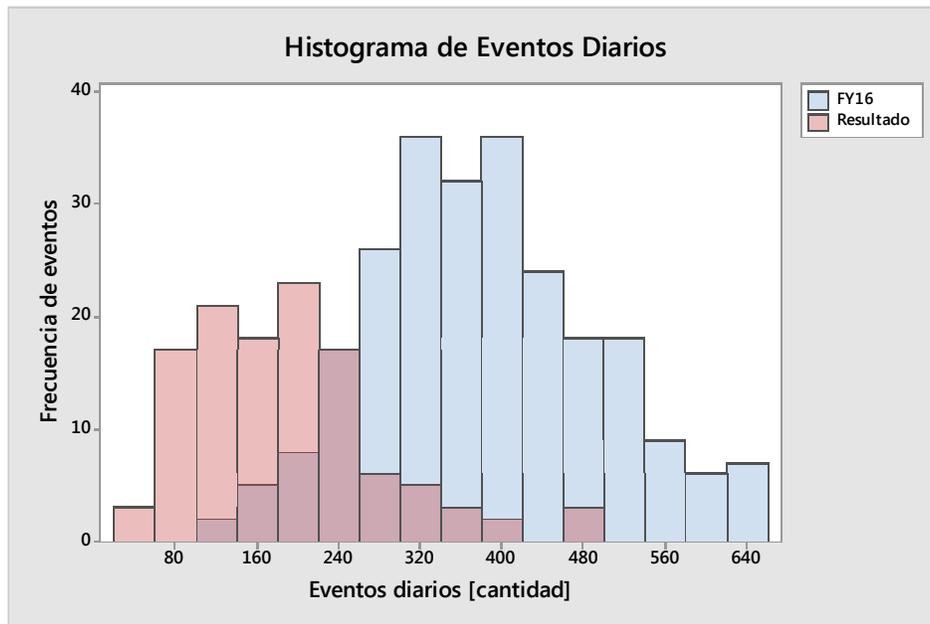


Gráfico 18. Comparación histogramas de eventos diarios.

A continuación, la Tabla 16 muestra la estadística básica de los datos obtenidos durante el periodo FY16, y el periodo analizado para los resultados (meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre), a partir de estas tablas se puede observar que efectivamente el promedio de eventos ocurridos diariamente disminuyó desde 382 eventos a 189 eventos.

Tabla 16. Estadísticas básicas de eventos ocurridos diariamente por periodo.

<i>Estadísticas básicas</i>	<i>FY16</i>	<i>Resultados</i>
Promedio	382	189
Mediana	374	180
Moda	350	134
Desviación estándar	112,16	90,84
Varianza	12580	8252
Mínimo	127	51
Máximo	653	497

Con respecto a la evolución de la cantidad de eventos ocurridos, desde que se implementaron las mejoras, se puede observar, del Gráfico 19 y Gráfico 20, que estos presentaron una tendencia a la baja. Específicamente, el Gráfico 19 muestra la cantidad total de eventos ocurridos mensualmente (eventos por freno de parqueo y freno de servicio), en cambio, el Gráfico 20 muestra la cantidad de eventos ocurridos semanalmente en promedio por coordinación, por freno de servicio y también por freno de parqueo.

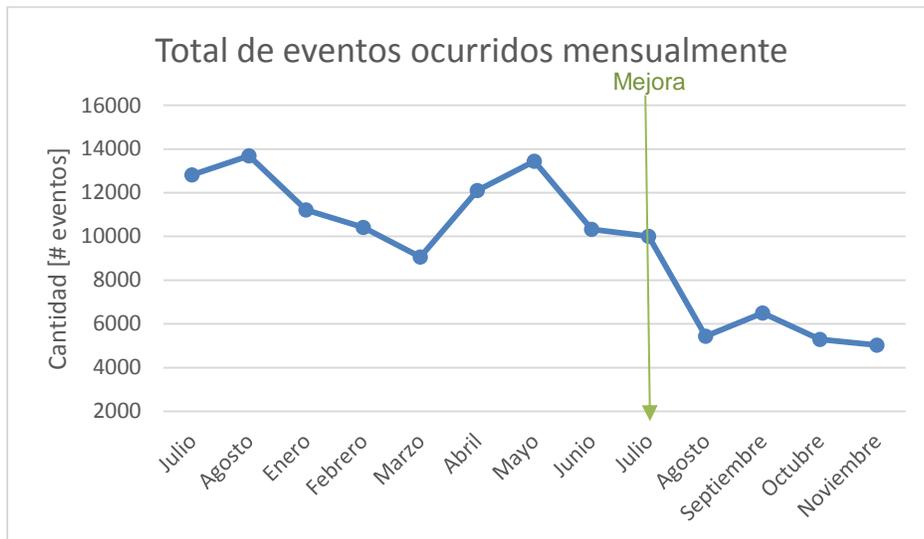


Gráfico 19. Evolución mensual de eventos.

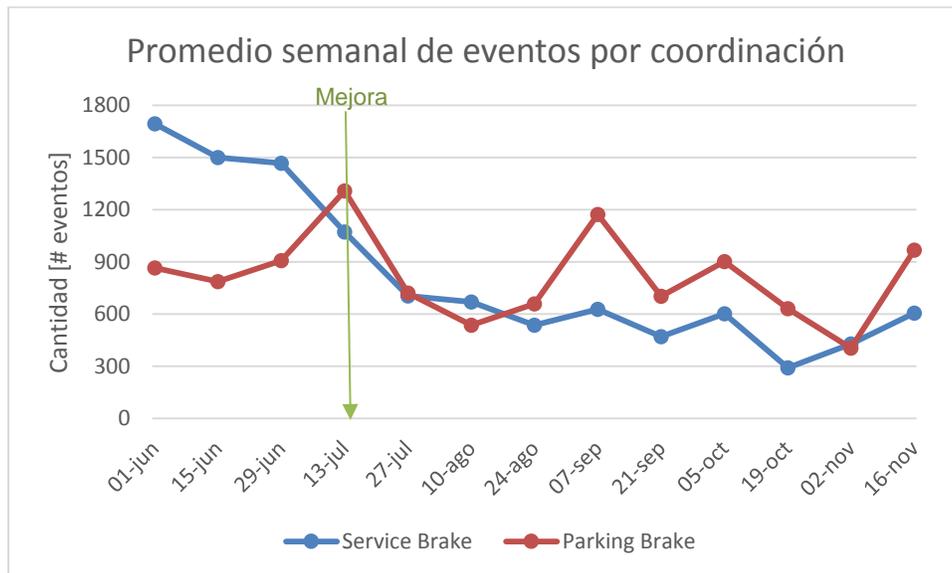


Gráfico 20. Tendencia de eventos, 2º semestre 2016.

Del total de eventos analizados, los relacionados al freno de parqueo representaron el 58%, mientras que los relacionados al freno de servicio fue el 42% restante, esto se puede observar en el Gráfico 21. En el caso de los eventos por freno de servicio, la disminución fue considerablemente mayor al freno de parqueo, observándose una redistribución en la participación porcentual del total de eventos con respecto al periodo anterior, donde el freno de servicio tuvo un 64% de participación (ver Gráfico 12).

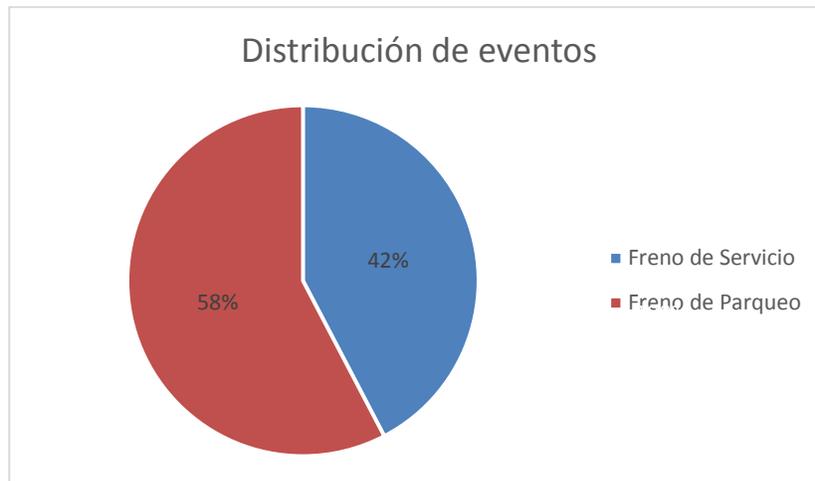


Gráfico 21. Distribución porcentual de eventos según freno de servicio y parqueo.

La Tabla 17, muestra el promedio mensual, semanal y diario de los eventos ocurridos durante el periodo de los 4 meses analizados (agosto, septiembre, octubre y noviembre).

Tabla 17. Promedio de eventos generados.

Evento	Promedio [cantidad]			Participación [%]
	Mensual	Semanal	Diario	
Freno de servicio	2356	559	80	42%
Freno de parqueo	3210	762	109	58%
Total	5566	1321	189	100%

Los resultados que se presentan a continuación, muestran la disminución que presentaron los eventos durante ambos periodos analizados. Específicamente en el Gráfico 22 se observa el cambio presentado por eventos de servicio, y el Gráfico 23 presenta el cambio por eventos de parqueo.

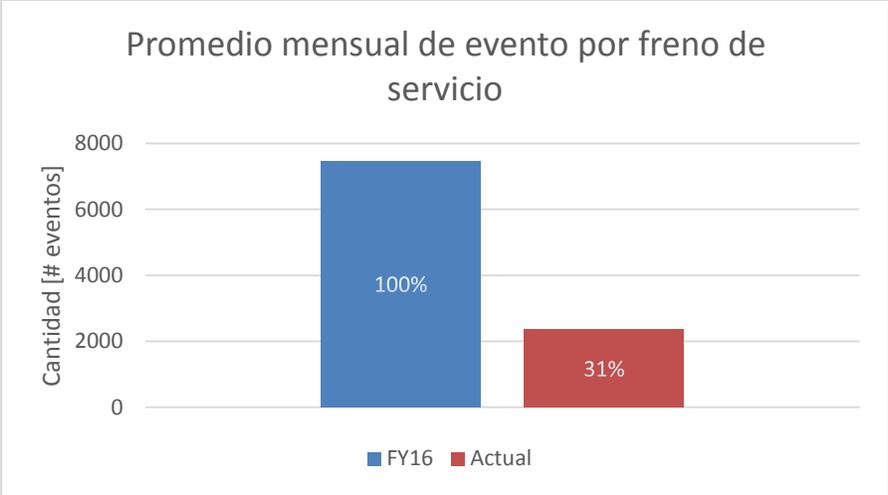


Gráfico 22. Comparación de eventos por freno de servicio.

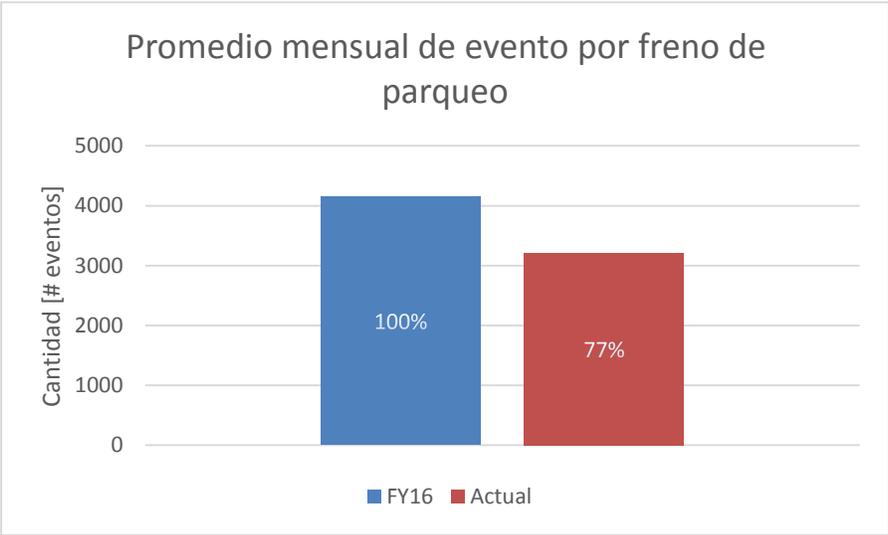
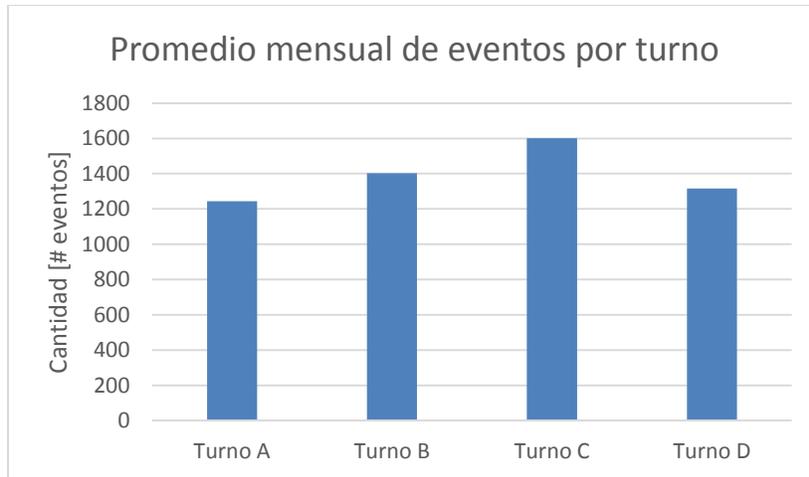


Gráfico 23. Comparación de eventos por freno de parqueo.

De estos gráficos es posible observar que los eventos por freno de parqueo disminuyeron en un 23%, mientras que, para el caso de los eventos por freno de servicio, se presentó una disminución de un 69%.

Al realizar el análisis por turno, del Gráfico 24 se puede observar que el turno C sigue presentando mayor cantidad de eventos que los demás turnos, y que el turno A pasó de ser el segundo turno con mayor cantidad de eventos a ser el último.



**Gráfico 24. Eventos generados por turno.**

La Tabla 18 muestra el promedio mensual, semanal y diario que presentó cada turno frente a las mejoras implementadas; también muestra la participación porcentual que cada turno tiene con respecto a la cantidad total de eventos ocurridos.

**Tabla 18. Promedio de eventos generados por turno.**

Turno	Promedio			Participación [%]
	mensual	semanal	diario	
A	1244	553	79	22%
B	1403	714	102	25%
C	1602	831	119	29%
D	1317	585	84	24%

A continuación, se presenta la disminución con respecto al promedio de la cantidad de eventos ocurridos mensualmente por turno en los periodos analizados. De este gráfico es posible observar que el turno A disminuyó en un 60% la cantidad de eventos, seguido por el turno C con un 56% y los turnos D y B, con un 44% y 45%, respectivamente.

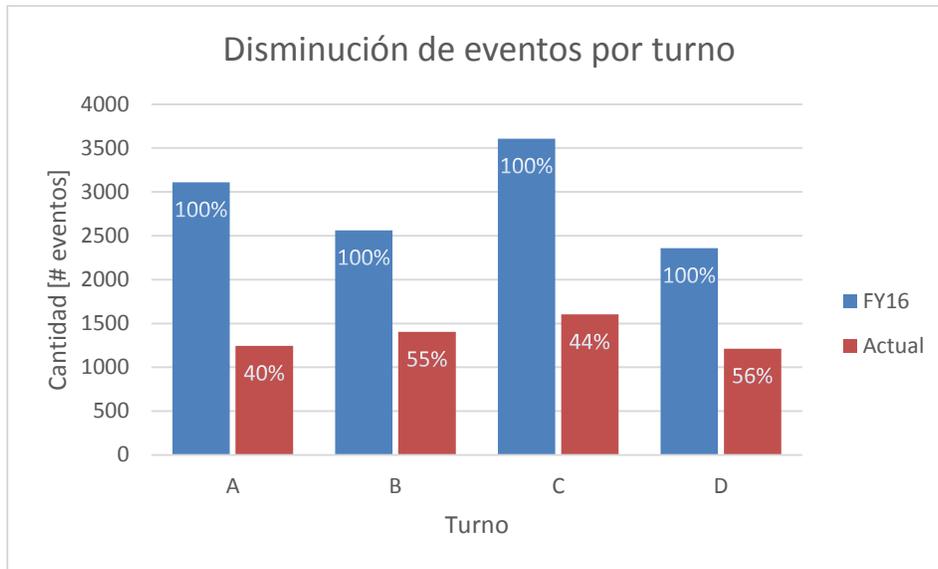


Gráfico 25. Comparación de eventos por turno.

Finalmente, las medidas implementadas lograron disminuir en un **52%** la cantidad total de eventos generados mensualmente por los operadores en los equipos de transporte, el Gráfico 26 muestra esta disminución, considerando como la implementación de planes el mes de julio del 2017, donde se obtuvo una disminución de eventos operacionales de un 14%.

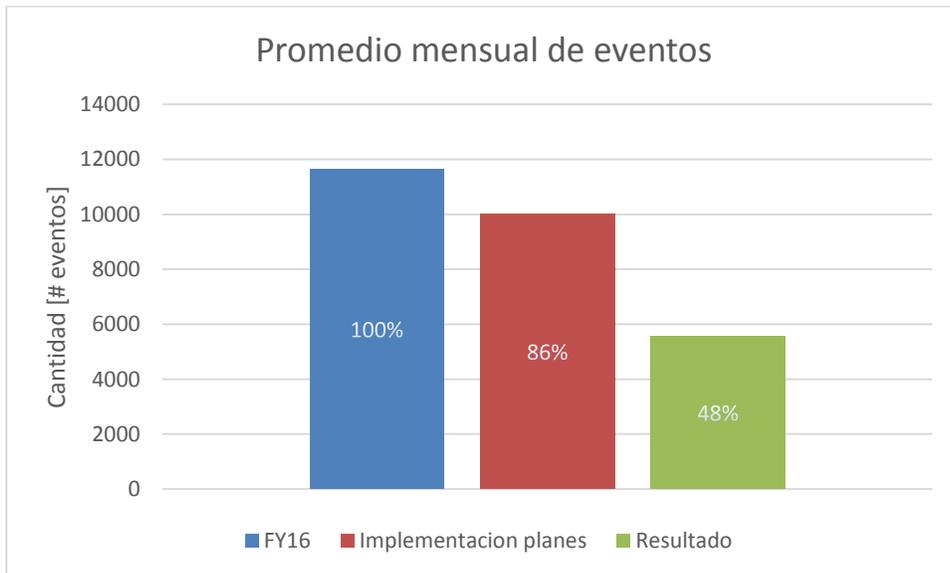


Gráfico 26. Comparación de eventos.

En la sección Anexo G.1 se muestra con mayor detalle los resultados obtenidos de los equipos transporte, de la misma manera se muestra un mayor detalle de los resultados para los equipos de carguío en la sección Anexo G.2.

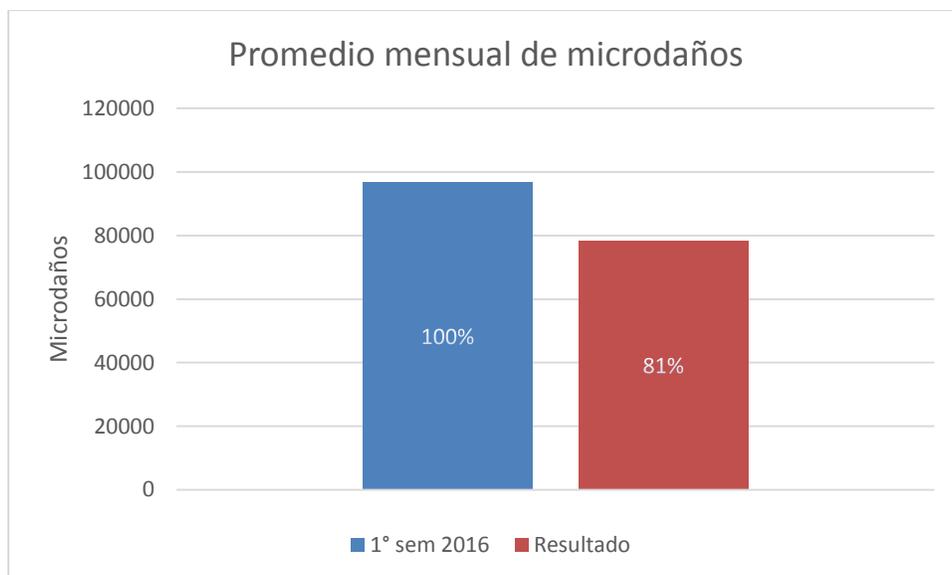
## 5.2. Resultados equipos de carguío

Con respecto a los equipos de carguío, específicamente el daño estructural generado en las palas Bucyrus por los eventos de *Boom Jack* y *Swing Impact*, se obtuvo el siguiente resultado:

**Tabla 19. Promedio de micro daños generados en palas Bucyrus.**

Semanalmente	Mensualmente
17430 microdaños	78440 microdaños

A continuación, se presenta una comparación entre el promedio mensual de microdaños ocasionados por eventos operacionales en las palas Bucyrus en ambos periodos evaluados.

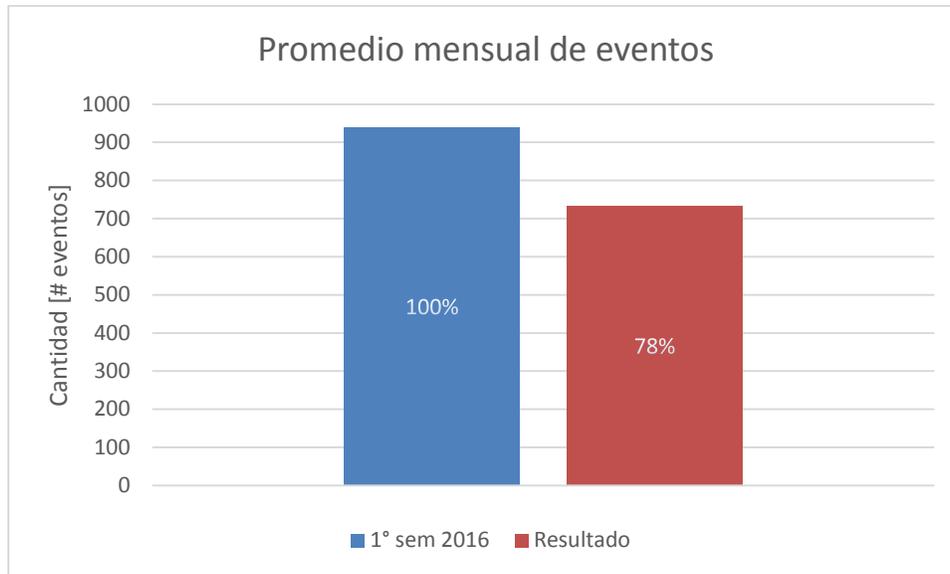


**Gráfico 27. Comparación de microdaños generados mensualmente.**

Por otro lado, para el caso de las palas P&H, se obtuvieron los siguientes resultados con respecto a la cantidad promedio de eventos ocurridos por *Boom Jack* y *Swing Impact*:

**Tabla 20. Promedio de eventos operacionales ocurridos en palas P&H.**

Diariamente	Semanalmente	Mensualmente
23	163	735



**Gráfico 28. Comparación de eventos operacionales ocurridos.**

Como conclusión se puede decir que las mejoras implementadas, lograron disminuir los eventos operacionales en un 19% en el caso de las palas Bucyrus y un 22% en el caso de las palas P&H. Obteniendo una reducción cercana al 20% como resultado de las medidas implementadas.

En la sección Anexo G.2 se puede observar más detalladamente la variación en el tiempo de la cantidad de microdaños acumulativos generados, tras las mejoras implementadas.

### **5.3. Relación con respecto al desempeño por componente**

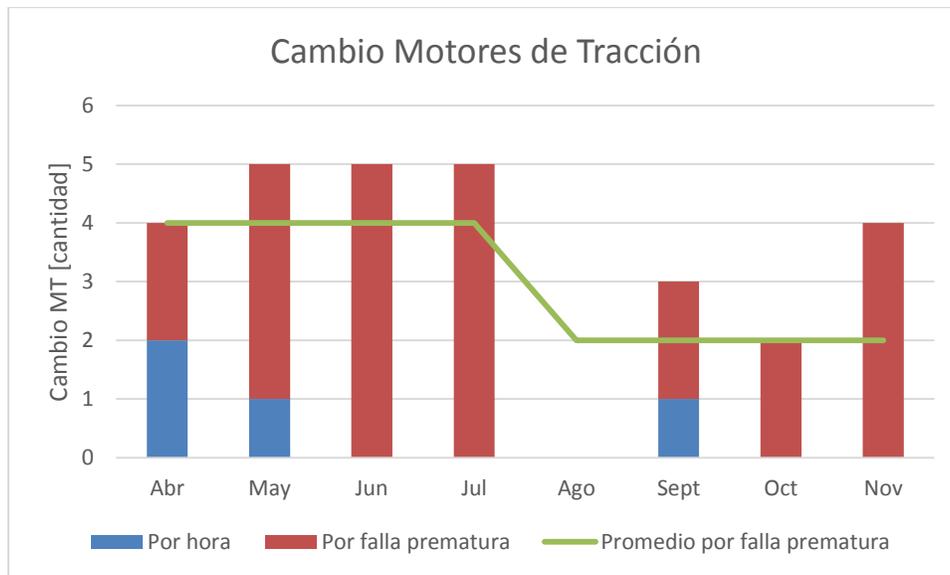
#### **5.3.1. CAEX**

El Gráfico 29, muestra la evolución mensual que tuvo el cambio de motores de tracción durante el último tiempo; específicamente se observa una disminución con respecto al cambio de motores de tracción por falla prematura: de un cambio de 4 MT mensuales en promedio se pasó a cambiar solo 2 MT mensuales en promedio. Sin embargo, esta disminución está lejos de poder ser considerada como un efecto directo de las medidas implementadas debido principalmente a que la vida útil de los motores de tracción se encuentra entre los tres y los cuatro años, mientras que el periodo de estudio está limitado a seis meses, de los cuales cuatro meses corresponde al periodo de análisis de resultados, haciéndose muy difícil poder determinar, por el poco tiempo, si las medidas implementadas generaron un impacto en el desempeño de los motores de tracción.

Pese a esto, un factor que fue observado, y es posible analizar en el periodo de tiempo estudiado, es la reducción en los eventos operacionales relacionados directamente con la vida útil de los motores de tracción. Esta reducción fue considerablemente alta en comparación con la reducción presentada por los otros eventos operacionales, alcanzando aproximadamente una reducción de un 70%. Por esta razón se espera que, en los próximos años, los motores de tracción presenten un mejor desempeño, o una mayor vida útil, como resultado de la mejora en las practicas operacionales

y su respectiva reducción en los eventos operaciones que están relacionados a la aplicación del freno de servicio en velocidad, lo cual llevará a los motores de tracción a cumplir con la vida útil esperada o presentar una disminución notoria de su desviación, con respecto a la condición actual que presentan los MT en Minera Escondida, según lo que se espera de estos.

En la sección Anexo G.1, en el Gráfico G.3 se presenta la participación porcentual que se obtuvo de los equipos Komatsu en la cantidad total de eventos.



**Gráfico 29. Cambio mensual de MT**

Cabe destacar que la variación del número de cambios de componentes de un periodo de tiempo a otro, no es una medición óptima para evaluar el impacto que una medida implementada genera en el desempeño del componente. Esto debido principalmente a la aleatoriedad que presenta esta variable entre un periodo y otro, la cual es dependiente del desempeño que tuvo el componente durante su vida.

Es por esto que, para realizar un análisis más acertado, y con un menor grado de distorsión, del impacto de las medidas implementadas en los componentes, se considera el análisis de la variación en la vida útil del componente como una medición más representativa y confiable.

### 5.3.2. Palas

Con respecto a los equipos de carguío, específicamente con la disminución de un 20% de los eventos operacionales, se logró disminuir desde un 44% a un 28% la cantidad de cables que no cumple con la vida útil esperada. Por otro lado, se tiene que un 18% de los baldes no cumple con el desempeño esperado, esto comparado con el 78% que se presentaba antes de las mejoras.

En la sección Anexo G.2 se presentan distintos tipos de gráficos, los cuales tienen como objetivo mostrar el desempeño porcentual que presentaron los cables y baldes después de las mejoras implementadas y también mostrar la diferencia entre el tonelaje movido real y el esperado, que se logró obtener después de las mejoras implementadas.

Junto con la reducción en el porcentaje de componentes con bajo desempeño (que no cumplen con la vida útil), se produjo un aumento en el promedio de tonelaje movido por componente; es decir, tanto los componentes que no cumplieron con la vida útil esperada como aquellos cuyo desempeño fue mayor al esperado, presentaron un mayor tonelaje movido en comparación al periodo anterior (1<sup>er</sup> semestre 2016). A continuación, en el Gráfico 30 y Gráfico 31, se presenta el tonelaje que faltó por mover en promedio por componente, donde se aprecia que hubo un aumento en el tonelaje movido promedio por componente, lo que significa que los componentes movieron una mayor cantidad de tonelaje antes del término de su vida útil real. En el caso de los cables, se movieron en promedio por cable 190 [kt] más, y en el caso de los baldes, se movieron en promedio por balde 5.65 [Mt] más.

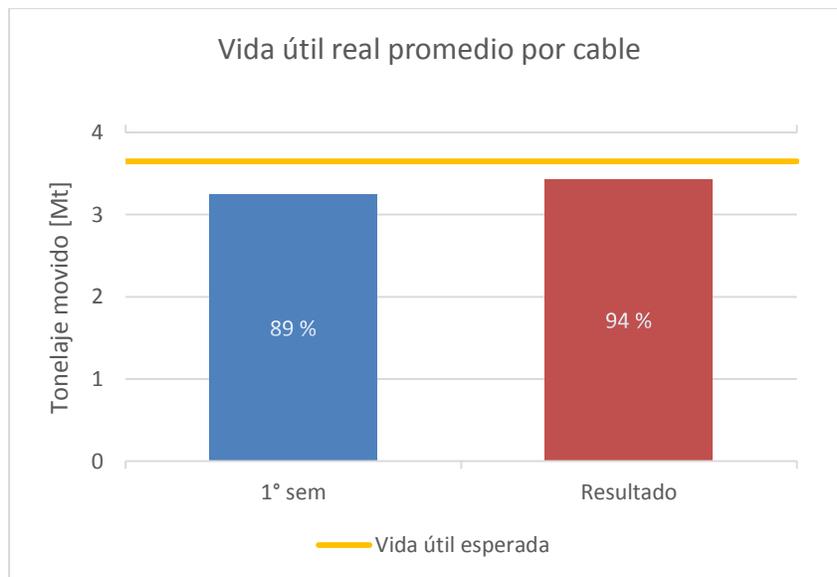
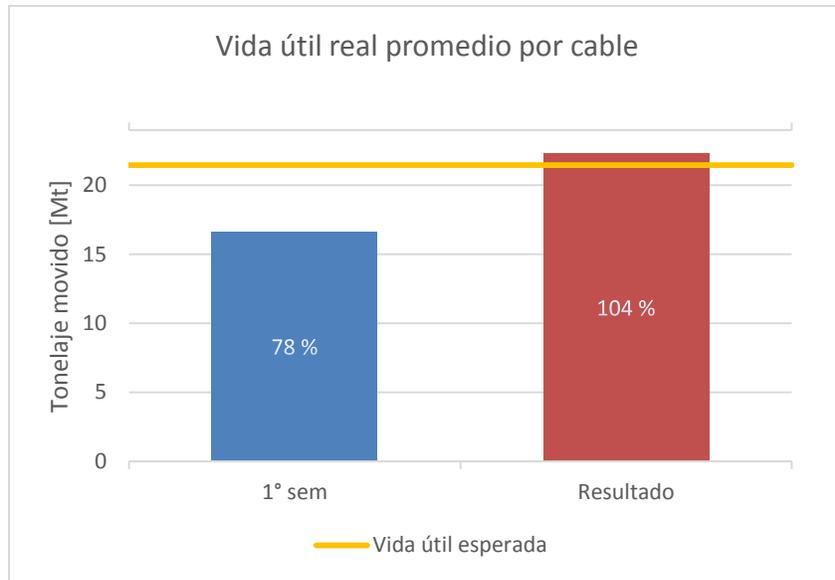


Gráfico 30. Comparación entre tonelaje no movido por cables.



**Gráfico 31. Comparación entre tonelaje no movido por baldes.**

Específicamente, de los cables que no cumplen la vida útil, se tuvo un aumento en el desempeño promedio por cable de un 89% a un 94%. Para el caso de los baldes, el aumento de desempeño fue desde un 77.6% a un 104%.

La Tabla 21 y Tabla 22 presenta el porcentaje de cumplimiento e incumplimiento de vida útil del total de palas y baldes que fueron cambiados durante ambos periodos analizados, es decir, 1<sup>er</sup> semestre 2016, representado como antes, y los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, como después. Considerando como cumplimiento aquellos componentes que alcanzaron el 90% de su vida útil esperada.

**Tabla 21. Comparación porcentajes de in cumplimiento con la vida útil.**

	% de incumplimiento vida útil	
	Antes	Después
<b>Cable</b>	44%	28%
<b>Balde</b>	78%	18%

**Tabla 22. Comparación porcentajes de cumplimiento con la vida útil.**

	% de cumplimiento vida útil	
	Antes	Después
<b>Cable</b>	56%	72%
<b>Balde</b>	22%	82%

## **5.4. Beneficio por sistema de gestión implementado**

A partir de las mejoras implementadas, para el caso de los equipos de transporte, se espera que se genere una reducción de costos por cambios o consumo de motores de tracción, debido principalmente a la gran reducción en el número de eventos operacionales que afectan directamente el desgaste prematuro de los motores de tracción.

Por otro lado, con respecto a los componentes relacionados al equipo de carguío, como se vio anteriormente, el aumento en la cantidad porcentual de componentes que fueron cambiados por cumplir con la vida útil esperada del total de componentes cambiados, y el aumento que se obtuvo en tonelaje movido por componente en promedio, generaron una ganancia de 1460 USD por cable cambiado y de 263 mil USD por balde cambiado.

Para el caso específico de este estudio, se cambiaron 43 cables y 11 baldes durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, lo que lleva a un valor económico de 63 mil USD en cables y de 2.9 millones de USD en baldes. Es decir, el beneficio económico obtenido por el aumento en el desempeño de cables y baldes, durante el periodo de agosto a noviembre de 2016, debido a las mejoras implementadas en los equipos de carguío, fue de 2.96 millones de dólares.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología utilizada para implementar un sistema de gestión que logre reducir los costos mediante la optimización del desempeño por componente en los equipos mineros, correspondió a la metodología Six Sigma, la cual busca la reducción de la variabilidad del evento o falla en el sistema, en este caso en las operaciones de carguío y transporte.

Gracias a la utilización de la metodología Six Sigma se identificó que los componentes que presentaron un bajo desempeño fueron los motores de tracción en el caso de los camiones de extracción, y los cables y baldes en el caso de las palas. También se identificó que la principal causa que genera esta condición en los componentes corresponde a las malas prácticas operacionales por parte de los operadores, específicamente se seleccionaron los eventos relacionados a la aplicación del freno de servicio y freno de parqueo en el caso de camiones, y eventos por *Boom Jack* y *Swing Impact* en el caso de las palas.

Se seleccionaron estos eventos debido a que ellos corresponden a los eventos más repetitivos y que impactan directamente en un incumplimiento de la vida útil de los componentes. Cabe destacar que los daños generados en los componentes son acumulativos en el tiempo.

Con respecto a la cantidad de eventos mensuales, se identificó que ocurrieron 6636 eventos operacionales por freno de parqueo y freno de servicio durante el periodo FY16, la mayoría de estos ocurrió las frentes de carguío, y el evento más ocurrente fue debido a la aplicación del freno de servicio en velocidad en los camiones Komatsu (56% de total de eventos ocurridos). Para el caso de las palas Bucyrus se obtuvo en promedio 96750 microdaños mensuales por pala, y para las palas P&H se obtuvo en promedio 940 eventos operacionales que ocurrieron mensualmente por pala.

En base a los antecedentes recolectados, se implementaron distintos tipos de mejoras según los requerimientos de la empresa, estos con el objetivo de disminuir la cantidad de eventos generados y evaluar cómo estos impactan en el desempeño de la vida útil de los componentes de los equipos. Las mejoras implementadas se realizaron en tres etapas:

La primera se realizó con el objetivo de generar una alarma en línea que alerte al operador de la mala práctica operacional, para esto se implementó el módulo Fast Feedback en los camiones y el sistema de control adaptivo en las palas.

La segunda etapa se realizó con el fin de mantener informada a la organización a través de distintos reportes que sirven como sistema de control. Para el caso de los camiones, el control se basa en las prácticas operacionales; para el caso de las palas, se basa en el tonelaje movido por componente.

Finalmente, en la última etapa se identificaron las buenas prácticas operacionales y se realizaron e implementaron planes de reforzamientos para correcta operación del equipo.

Con respecto a la cantidad de eventos por freno de servicio y freno de parqueo, se logró disminuir en total un 52% de la cantidad de eventos generados. Y para el caso de los eventos por *Boom Jack* y *Swing Impact*, se disminuyó en un 20% la generación de estos eventos.

La disminución en la cantidad de eventos operacionales, para el caso de los camiones, no se ve reflejado en una mejora en el desempeño de los motores de tracción, debido a que el periodo de análisis del estudio es muy acotado comparado con la vida útil esperada de estos. Por otro lado,

para el caso de los componentes estudiados en las palas, la disminución de sus eventos operaciones ocasionados en estas, conlleva a un aumento en la vida útil de los componentes de un 5% en el caso de los cables y un 26% en el caso de los baldes, y también lleva a un aumento en el porcentaje de cumplimiento de vida útil en un 72% en el caso de los cables y un 82% en el caso de los baldes durante el periodo analizado (agosto, septiembre, octubre y noviembre), lo que se tradujo en un ahorro de 2.96 millones de dólares.

Entre las recomendaciones dadas a la compañía, la principal consiste en realizar y mantener un programa de reforzamientos continuo, debido principalmente a que las prácticas operacionales presentan un comportamiento cíclico en el tiempo (por olvido, costumbre y/o monotocidad que presenta la operación de un equipo); por esto resulta fundamental mantener reforzado este aspecto.

Otro factor a recomendar consiste en mantener un control mediante el uso de las herramientas implementadas de los eventos ocurridos para poder reaccionar rápidamente al notar una anomalía de estos. Para reforzar las buenas prácticas operacionales se recomienda realizar inspecciones aleatorias en terreno y así verificar la correcta operación del equipo. Del mismo modo se recomienda realizar un seguimiento a los operadores que participaron de los distintos tipos de reforzamientos con el objetivo de comprobar su aprendizaje.

Cabe destacar que una disminución de eventos operacionales no solo implica una disminución en la cantidad de componentes usados, sino también implica un aumento en la disponibilidad del equipo (lo que en condiciones ideales podría implicar un aumento en la productividad) y una disminución en los costos por HH, entre otros. También, se genera un aumento en la seguridad del operador.

Por otra parte, se recomienda analizar el impacto que una disminución de los eventos por *Boom Jack* y *Swing Impact* generan en las principales estructuras de carguío: la pluma y el mango. También se recomienda analizar otros componentes afectados que generen un gran impacto en su consumo debido a los eventos operacionales por freno de parqueo y freno de servicio. Finalmente, se recomienda realizar un estudio más extenso para determinar si el rendimiento de los motores de tracción fue afectado por las medidas implementadas en este estudio.

Con respecto a otros estudios, se recomienda analizar los eventos por transmisión en los camiones Caterpillar y las sobrecargas en los camiones de extracción (Caterpillar y Komatsu). Se recomienda para este último evento la implementación de pesómetros en los baldes, que permita una visualización inmediata del tonelaje que posee la baldada que es cargada en el camión, en la cabina del operador de la pala. También se recomienda una actualización o mejora de los pesómetros en los camiones de extracción.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Amendola, L. (Mayo de 2016). *Modelo Excelencia Operacional: Estudio para identificar aspectos claves para implementar la excelencia operacional en las organizaciones industriales*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/modelo-excelencia-operacional-estudio-para-aspectos-claves-amendola>
- [2] BHP Billiton Chile. “Escondida, Ayer y Hoy”. 2015.
- [3] BHP Billiton. Inducción BHP Billiton, Metal Base. 2014
- [4] BHP Billiton, Time Usage Model for Mineral Assets. 2015
- [5] Bucyrus. (s.f.). *Vista general 495HR*.
- [6] Cabrera, L. (Nov de 2014). *Ingeniería de confiabilidad*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/ingenieria-de-confiabilidad-1/>
- [7] Cadetech Engineering. (s.f.). *Damage Monitor*. Obtenido de <http://www.cadetech.cl/productos/damage-monitor/>
- [8] Canfield, M. (2012). *Etapas del proceso productivo de una mina*. Santiago: Curso de minería para periodistas, SONAMI.
- [9] Cuadra, P., & Huerta, P. (s.f.). *CodelcoEduca*. Obtenido de [https://www.codelcoeduca.cl/procesos\\_productivos/escolares\\_extraccionarajoabier.to.asp](https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_extraccionarajoabier.to.asp)
- [10] Diario uno. (Abril de 2016). *Chile amenazada por la crisis de la minería*. Obtenido de <http://www.diariouno.com.ar/economia/chile-amenazada-la-crisis-la-mineria-20160430-n503624.html>
- [11] Duran, J. (2000, sept). *¿Que es Confiabilidad Operacional?* Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/2quees.pdf>
- [12] Fernandez, P. (Dic de 2010). *Determinación del tamaño muestral*. Obtenido de <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>
- [13] Garcia, O. (s.f.). *La Cultura de la Confiabilidad Operacional*. Obtenido de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional/>
- [14] JoyGlobal. (s.f.). *Adaptive controls technology*. Obtenido de <http://www.joyglobal.com/technology/operator-assist/adaptive-controls-technology>
- [15] JoyGlobal. (Sept 2016). *Pala 4100 XPC-AC, Diferencias entre AC y DC*. Presentación.

- [16] Lagos, E. (2007). *Gestion operativa del sistema de despacho, Estudio Tecnico y Economico*. Departamento de Ingenieria de Minas, FCFM, Universidad de Chile.
- [17] LeanSolutions. (s.f.). *¿Que es Six Sigma?* Obtenido de <http://www.leansolutions.co/conceptos/que-es-six-sigma/>
- [18] Llanos, C. (2008). *Gestion para enfrentar la crisis en el abastecimiento de neumaticos OTR, en Minera Spence*. Departamento de Ingenieria en Minas, Facultad de Ingenieria, Universidad de Santiago de Chile.
- [19] Manufactura inteligente. (s.f.). *Qué es 6 sigma?* Obtenido de <http://www.manufacturainteligente.com/6-sigma/>
- [20] MineraEscondidaLimitada. (2016). *Flash técnico Fast Feedfast Cat y KMS*.
- [21] MineraEscondidaLimitada. (2016). *Presentacion Practicas Operacionales Cat y KMS*.
- [22] MineraEscondidaLimitada. (2016). *Reporte Fast Feedback*. Modular Mining System .
- [23] MineraEscondidaLimitada. (2016). *Triptico Practicas Operacionales Camiones Cat y KMS*.
- [24] Montenegro, A. (s.f.). *Operacion Unitaria de carguio minarajo abierto: impacto de recomendaciones practicas en aumento de rendimientos, Minera Escondida Limitada*.
- [25] Muñoz, O. (s.f.). *Curso: Mantenimiento Industrial (EMCT14)*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/9538403/>
- [26] PesadasMaquinarias. (s.f.). *Cursos, Manuales, Catalogos: 793F, 797B, 797F, 930E, 960E*. Obtenido de <http://www.maquinariaspesadas.org/>
- [27] Reliabilityweb. (s.f.). *Confiabilidad Operacional una solución de Mejora para Centros de Automatización*. Obtenido de <http://reliabilityweb.com/sp/articulos/entry/confiabilidad-operacional-una-solucion-de-mejora-para-centros-de-automatiza/>
- [28] Riquelme, M. (2013). *Proyecto de monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electricas*. Departamento de Ingenieria Electrica, FCFM, Universidad de Chile.
- [29] Service, P. M. (s.f.). *Peak Performance Practices*. Milwaukee, Wisconsin.
- [30] Solis, R. (2013). *Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de Mina Radomiro Tomic*. Departamento de Ingenieria Industrial, FCFM, Universidad de Chile.

- [31] Vasquez, A., Galdames, B., & Le-Feaux, R. (s.f.). *Diseño y operaciones de minas a cielo abierto*. Universidad de Chile, FCFM, depto ing de minas.
- [32] Cumbre B. *Diagrama de Pareto*, Obtenido de [https://genesishwh.files.wordpress.com/2011/06/diagrama\\_de\\_pareto.pdf](https://genesishwh.files.wordpress.com/2011/06/diagrama_de_pareto.pdf)
- [33] Matriz Analisis de Parte Involucradas en el Programa. (Causa-Efecto). Obtenido de <http://www.fi.unsj.edu.ar/departamentos/DptoCivil/gcuencas/impacto/matriz.pdf>
- [34] (s.f.). Obtenido de <http://www.quees.info/diagrama-de-ishikawa.html>
- [35] ArabelMorguezIglesias. (s.f.). *¿Cómo seleccionar el tamaño de una muestra para una investigación educacional?* Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos42/seleccion-muestra/seleccion-muestra2.shtml>
- [36] Cardenas, J. (junio de 2013). *Networkianos: Como selecciona y calcular muestras de una poblacion*. Obtenido de <http://networkianos.com/como-seleccionar-y-calcular-muestras-de/>
- [37] Celemín, J. (nov de 2014). Administracion, direccion de operaciones y calidad en el sector de transporte por carretera para mercancías y viajeros. 1.5.2. *Sistemas de calidad de la organizacion*. Obtenido de <https://jacelemin.wordpress.com/contenido/24subsistema-de-calidad-iso-9000-y-14000/1-5-2-herramientas-para-la-gestion-de-calidad-en-las-operaciones>
- [38] GeoTutoriales. (dic de 2014). *Gestion de operaciones: Qué es el Diagrama de Ishikawa*. Obtenido de <http://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>
- [39] Jimenez, E. (nov de 2012). *Diagrama de Ishikawa*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/edgarsjimenez/diagramas-ishikawa>
- [40] Rabolini, N. M. (2009). Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa. *Revista Argentina de Humanidades y Ciencias Sociales, Volumen7(nº2)*. Obtenido de [http://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs\\_v7\\_n2\\_06.htm](http://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v7_n2_06.htm)

## **ANEXOS**

### **A. Anexos: Antecedentes de la compañía [2]**

#### **A.1. Reseña Histórica**

El yacimiento Minera Escondida, como un oculto secreto, durmió en las entrañas del desierto de atacama durante 35 millones de años. Y luego se transformó en un mito, porque por más que lo buscaban, no aparecía, se “Escondía”.

La Minera Utah, antecesora de BHP Billiton, Evaluó en 1976 las condiciones para una exploración geológica, la que inicialmente se llamaría proyecto Andino y luego Proyecto Atacama. El “informe de recomendación” fue positivo y En 1979 Minera Utah de Chile Inc. junto con Getty Mining (Chile) Inc. acordaron ejecutar un programa de exploración minera en la zona norte de Chile. Ambas compañías convinieron en financiar la operación en partes iguales y establecieron a Minera Utah de Chile Inc. como la empresa ejecutora.

Las exploraciones abarcaron inicialmente desde la Quebrada de Camarones, por el norte, en la zona de Arica, hasta las cercanías de Vallenar, por el sur. En forma simultánea entre Calama e Inca de Oro se desarrolló un extenso programa.

Una de ellas cubría el área de cerros Colorado Grande, Chico y la zona de Estación Zaldívar del ferrocarril de Antofagasta-Salta (Argentina).

El proyecto de exploración Atacama, que fue tras la huella del evasivo y caprichoso depósito cuprífero, fue dirigido por el geólogo estadounidense David Lowell, con el apoyo de su colega chileno Francisco Javier Ortiz, como jefe en terreno. Desde Santiago las labores fueron respaldadas por el Gerente General de Minería Utah de Chile Inc., el Ingeniero Civil en Minas Paul Gondouneau, y por el gerente de Operaciones, Jim Bratt, ex geólogo jefe de la “Anaconda Copper Company”.

En la base del mapeo geológico de reconocimiento se proyectaron cinco sondajes espaciados a un kilómetro entre sí, en el Llano Zaldívar, ubicado originalmente entre los cerros “Colorados” y el Cerro Zaldívar; es decir, desde una mirada actual, entre los dos rajes Escondida y Escondida Norte. Esos cinco sondajes tuvieron resultado negativo, pero antes de “levantar campaña”, se optó por realizar de todas maneras los cuatro sondajes programados en “Colorados”.

El 14 de Marzo de 1981, esa sexta perforación, ubicada en la ladera norte de dicho cerro, confirmó la existencia del famoso Pozo 6 donde se encontraría Escondida. Tras el maravilloso hallazgo, a más de 240 metros de roca lixiviada estéril, los gritos y los abrazos, en medio del desierto, fueron la primera celebración. Así ocurrió el milagro y se descubrió Escondida, destinada a convertirse en la mayor productora privada de cobre del mundo.

En 1983, fue la primera evaluación de reservas y plan minero, de esto estuvo a cargo de Raúl Podestá, quien fue el primer Ingeniero Chileno que llegó a Escondida. Se comenzó a construir un pique de explotación y seis galerías en el pozo 6. Esto, con el objetivo de captar la mayor cantidad de muestras, para ser procesada en California, Estados Unidos, por una planta piloto de Utah-BHP. Paralelamente, se realizaron trescientos sondajes extras para dimensionar el potencial cuprífero del yacimiento. El resultado que arrojó este proceso fue que el tamaño del yacimiento era seis veces más grande que lo pensado originalmente, con un tonelaje de 250 a 300 millones de toneladas.

El año 1988 fue uno de los más importantes en la historia de la Compañía, ya que el 16 de marzo: Se suscribió el contrato de inversión extranjera que inició el Proyecto Escondida, con una inversión de 1.100 millones de dólares, un verdadero récord para la época, el cual fue destacado en medios de comunicación nacionales. Y el 25 de julio: Comenzó oficialmente la construcción de Escondida, se conoce como “Día de la Decisión”. El énfasis estuvo puesto en las faenas, se contó inicialmente con el apoyo de la “Compañía Minera del Pacífico (CMP)” la cual removió 180 millones de toneladas de material estéril. Para dar inicio al proceso de producción cuanto antes, se utilizaron 5 palas de 23 mt<sup>3</sup> cada una y 32 camiones de 1900 toneladas, posteriormente se continuó con recursos y equipos propios. Tres meses después, se realiza la primera tronadura en la cota 3130 de la ladera sur del cerro Colorado Chico, a cargo del jefe de mina, Jorge Muñoz del Pino, quien dirigió la primera perforación y carguío de aquel disparo. El modelo geológico y obras de infraestructuras (caminos, accesos, energía, eléctrica) los realizaron, respectivamente, el geólogo José Miguel Ojeda y el ingeniero Jorge Lambeth, ambos chilenos; en tanto el estadounidense Randy Jones efectuó los estudios del recurso de Agua.

El 31 de diciembre de 1990 parte el primer embarque con 25 mil toneladas de concentrado de cobre desde el Puerto Coloso con destino a Japón. La inauguración oficial fue el 14 de marzo de 1991, en honor a su descubrimiento, ocurrido 10 años antes.

Durante el año 1992, se da inicio a la fase 1, la cual entregará una capacidad de 45.600 toneladas por día de mineral. Dos años después comienza la fase 2, con una capacidad de 54.600 toneladas por día de mineral.

Dentro de los compromisos de Minera Escondida, hay un fuerte apego a la comunidad, debido a esto, en 1997 se da la inauguración a la Fundación Minera Escondida. Un año más tarde se da inauguración al edificio corporativo de Minera Escondida además de una nueva fase, la fase 3,5 con una capacidad de 120.000 toneladas por día de mineral.

Dada a su gran demanda, y una escasa formación de profesionales en el rubro de la minería, se da inauguración al Centro de Entrenamiento Industrial y Minero CEIM en el año 1999, con la particularidad de generar un espacio de entrenamiento para operadores y mantenedores de Minera Escondida y otras Compañías mineras.

Durante el 2003, comienza a implementarse la cultura CERO DAÑO además de comenzar una nueva fase, la fase 4.

Después de unos sondeos y una etapa de estudio, se encuentra otro rajo, bautizado como Escondida Norte, la cual entra en operaciones en el 2005.

A mediados de 2008, se pone en marcha el proyecto de Biolixiviación de Sulfuros, con una capacidad para producir 180.000 ton de cátodos al año, que incluye además una planta desalinizadora de agua de mar en Puerto Coloso de Antofagasta.

Para hacer frente a los nuevos desafíos y mantener el posicionamiento en el mercado actual, el 2012 Minera Escondida contempló un crecimiento orgánico, el cual constituye una serie de medidas, entre las cuales se destacan:

- **OGP1 (Proyecto de Crecimiento Orgánico 1)**, el cual consiste en una nueva planta concentradora, que permitirá procesar minerales de mayor ley y aumentar la capacidad actual de procesamiento. Su puesta en marcha fue durante el primer semestre de 2015.

- **OLAP (Oxide Leach Area Project)**, el cual consiste en una nueva pila de lixiviación dinámica y en un nuevo sistema de correas transportadoras de mineral. La nueva pila mantendrá la capacidad de lixiviación de óxidos en los niveles actuales, luego del agotamiento de la pila existente, en 2014. La puesta en marcha de esta pila fue a mediados de 2014.

Actualmente Minera Escondida, produce alrededor de 1.000.000 toneladas de cobre fino, convirtiéndose en la empresa minera más grande en la producción de cobre a nivel mundial.

### A.2. Clima

El clima de la zona corresponde al tipo "Desértico Normal", según la clasificación climática de Koeppen (Fuenzalida, 1967). Este se presenta al oriente de la cordillera de la costa y sus características relevantes son: Limpidez de la atmósfera, baja humedad relativa con un promedio anual de 39%, temperatura media anual de 16°C registrándose oscilaciones entre el día y la noche con extremas de 25°C a -4°C y carencia casi absoluta de precipitaciones, con excepción de algunas lloviznas y nevadas de corta duración que se producen ocasionalmente.

El área es esporádicamente ventosa, siendo la dirección preferencial de los vientos de Noreste a Sureste con velocidades promedio del orden de 7 Km/Hr.

En resumen, las condiciones climáticas permiten realizar prácticamente durante todo el año, cualquier tipo de trabajo minero.

### A.3. Fisiografía

Los rasgos fisiográficos más importantes en el área del depósito es el correspondiente a dos cordones orográficos elongados; uno en sentido Norte-Sur denominado cordón Occidental y otro Sureste llamado cordón Imilac (coincidente con la cordillera de Domeyko). Ambos presentan una topografía suave, con drenajes dentríticos paralelos y subparalelos.

La altura promedio de los cordones es de aproximadamente 3.250 metros sobre el nivel del mar. Entre éstos se extiende una extensa cuenca que, en su parte más profunda alberga el salar de Hamburgo, que tiene una superficie aproximadamente de 3 km<sup>2</sup> y que constituye el recolector natural de los drenajes del sector. Se destacan además algunos cerros islas tales como el Colorado Grande, Colorado Chico, y Cenicero.

Escondida se ubica en la franja metalogénica de la cordillera de Domeyko. Esta área está formada por bloques de basamento paleozoico y cubierta por rocas estratificadas del mesozoico y cenozoico inferior, las formaciones que la contiene son:

- Agua dulce (triásico superior).
- Profeta triásico (superior- jurásico).
- Santa Ana (jurásico superior neocomiano).
- Augusta Victoria (cretácico superior- Eoceno).

**Estructuras de fallas.** Existen 2 sistemas de fallas principales:

- Sistema temprano de rumbo NNW mineralizado, con 5 zonas de falla; 3 de tipo pit y 2 limitando el sistema.
- Sistema tardío post mineralización con sentido de desplazamiento a lo largo de sistemas de fallas de rumbo NE.

#### A.4. Mineralización

El yacimiento La escondida es un sistema mineralizado del tipo pórfido cuprífero. La mineralización se relaciona a un cuerpo intrusivo de composición Granodiorita - Tonalita y a las Andesitas.

La mineralización está afectada por los procesos Hipógenos y Supérgenos. Esta ocurre en forma disseminada y en vetillas.

La mineralización Primaria o Hipógena corresponde a cantidades variables de: Calcopirita, Pirita, Bornita, Molibdenita, Esfalerita y Digenita.

La mineralización Supérgena incluye tres Horizontes mineralizados: Zona de Lixiviación, Zona de Oxidación y Zona de Enriquecimiento.

En la Zona de Lixiviación ocurren las limonitas tales como: Goethita, Jarosita y Hematita.

En la zona de Oxidación se presentan los óxidos de cobre tales como: Antlerita, Brochantita, Atacamita y Crisocola. Esta zona se desarrolla en forma local, principalmente en Andesita y contacto Andesita - Pórfido Escondida.

La zona de Enriquecimiento, tiene una mineralización que consiste en: Calcosina, Calcopirita, Covelina y Pirita. Se desarrolla principalmente en forma disseminada y en vetillas. Estos sulfuros supérgenos (Calcosina y Covelina) reemplazan total o parcialmente a los sulfuros primarios.

Enriquecimiento secundario: 14-18 Ma. Determinado por alunita supérgena. Comprende calcosina, covelina con menor digenita y edaita reemplazando granos de calcopirita, pirita y bornita en 2 partes:

- Bajo enriquecimiento partes bajas de este horizonte de calcopirita es reemplazada por covelina. Aumenta la calcosina.
- Alto enriquecimiento: Disminuye la calcosina, la asociación dominante es calcosina-pirita.

Oxidados de cobre: principalmente sulfatos de cobre: Antlerita, brochantita con menor crisocola, turquesa y atacamita.

Lixiviados: zona de limonitas con hematita, jarosita y goethita, zona de altas leyes generalmente bajo capa rica en jarosita y en parte oeste del depósito principalmente son los óxidos Interface dada por techo de calcopirita.

## B. Anexos: Equipos de transporte y carguío

### B.1. Definición

Los camiones de extracción se utilizan en la operación unitaria de transporte la cual se encarga de transportar el material desde la frente de carguío hacia los distintos puntos de descarga (chancado, botadero, stock), de manera eficiente y segura, para cumplir con los requerimientos de desarrollo y producción, este último basado en el abastecimiento de mineral a planta. Los tiempos críticos que se presentan en el ciclo de transporte comprenden una serie de maniobras, que se inician en el momento de ser despachados por el operador de pala y finaliza con una nueva asignación luego de verter el material. Durante este trayecto también conjugan las velocidades en rutas, determinadas principalmente por el tipo de camión y la pendiente de cada tramo. [16]

Por otro lado, las palas se encargan de la operación unitaria de carguío, es decir, cargan el material tronado desde la frente de carguío, en camiones de extracción, de una forma eficiente y segura, con el fin de generar los espacios suficientes para la perforación y tronadura de las siguientes expansiones. [16]

### B.2. Características generales CAEX

Tabla B.1. Características generales 793F.

	Fabricante	Caterpillar inc.
	Modelo	793F
	Características	
	Configuración	Motor Caterpillar, Modelo C175-16 diésel V-20
	Potencia	2650hp (1976 kW)
	Largo/ancho/alto	13702mm/ 8295mm/ 6533mm
	Peso	390.089 kg
	Transmisión	6f (60km/hr) y 1r (11.8km/hr)
	Carga útil	226.8 ton métricas
	Tanque de comb.	2839 litros

Tabla B.2. Características generales 797B.

	Fabricante	Caterpillar inc.
	Modelo	797B
	Características	
	Configuración	Motor Caterpillar, Modelo 3524B EUI diésel V-24
	Potencia	3550 hp (2648 kW)
	Largo/ancho/alto	14.530 mm / 8524 mm/ 7083 mm
	Peso	623.690 kg
	Transmisión	7f (67.6km/hr) y 1r(12.9km/hr)
	Carga útil	345 ton métricas
	Tanque de comb.	6814 litros

**Tabla B.3. Características generales 797F.**

	Fabricante	Caterpillar inc.
	Modelo	797F
	Características	
	Configuración	Motor Caterpillar, Modelo C175-20 diésel V-20
	Potencia	4000 hp (2983 kW)
	Largo/ancho/alto	15080 mm/ 9116 mm/ 6998 mm
	Peso	623.690 kg
	Transmisión	7f (67.6km/hr) y 1r(11.9km/hr)
	Carga útil	345-363 ton metricas
	Tanque de comb.	3785 litros

**Tabla B.4. Características generales 930E.**

	Fabricante	Komatsu mining systems inc.
	Modelo	930E
	Características	
	Configuración	Motor Komatsu SSDA16V160
	Potencia	3500hp (2611 kW)
	Largo/ancho/alto	15.29m/ 8.89m/ 8.10m
	Peso	505.611 kg
	Carga útil	290.3 ton métricas
	Tanque de comb.	5300 litros

**Tabla B.5. Características generales 960E.**

	Fabricante	Komatsu mining systems inc.
	Modelo	960E
	Características	
	Configuración	Motor Komatsu SSDA18V170
	Potencia	3500 hp (2610 kW)
	Largo/ancho/alto	15.6m/9.19m/7.37m
	Peso	576.059 kg
	Transmisión	7f (67.6km/hr) y 1r(12.9km/hr)
	Carga útil	327.3 ton métricas
	Tanque de comb.	4542 litros

### B.3. Componentes generales CAEX

Todo camión de extracción se caracteriza por poseer un motor encargado del movimiento del equipo, tolva o caja correspondiente al lugar donde se transporta el material y la cabina del operador.



Ilustración B.1. Cabina CAEX.

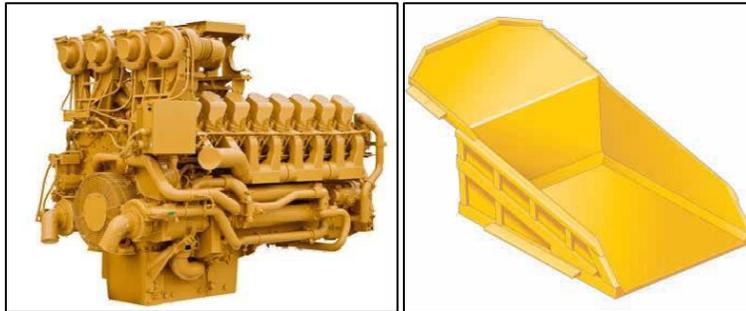


Ilustración B.2. Motor y tolva CAEX.

#### B.4. Componentes camiones Caterpillar

A continuación, se muestran los componentes relacionados con los siguientes sistemas: tren de fuerza, sistema de dirección, sistema de levante y sistema de frenos.

##### - *Tren de fuerza*

El tren de potencia de estos camiones Caterpillar posee una transmisión ECPC (Control electrónico de la presión de embrague), la cual está electrónicamente controlada e hidráulicamente operada.

La transmisión ECPC es un diseño planetario del cambio de posición de la potencia el cual contiene siete embragues enganchados de manera hidráulica. La transmisión proporciona siete velocidades de avanzar y una velocidad de reversa. Desde la transmisión, la potencia es transferida a los mandos del diferencial y final.

En general, esta transmisión proporciona máximo rendimiento del tren de fuerza, cambios más suaves, larga vida útil de los embragues y un desplazamiento más cómodo.

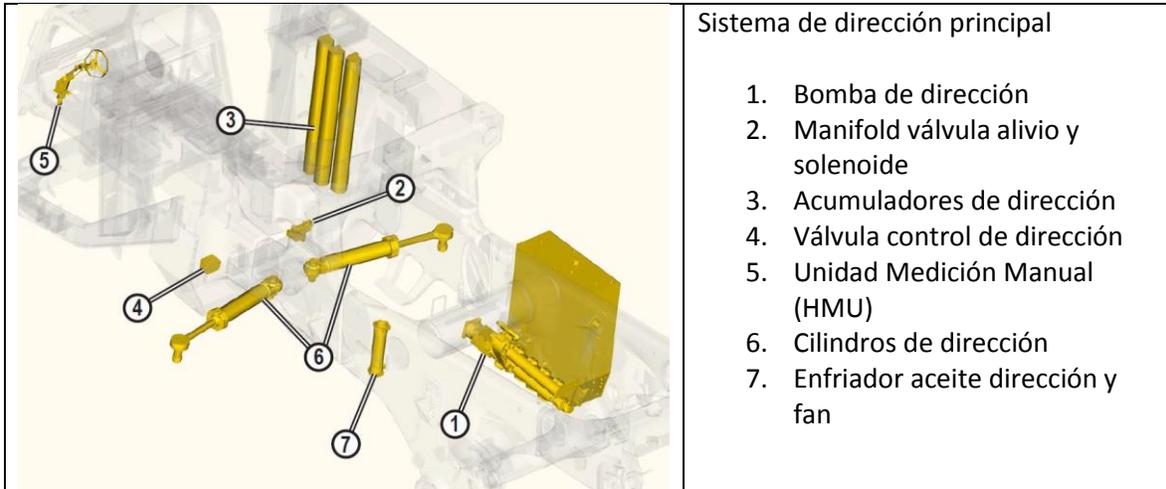
Tabla B.6.

	<p>Componentes del tren de potencia:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Convertidor de torque</li> <li>2. Eje cardanico</li> <li>3. Caja de transferencia</li> <li>4. Transmisión</li> <li>5. Diferencial</li> <li>6. Frenos</li> <li>7. Mando final</li> </ol>
--	--

- *Sistema de dirección*

Estos equipos presentan un sistema de dirección hidráulica que permite conducir al vehículo en una dirección de desplazamiento determinada, cabe destacar que no hay conexión mecánica entre el volante y los cilindros de dirección.

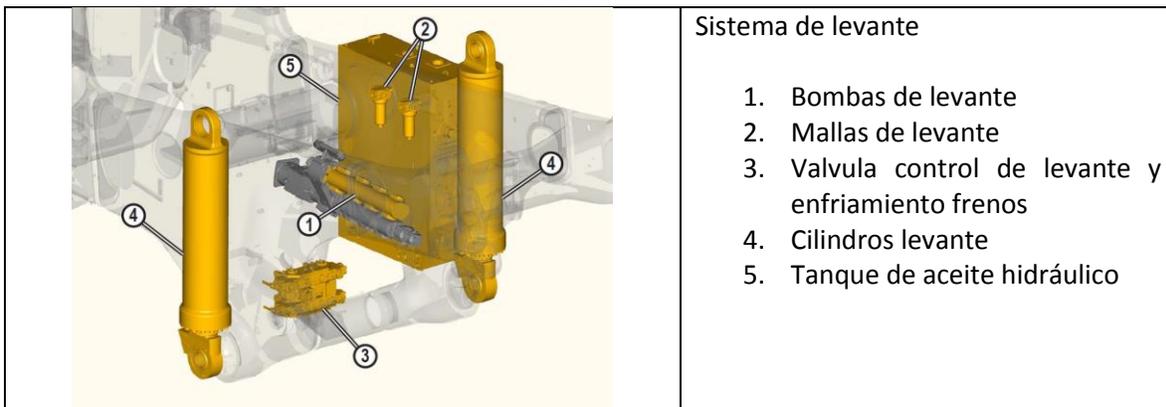
Tabla B.7.



La HMU mide la cantidad de aceite enviada a la válvula de control de dirección por la velocidad a la cual el volante de dirección es girado. Si más rápida es girada la HMU, mayor es el flujo que se envía a los cilindros de dirección desde la válvula de control de dirección y más rápido la ruedas cambiarán de dirección.

- *Sistema hidráulico de levante*

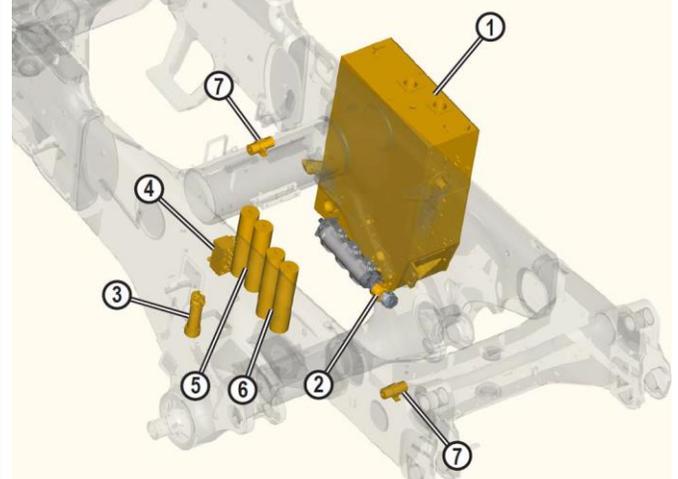
Tabla B.8.



- *Sistema de frenos*

El sistema de actuación de frenos (freno de servicio y estacionamiento) está equipado con una válvula de control de freno/chasis que controla las funciones de ambos frenos vía el ECM (Módulo de Control Electrónico) de Frenos, incluyendo el Control de Retardador Automático (ARC) y carga de acumuladores. Los tipos de frenos utilizados corresponden a frenos de discos múltiples enfriados por aceite.

Tabla B.9.

	<p>Sistema actuación de frenos</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tanque hidráulico</li> <li>2. Bomba de freno</li> <li>3. Filtro de aceite frenos</li> <li>4. Válvula de control freno/chasis</li> <li>5. Acumuladores de freno parqueo</li> <li>6. Acumuladores de freno servicio</li> <li>7. Ajustadores slack</li> </ol>
---	---

### B.5. Componentes camiones Komatsu

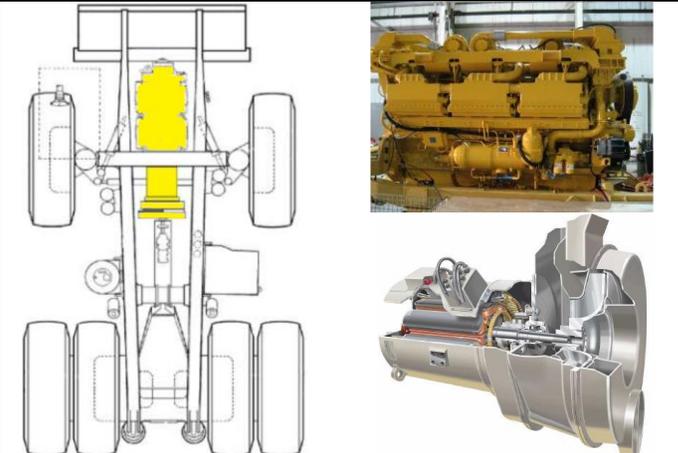
A continuación, se muestran los componentes relacionados con los siguientes sistemas: propulsión, sistema hidráulico, sistema dirección de levante y sistema de frenos.

#### - Sistema de propulsión

Estos equipos poseen un sistema de propulsión eléctrica, en donde el motor diésel acciona un alternador en línea a velocidad del motor. El alternador produce corriente AC que es rectificadas a DC dentro del gabinete de control principal. La corriente DC rectificada se vuelve a convertir en AC por medio de los inversores, que se encuentran dentro del gabinete de control principal.

La salida del alternador suministra energía eléctrica a los dos motores de la rueda posteriores que van en el Axcel box. Los Motores de tracción convierten la energía eléctrica de vuelta a energía mecánica a través de trenes de engranaje.

Tabla B.10.

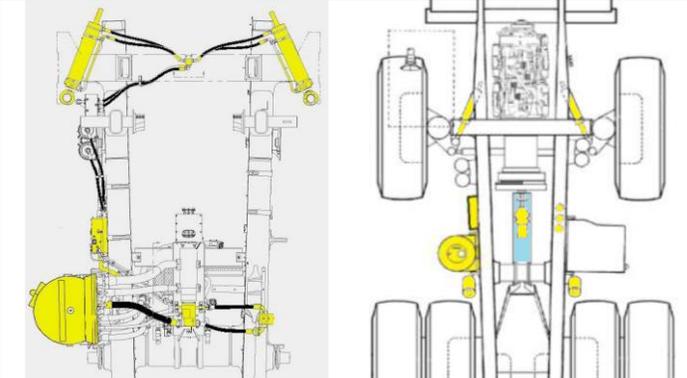
	<p>Sistema de propulsión</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Motor diésel</li> <li>2. Alternador principal</li> <li>3. Soplador</li> </ol>
---	--

- *Sistema hidráulico*

Estanque de aceite del sistema hidráulico. Almacena y provee aceite al sistema de dirección, sistema de frenos, sistema de levante, sistema de refrigeración de frenos y al sistema de lubricación.

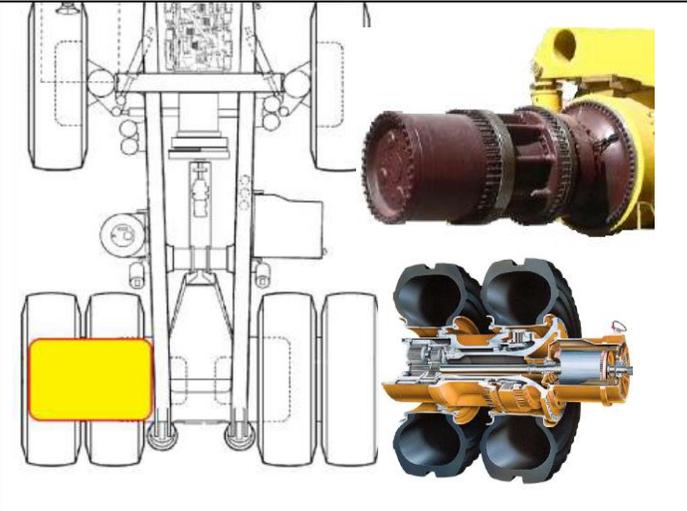
Entre las bombas hidráulicas se encuentra: La bomba de levante y enfriamiento de frenos, y La bomba de dirección y frenos de tipo pistones

Tabla B.11.

	<p>Los principales componentes hidráulicos son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tanque hidráulico</li> <li>2. Múltiple de sangrado</li> <li>3. Cilindros de dirección</li> <li>4. Filtros del sistema hidráulico</li> <li>5. Cilindros de levante</li> <li>6. Bombas hidráulicas:</li> </ol>
---	--

- *Sistema de mando*

Tabla B.12.

	<ol style="list-style-type: none"> <li>A. Motor de Tracción</li> <li>B. Conjunto de frenos de discos húmedos</li> <li>C. Mando final</li> </ol> <p>Motor de inducción de corriente alterna en la propulsión y retardo</p>
--	---

Con respecto al motor de tracción, la siguiente ilustración muestra como está compuesto este componente.

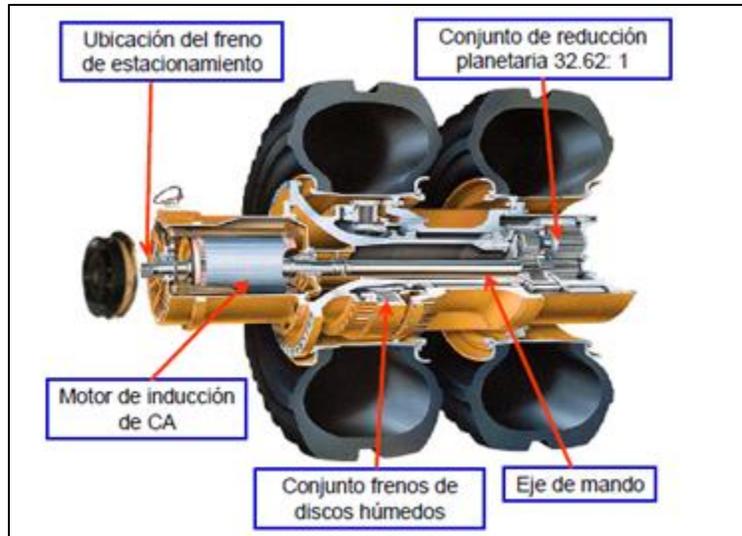


Ilustración B.3. Motor de tracción.

- *Sistema de frenos*

Los equipos Komatsu cuentan con distintos tipos de frenos:

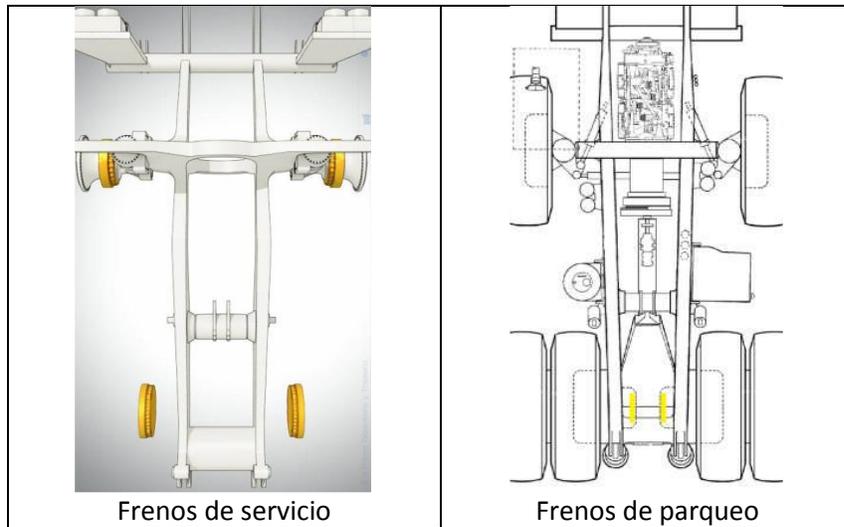
Frenos de servicio: son de discos múltiples enfriados por aceite accionados hidráulicamente que se aplican en las cuatro ruedas.

Freno de traba: es accionado hidráulicamente y activado a una presión menor que la presión del freno de servicio (se aplica en los mismos discos del freno de servicio), y se aplica solo en las ruedas posteriores (no es modulado – interruptor).

Freno de estacionamiento: es del tipo disco seco, se acciona por resorte y libera hidráulicamente y su aplicación es solo en las ruedas posteriores

Por otro lado, estos equipos cuentan con un sistema de control de retardo dinámico (RSC), el cual se encarga de controlar la velocidad en una rampa y reduce la velocidad en cualquier momento necesario. Es la forma primaria de controlar la velocidad y solo se aplica en los neumáticos posteriores. El retardo dinámico se activa automáticamente si el camión excede el ajuste de sobre velocidad preestablecido.

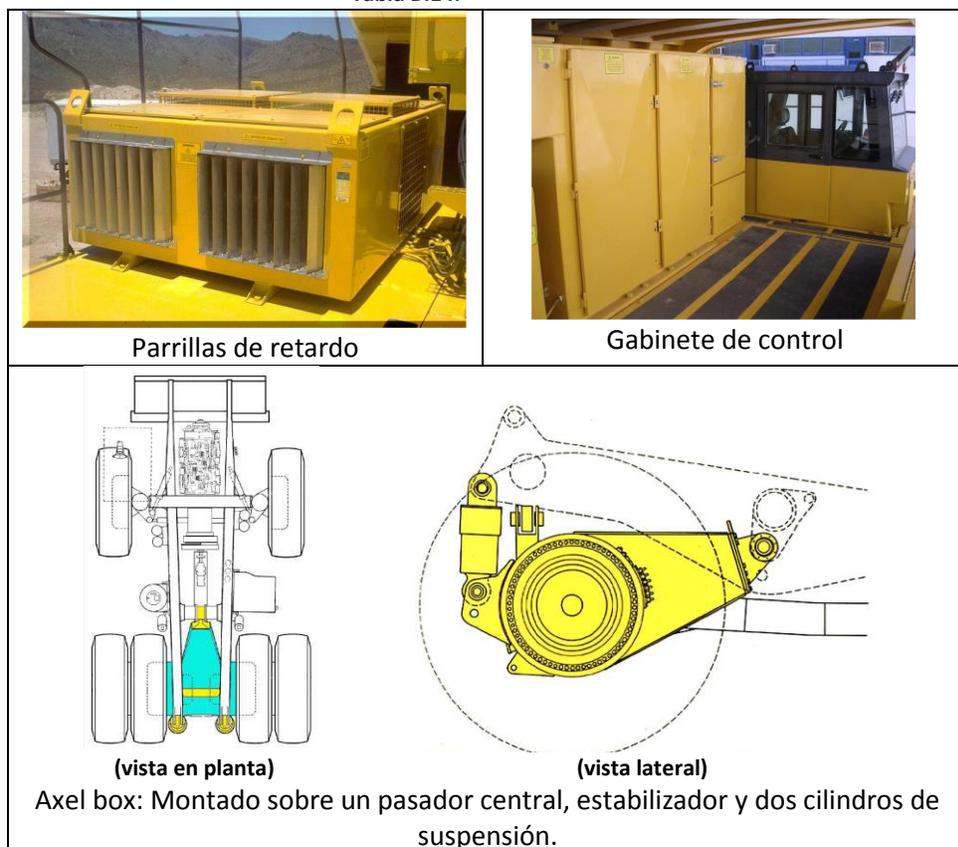
Tabla B.13.



- *Otros*

A continuación, se muestran otros componentes importantes que poseen estos camiones

Tabla B.14.



## B.6. Características generales Palas

**Tabla B.15. Características generales Bucyrus 495HR.**

	Modelo		Bucyrus 495HR
	Características		
	Motor	Levante	2600 HP
		Empuje	700 HP
		Giro	1010 HP (2 motores)
		Propulsión	1400 HP (2 motores)
	Voltaje de entrada		7200 V
	Altura/Ancho/Largo		20.7m/13.91m/11.27m
	Peso		1365.7 ton
	Capacidad de llenado (Balde)		73 yd3

**Tabla B.16. Características generales P&H 4100 XPB.**

	Modelo		P&H 4100 XPB
	Características		
	Motor	Levante	2530 HP (2 motores)
		Empuje	720 HP
		Giro	1500 HP (3 motores)
		Propulsión	1440 HP (2 motores)
	Voltaje de entrada		7200 V
	Altura/Ancho/Largo		21m/14.35m/11.72m
	Peso		1423.1 ton
	Capacidad de llenado (Balde)		73 yd3

**Tabla B.17. Características generales P&H 4100 XPC.**

	Modelo		P&H 4100 XPC
	Características		
	Motor	Levante	3200 HP (2 motores)
		Empuje	730 HP
		Giro	1850 HP (3 motores)
		Propulsión	1460 HP (2 motores)
	Voltaje de entrada		7200 V
	Altura/Ancho/Largo		21.8m/14.4m/11.7m
	Peso		1532.2 ton
	Capacidad de llenado (Balde)		76 yd3

En la siguiente tabla se presenta la flota de palas que posee Minera Escondida.

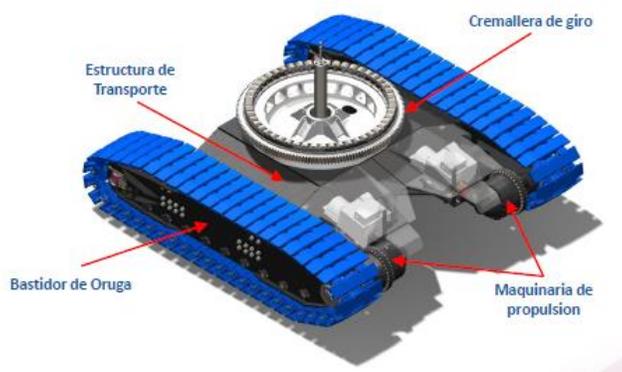
**Tabla B.18. Especificación palas 73 yd3.**

Modelo	Pala
P&H 410XPB	SHE0065
P&H 410XPB	SHE0066
P&H 410XPB	SHE0067
Bucyrus 495HR	SHE0068
P&H 410XPB	SHE0069
P&H 410XPB	SHE0070
Bucyrus 495HR	SHE0071
Bucyrus 495HR	SHE0072
Bucyrus 495HR	SHE0073
Bucyrus 495HR	SHE0074
Bucyrus 495HR	SHE0075
Bucyrus 495HR	SHE0076
Bucyrus 495HR	SHE0077
P&H 410XPC	SHE0078
P&H 410XPC	SHE0079
P&H 410XPC	SHE0091

### B.7. Componentes Palas

En esta sección se identifican los componentes que poseen las palas en la gran minería, estos equipos de carguío generalmente se dividen en tres partes: chasis inferior, chasis superior o plataforma rotatoria y accesorios de carguío. A continuación, se detallan los principales componentes de cada parte.

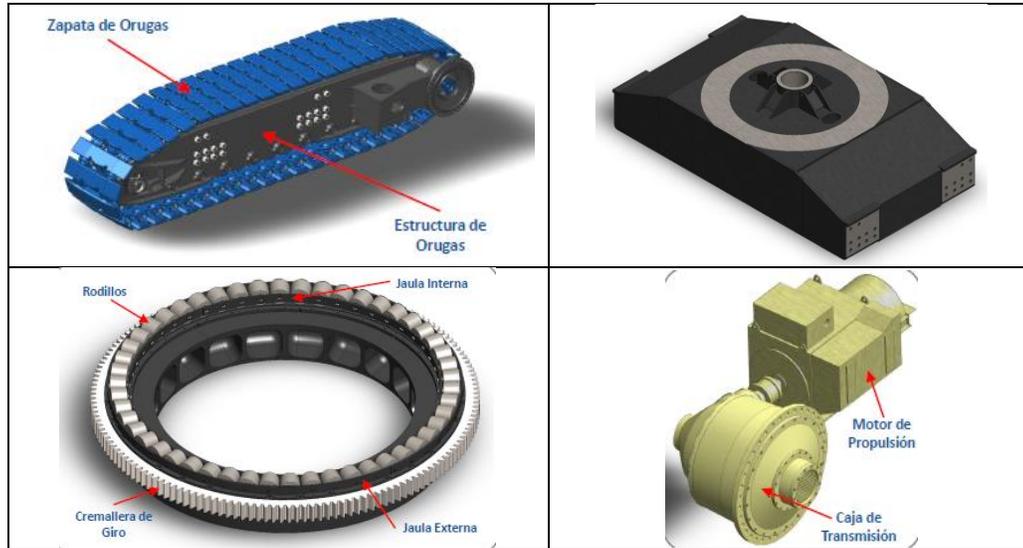
- *Chasis inferior, maquinaria de propulsión y estructura giratoria*



**Ilustración B.4. Chasis inferior Pala.**

Entre los componentes que destacan en la maquinaria inferior de la pala se encuentra las orugas, la estructura de transporte, motor de propulsión, transmisiones de propulsión planetarias, cremallera de giro o dientes de corona y rodillos de corona de giro, a continuación, se muestra la ubicación de estos componentes en la pala.

Tabla B.19. Detalle componentes chasis inferior.



- *Chasis superior o plataforma rotatoria*

El chasis superior está compuesto por la cabina del operador, gabinetes eléctricos, compresor, motores de giro, motores y transmisión de levante, sala de lubricación, caballete tipo A, compartimiento de filtros, contrapeso, entre otros.

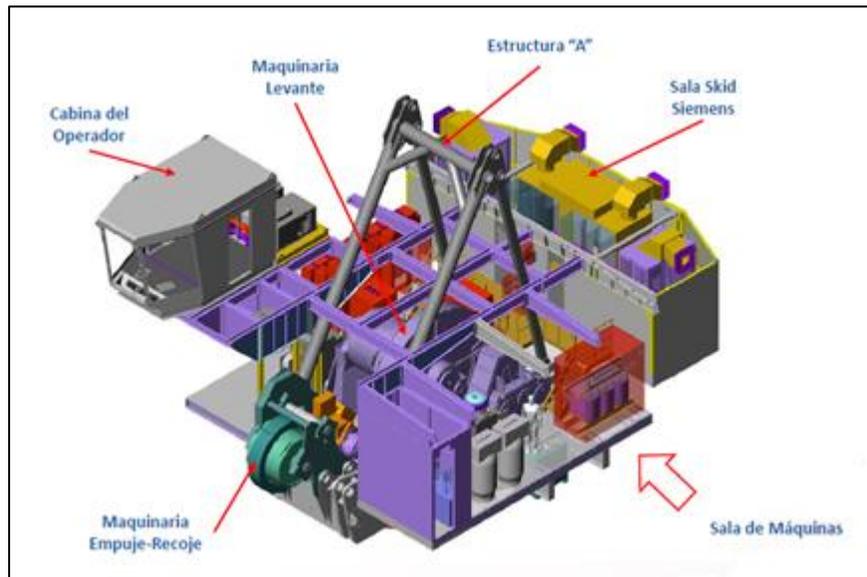


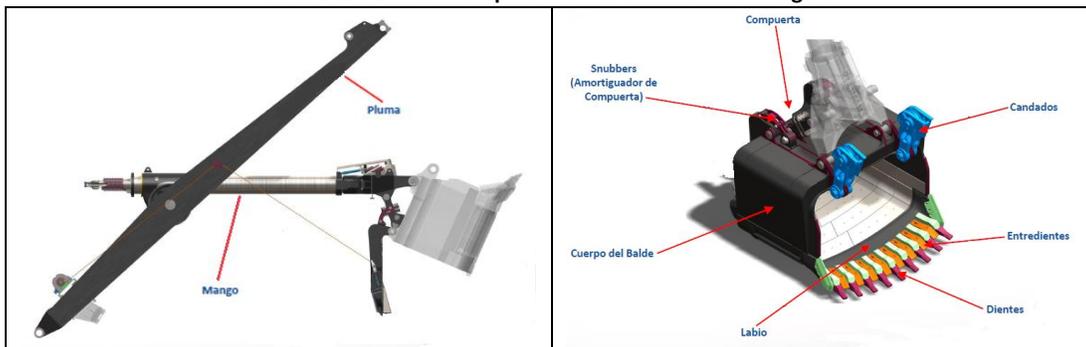
Ilustración B.5. Chasis superior Pala.

- *Accesorios de carguío*

Los accesorios de carguío corresponden a todos aquellos componentes relacionados directamente con la operación de excavación, tales como la pluma, catalina, mango, chipper chap, cables de levante, cables de suspensión, entre otros. En la tabla que se muestra a continuación se especifican cada uno de estos componentes.

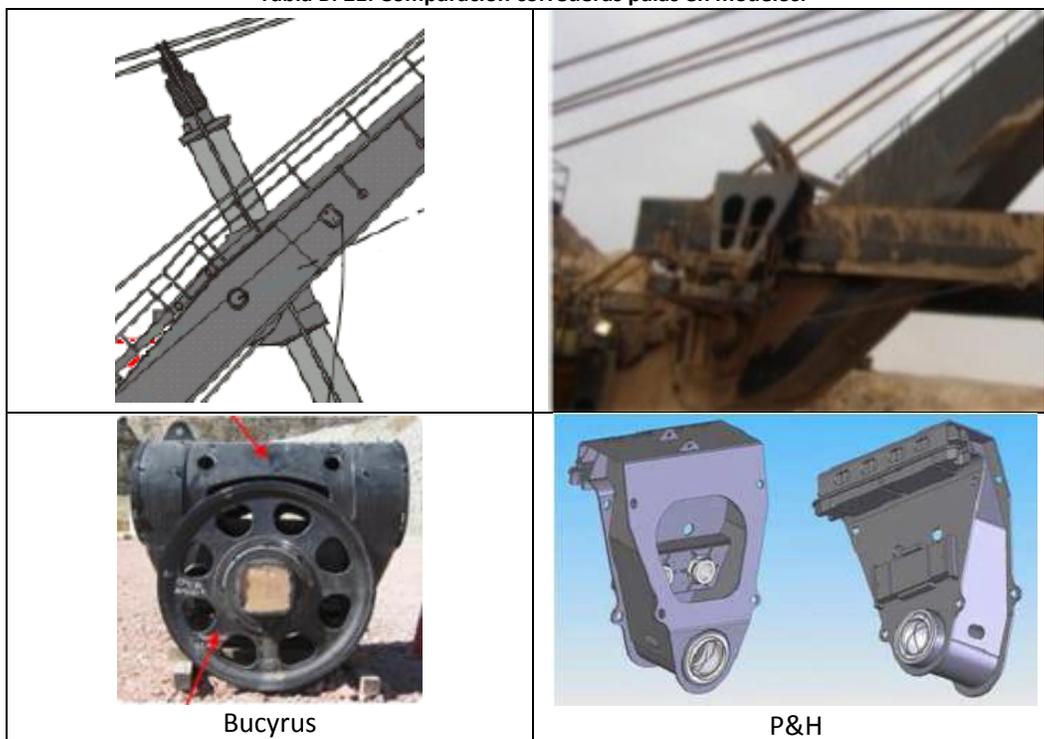
Cabe destacar que el mango y la corredera del mango son diferentes dependiendo del tipo de pala (Bucyrus o P&H).

**Tabla B.20. Detalle componentes de accesorios de carguío.**



Para el caso de las palas Bucyrus se tiene el saddle block o corredera del mango es diferente que la corredera del mango de las palas P&H, la tabla que se muestra a continuación se puede identificar esta diferencia.

**Tabla B. 21. Comparación correderas palas en modelos.**



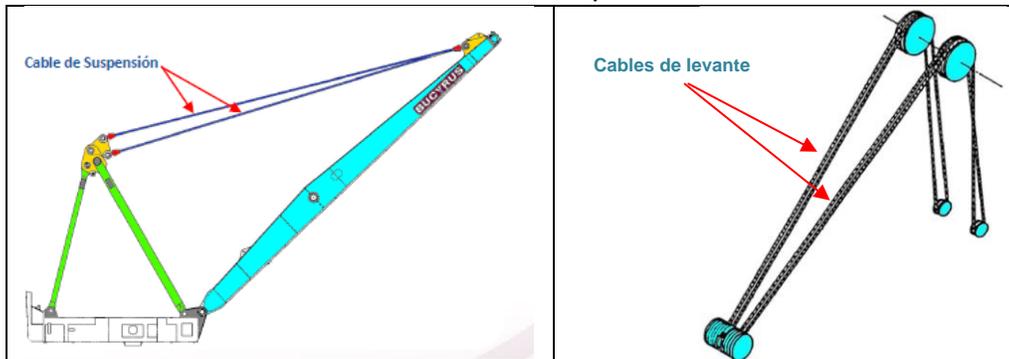
Con respecto a los cables corresponden a un accesorio de carguío importante en las palas, destacan los cables de levante y suspensión, y para el caso de las palas Bucyrus se tiene cables de empuje y recoge.



Ilustración B.6. Cables en Palas.

Los cables de suspensión soportan la pluma y se encuentran fijados a los ecualizadores de la estructura "A". En cambio, los cables de levantes están sujetos en el tambor de levante pasan por la catalina de la pluma y llegan al balde de la pala.

Tabla B.22. Cables en palas.



Por otro lado, para el caso de las palas Bucyrus, los cables de empuje y recoge están fijados al tambor de empuje y trabajan como un sistema integral. En la medida que el cable de empuje se enrolla en el tambor, el cable de recoge se desenrolla.

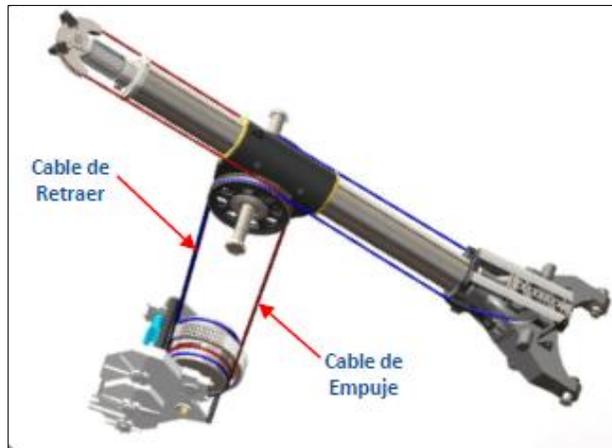


Ilustración B.7. Cables de empuje y recoge (palas Bucyrus).

### B.8. Ciclo de trabajo pala

El ciclo de trabajo se divide en cuatro fases: excavación, giro, vaciado y retorno. En cada ciclo de trabajo se utilizan tres movimientos principales: empuje, levante y giro.

- **Fase de excavación:** consiste en empujar el balde hacia el banco, Levantar el balde para llenarlo y retraer el balde del banco. Un balance adecuado de las fuerzas de empuje y levante es esencial para una excavación eficaz y productiva. Ver Ilustración B.8.



Ilustración B.8. Fase de excavación.

- **Fase de giro:** Esta fase comienza cuando el balde se encuentra totalmente cargado y libra el banco vertical y horizontalmente. Durante esta fase, el operador controla la posición horizontal del balde mediante una trayectoria de giro y con una altura controlada de descarga, permite girar el balde y posicionarlo sobre el camión.
- **Fase de vaciado:** Comienza antes de que el balde cargado pase sobre la tolva de camión y termina cuando el movimiento de giro para y retrocede para regresar el balde al banco. Durante la fase de descarga, el operador abre la tapa del balde, para descargar el material mientras controla la altura de descarga evitando lesiones al personal de la mina y evitar dañar la tolva del camión, esencialmente durante la primera carga.
- **Fase de retorno:** Comienza cuando se inicia el giro del bastidor superior de regreso al banco y continúa bajando el balde en posición retraída para cerrar la tapa de esta, activando el seguro de cierre de la tapa del balde. [29]

## C. Anexos: Algoritmo del sistema Dispatch [16]

El sistema realiza las asignaciones, mediante algoritmos que se encuentran en los tres subsistemas presentes:

- Mejor Ruta (MR – Best Path): Cambios en la topografía.
- Programación Lineal (PL – Linear Programming): Cambios importantes en las variables dependientes del tiempo.
- Programación Dinámica (PD – Dynamic Programming): Asignación en tiempo real.

### Mejor Ruta

El subsistema Mejor Ruta de viaje, determinado mediante el menor tiempo de acarreo (tiempo-distancia), para lo cual utiliza el Algoritmo de Dijktras. Este algoritmo calcula el tiempo mínimo de un nodo a otro (punto virtual de ubicación), mediante una red de nodos que describen un árbol direccionado. Una vez realizado el cálculo de la MR, se entrega al siguiente subsistema (PL) la siguiente información acerca de las rutas de acarreo:

- Distancia total mínima.
- Estimación del tiempo de viaje.
- Puntos intermedios de viaje (puntos virtuales por donde debe pasar el camión)

### Programación Lineal

El Algoritmo de Programación Lineal del sistema Dispatch utiliza el método Simplex, que resuelve un conjunto de ecuaciones lineales de restricciones, para minimizar las necesidades de camiones de extracción, sujeto a una función de prioridades y exigencias. El modelo de PL tiene como variables la tasa de alimentación del objetivo en [ton/h] o [m<sup>3</sup>/h] para cada ruta, tanto de equipo de carguío como puntos de descarga. La PL calcula la razón de alimentación que minimiza el total de camiones requeridos para cubrir las necesidades de palas, sujeto a las restricciones de la Mina.

- Continuidad de pala y puntos de descarga.
- Tasa de excavación máxima de cada equipo de carguío.
- Capacidad máxima de vaciado en los puntos de descarga.
- Equipos disponibles.
- Tipo de material y ley del mineral.

Dispatch utiliza las soluciones entregadas por la Programación Lineal para generar asignaciones óptimas de equipos en tiempo real. Un problema que surge al despachar camiones de extracción en una mina a cielo abierto es la gran cantidad de variables que existen y que se interrelacionan entre sí. Para solucionar este problema la PL incluye una cantidad de variables relacionadas a un cierto número de ecuaciones matemáticas denominadas restricciones y una función objetivo.

En resumen, este subsistema resuelve las ecuaciones lineales de restricciones maximizantes programadas en base a prioridades de carguío, tasas de excavación, capacidad de vaciado y restricciones de material y/o mezclas.

### Programación Dinámica

Si bien es cierto, la PL entrega una solución en cuanto al flujo de alimentación de cada ruta en [ton/h], no lo hace para el problema de las asignaciones de equipos. Este problema es resuelto utilizando la estrategia de la Programación Dinámica (PD), un proceso de optimización basado en el principio optimizante de Bellman's.

El principio básico consiste en entregar una importancia y modalidad dinámica de cálculo para las variaciones operacionales que se suscitan, como variaciones en la disponibilidad de equipos (cambios de estatus), flujos de alimentación (puntos de carga y/o descarga), prioridad de palas, distancias de acarreo. Para generar la solución, Dispatch en lugar de asignar camiones a las palas que más lo requieren decide por asignar camiones a los equipos de carguío más necesitados en cualquier momento ya sea que requieran asignación o ya lo estén. Para este proceso, el sistema genera dos listas, una en base a la PL, donde incluye rutas ordenadas por prioridad de tiempo y una lista de camiones que requieran asignación a través del tiempo. Es así como la Programación Dinámica (PD) establece las necesidades de camiones óptimos sobre la base de los que requerirán asignación de carguío o bien puedan variar esta en ruta.

## D. Anexos: Daño estructural en palas Bucyrus

El daño estructural por fatiga que se genera debido a cargas fluctuantes se registra en un sistema que supervisa las condiciones de operación del equipo a través del sistema Damage Monitor Pala. Este sistema captura, para cada zona propensa a grietas (ZPG), la deformación de la estructura sometida a cargas reales. En cada ZPG se ubica un nodo Damage Monitor que calcula en tiempo real el daño por fatiga sobre la base de las deformaciones medidas y de un modelo de elementos finitos, la Ilustración D. 1 muestra el funcionamiento de este sistema.

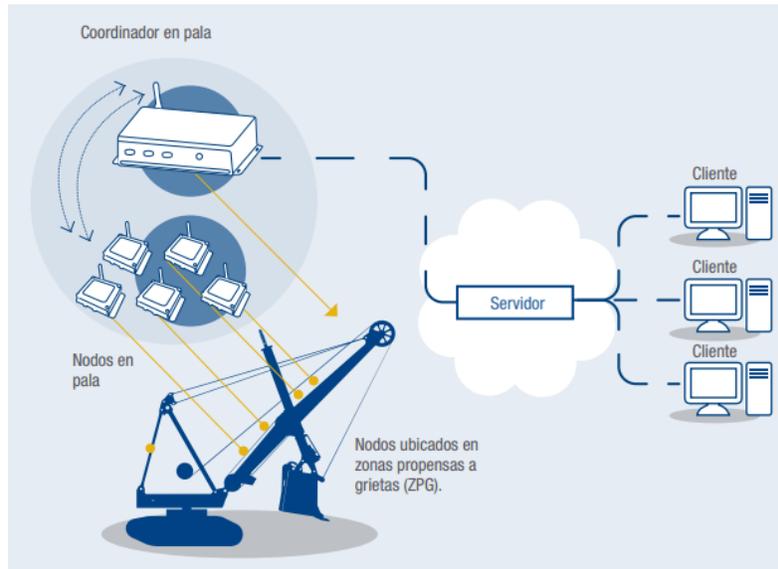


Ilustración D. 1. Funcionamiento Damage Monitor.

Esta herramienta permite evaluar el efecto de las condiciones y prácticas de operación, así como planificar la inspección, reparación y recambio de la estructura. A continuación, se presentan las características y beneficios de este sistema:

- Almacena esfuerzos reales en la estructura y el daño por fatiga generado.
- Mide cómo afectan las condiciones de operación a la estructura.
- Identifica buenas y malas prácticas de operación.
- Es posible aumentar el número de nodos de monitoreo del sistema.
- Es posible acceder en forma segura a los datos vía internet o a través de la red interna del cliente.
- Detecta fallas estructurales y de montaje.
- No requiere modificaciones a la estructura para su instalación.
- Evita fallas catastróficas.
- Predice la necesidad de inspección, reparación o recambio de la estructura.

## E. Anexos: Análisis de datos

### E.1. Vida útil componente CAEX

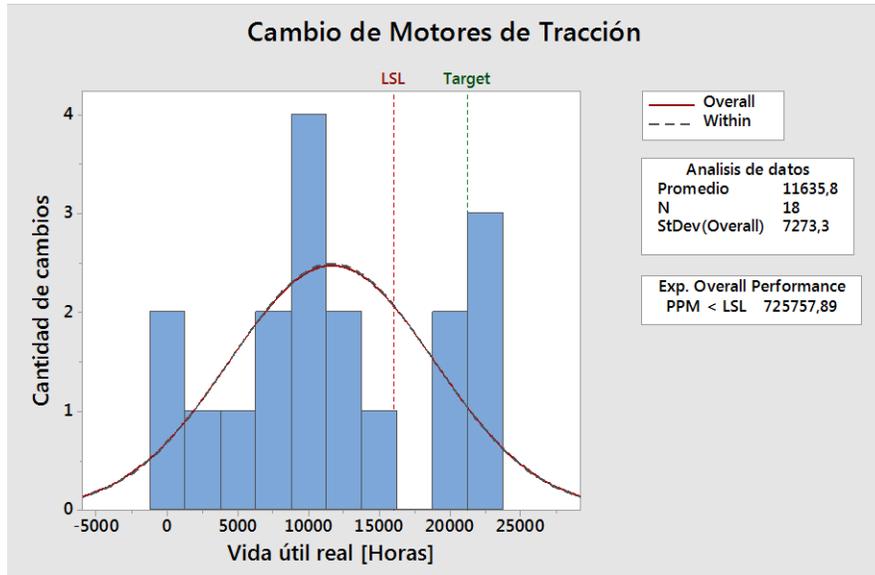


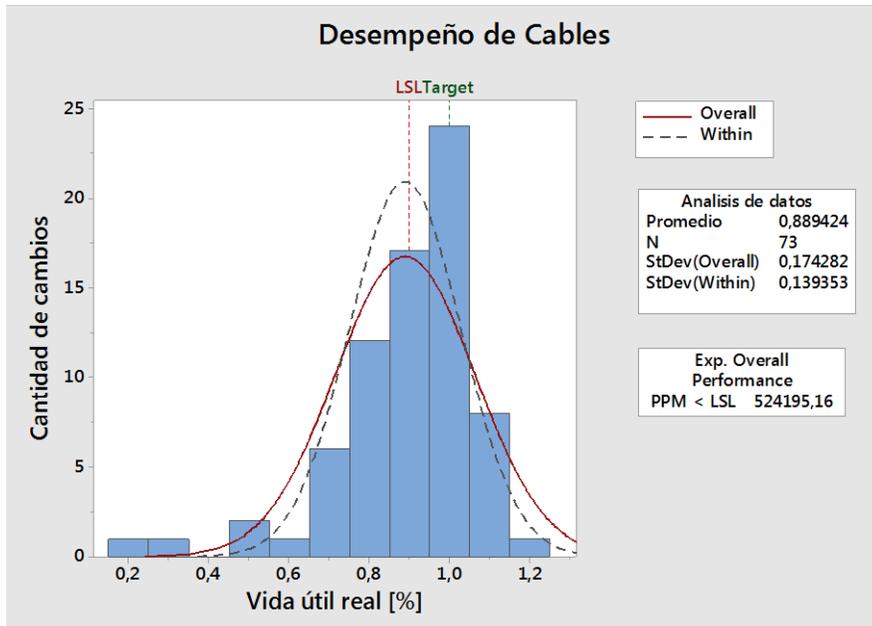
Gráfico E. 1. Cambio MT, FY16.

De este gráfico es posible observar que la cantidad de defectos medidos en PPM (partes por millón) para los motores de tracción, durante el periodo del primer semestre de 2016, fue de 725757. Lo cual significa que, del total de MT cambiados, durante ese periodo, un 72% no cumplió con el límite especificado como mínimo requerido (LSL: Low Specification Level).

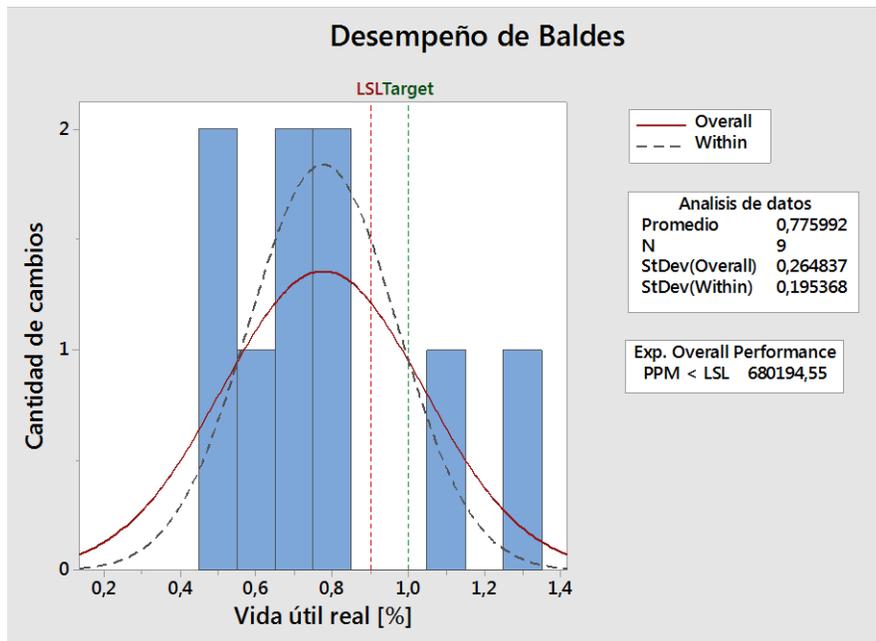
Por esta razón y debido a que este es el componente, en los CAEX, Komatsu, que presenta muy bajo desempeño con respecto a su vida útil esperada, fue seleccionado para realizar el estudio.

### E.2. Vida útil componentes palas

En el Gráfico E. 2 y Gráfico E. 3 se muestra porcentualmente el desempeño que estos componentes presentaron, esto con el objetivo de definir el cumplimiento de la vida útil del componente, específicamente para el caso de los cables se puede observar que el 44% no cumple con la vida útil esperada, presentando en promedio por cable una vida útil del 89% con respecto a la esperada, por otro lado, para el caso de los baldes el 77.8% no cumple con la vida útil esperada, presentando en promedio por balde una vida útil del 77.6% con respecto a la esperada.



**Gráfico E. 2. Desempeño de cables, 1°sem 2016.**



**Gráfico E. 3. Desempeño de baldes, 1°sem 2016.**

De estos gráficos es posible observar que la cantidad de defectos medidos en PPM (partes por millón) para los cables y baldes, durante el periodo del primer semestre de 2016, fue de 524195 y de 680194, respectivamente.

Por esta razón y debido a que estos son los componentes, en las palas, que presentan muy bajo desempeño con respecto a su vida útil esperada, fueron seleccionados para realizar el estudio.

## F. Anexos: Reportes

Con respecto al reporte de prácticas operacionales en los CAEX, este se genera automáticamente al ingresar la fecha que se quiere consultar y apretar el botón, ver Ilustración F.1. Las ilustraciones que se presentan después muestran el reporte que esta herramienta genera.

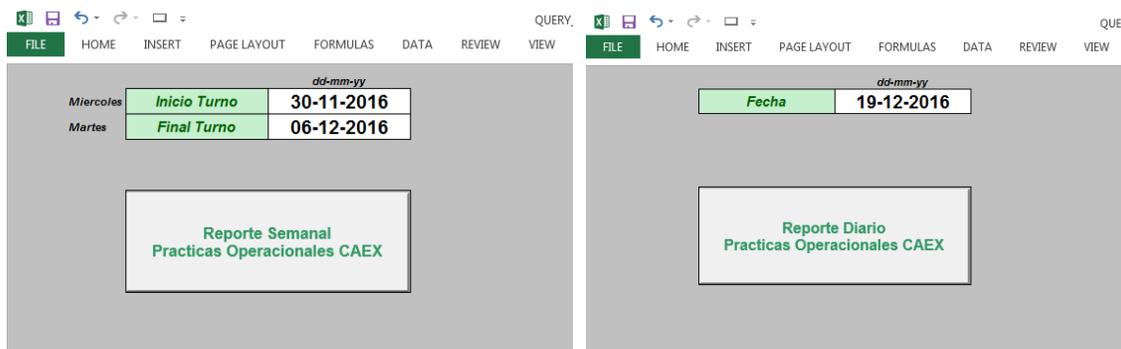


Ilustración F.1. Funcionamiento reporte CAEX.

## G. Anexos: Resultados

### G.1. CAEX

El gráfico que se muestra a continuación muestra la cantidad de eventos que se generaron durante ambos periodos evaluados (antes y después de las mejoras implementadas), o sea, desde el inicio del FY16 (julio 2015), representado en el gráfico como día1, hasta el noviembre del 2016.

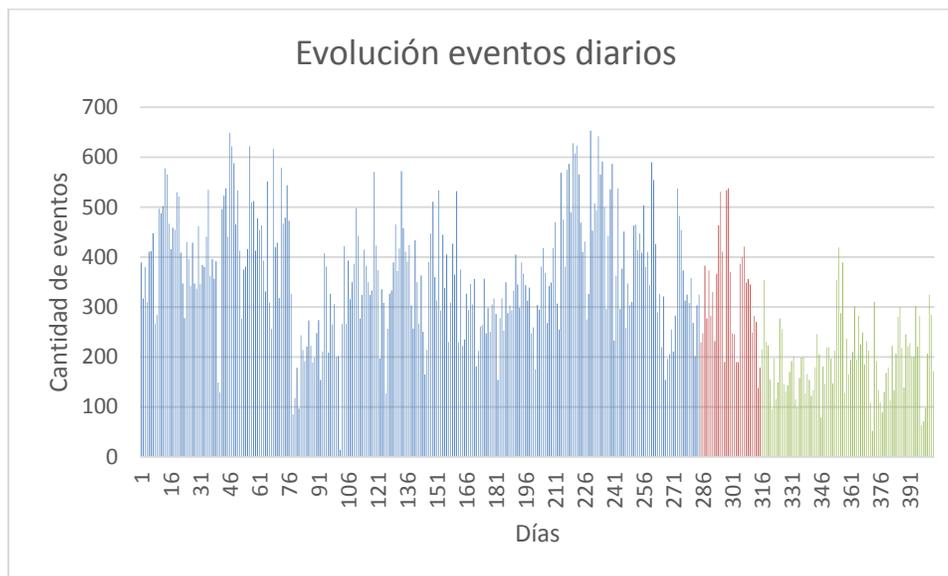
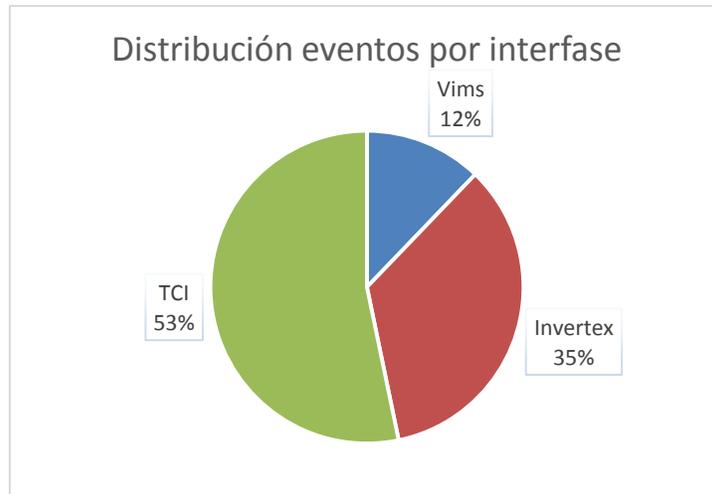


Gráfico G.1. Evolución eventos diarios ambos periodos.

Es posible observar que el periodo azul corresponde a la cantidad de eventos generados antes de las mejoras implementadas, y que el periodo verde corresponde a la cantidad de eventos generados después de las mejoras implementadas (resultados), con respecto al periodo rojo este corresponde al periodo de implementación de las mejoras.

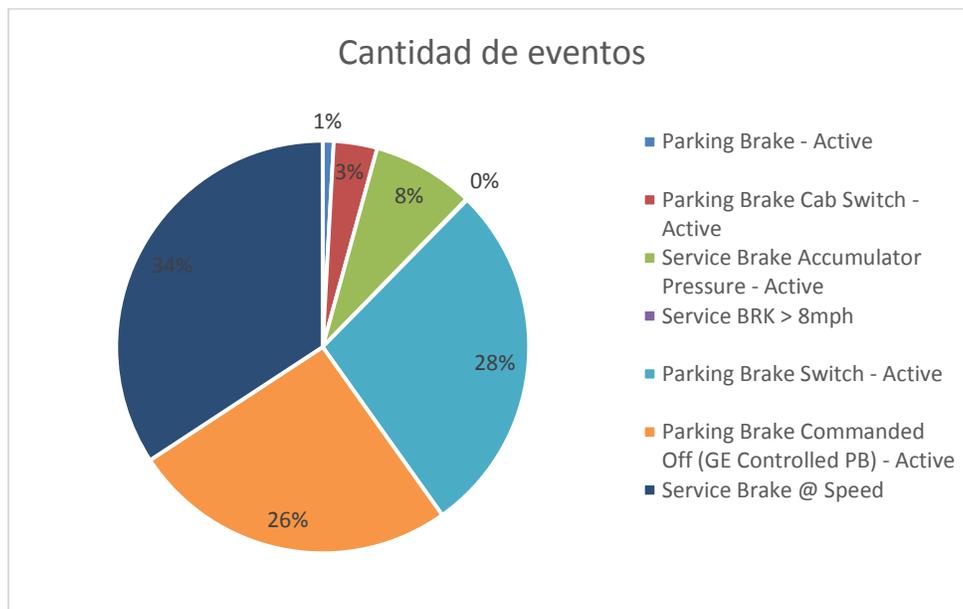
Gráfico G.2 se puede observar que la distribución porcentual de cantidad de eventos realizados por los camiones Caterpillar (interfase VIMS), durante el periodo post mejora fue de 12%, es decir, se mantuvo el porcentaje con respecto a la cantidad de eventos antes de la implementación de la mejora.

También es posible observar que la cantidad de eventos por la interfase TCI es la que más se genera en la cantidad total de eventos, esto quiere decir que se disminuyó la cantidad de eventos generados por Invetex (aplicación de freno de servicio en velocidad).



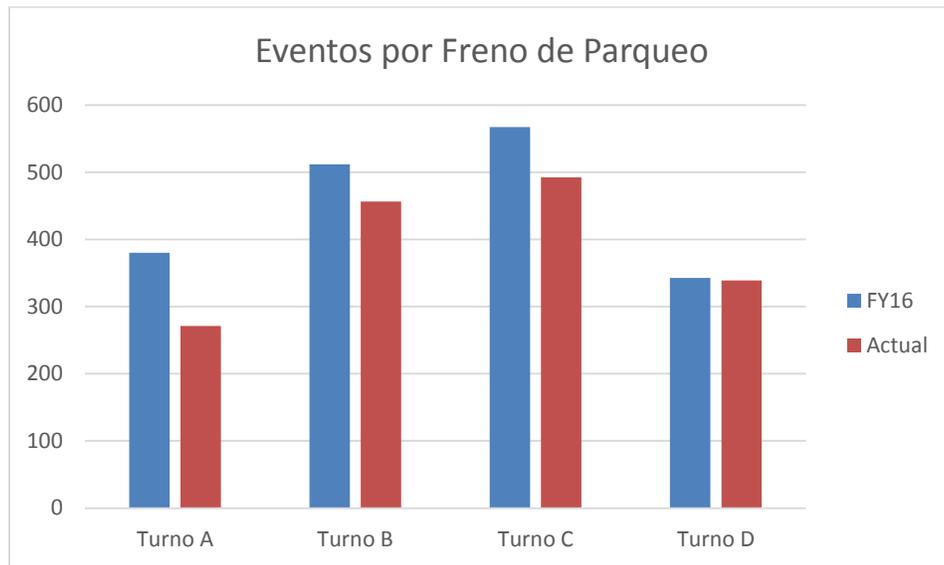
**Gráfico G.2. Distribución porcentual de eventos por interfase.**

El grafico que se presenta a continuación, muestra la distribución porcentual de los eventos generados después de las mejoras implementadas.

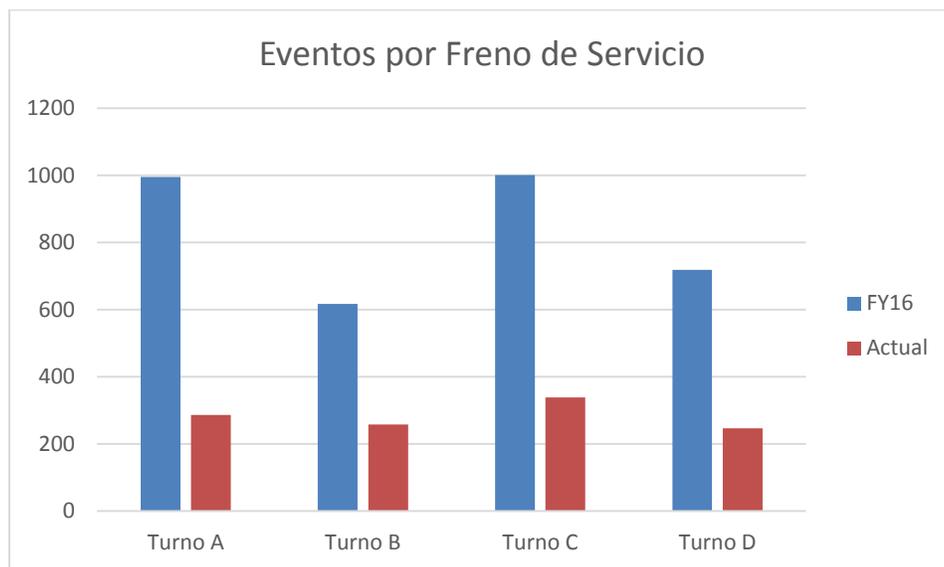


**Gráfico G.3. Distribución porcentual según tipo de evento.**

A continuación, se presentan la comparación de eventos ocurridos por turno, entre ambos periodos analizados, tanto en eventos por freno de parqueo como eventos por freno de servicio.



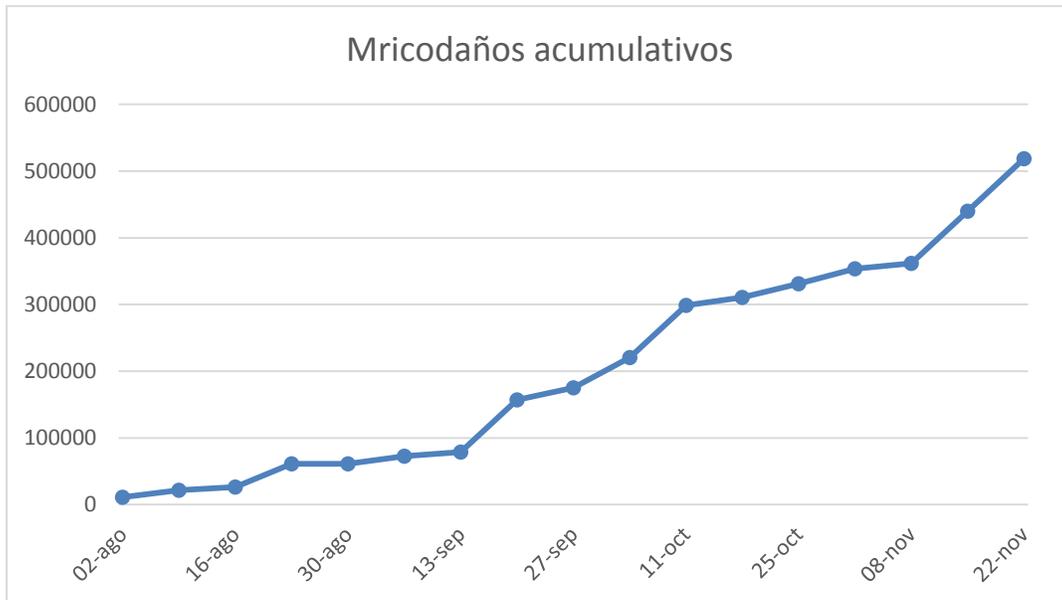
**Gráfico G. 4. Comparación de eventos por turno y por freno de parqueo.**



**Gráfico G. 5. Comparación de eventos por turno y por freno de servicio.**

## G.2. Palas

A continuación, se presenta los microdaños acumulativos obtenidos durante el periodo de: agosto, septiembre, octubre y noviembre.



**Gráfico G. 6. Microdaños acumulativos - periodo de analisis.**

Al realizar la línea de tendencia de los microdaños obtenidos en este periodo, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,956 con la ecuación siguiente ecuación:  $Y = 4466.5 * X - 2 * 10^8$ .

Por otro lado, en el caso del periodo correspondiente al primer semestre 2016, la línea de tendencia realizada quedó representada por la siguiente ecuación:  $Y = 3.5211 * X - 149086$ . Con un coeficiente de correlación de 0.9581.

Los siguientes gráficos muestran los resultados obtenidos del desempeño de componentes en los cables y los baldes, según el tonelaje que faltó mover por componente y según la vida útil de duración de cada componente porcentualmente.

Para el caso de los cables se tiene:

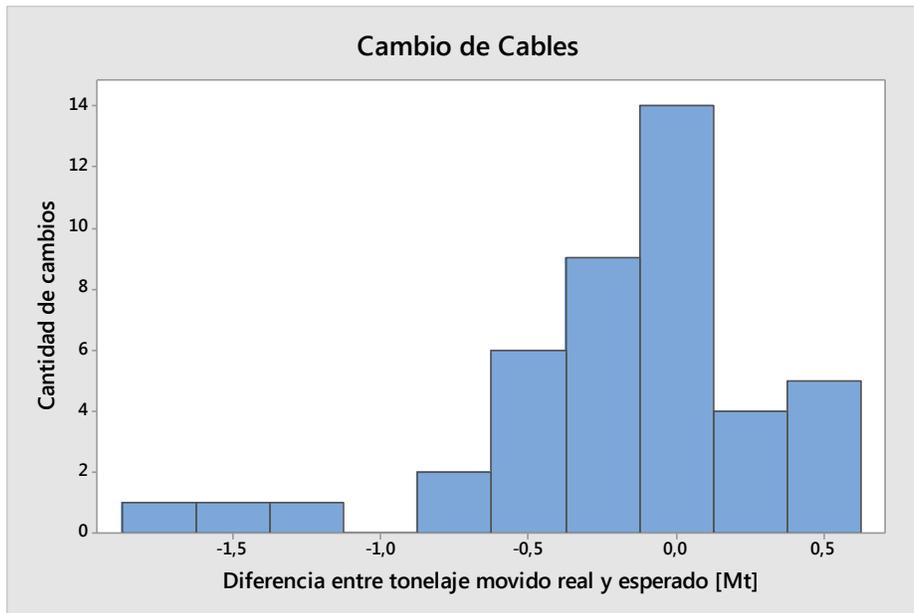


Gráfico G.7.

A continuación, se presenta la comparación entre ambos histogramas, cabe destacar que la cantidad de cambios entre periodos no es un parámetro correcto para evaluar los resultados, por otro lado, si lo es el aumento de tonelaje movido por componente, como se ve reflejado en la disminución de barras que se encuentran en el lado negativo.

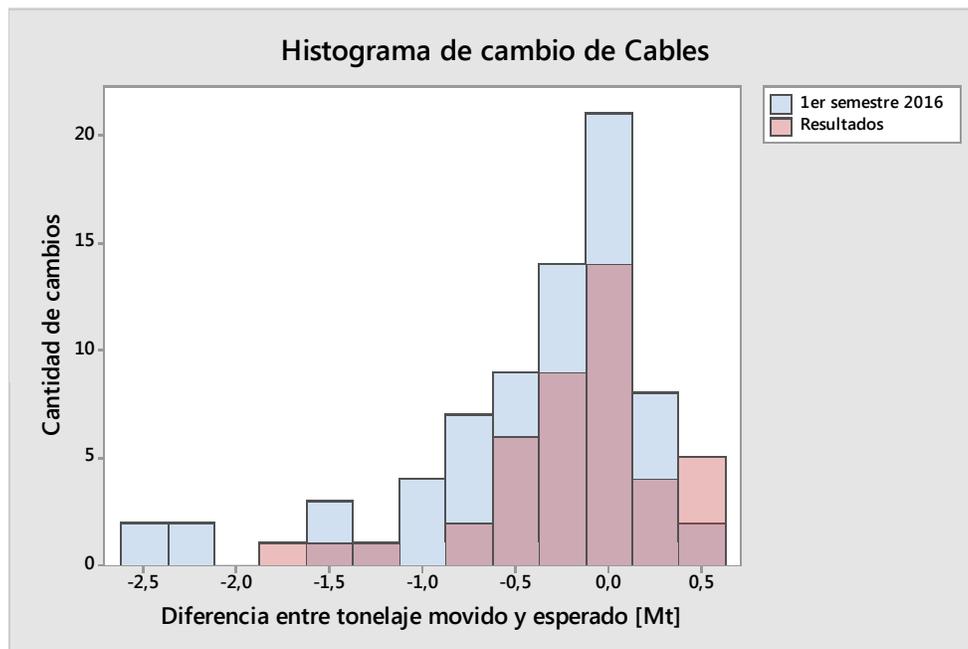


Gráfico G.8.

Con respecto a la variabilidad obtenida en el desempeño de los cables se tiene:

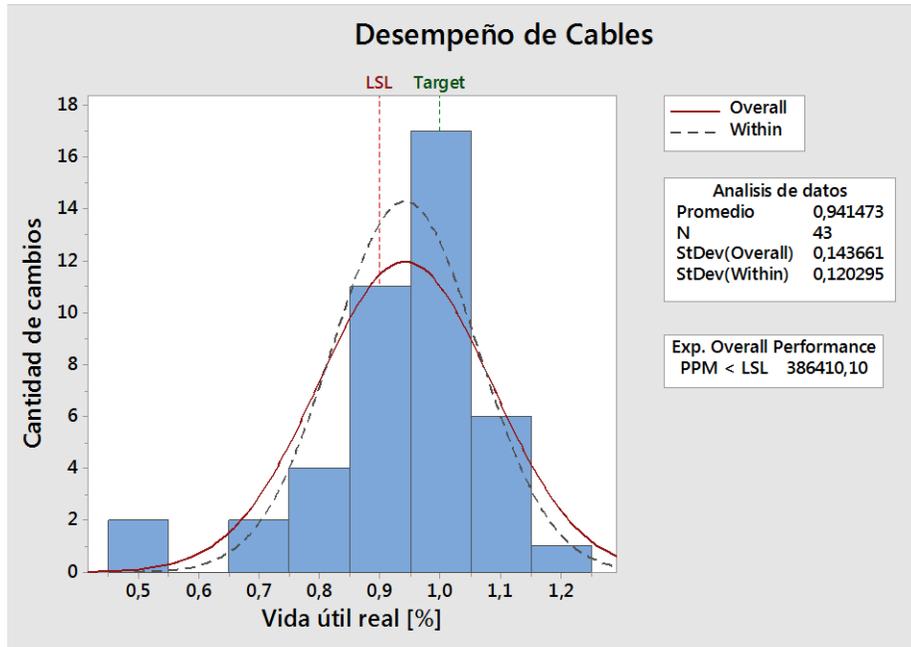


Gráfico G.9.

Para el caso de los baldes se tiene:

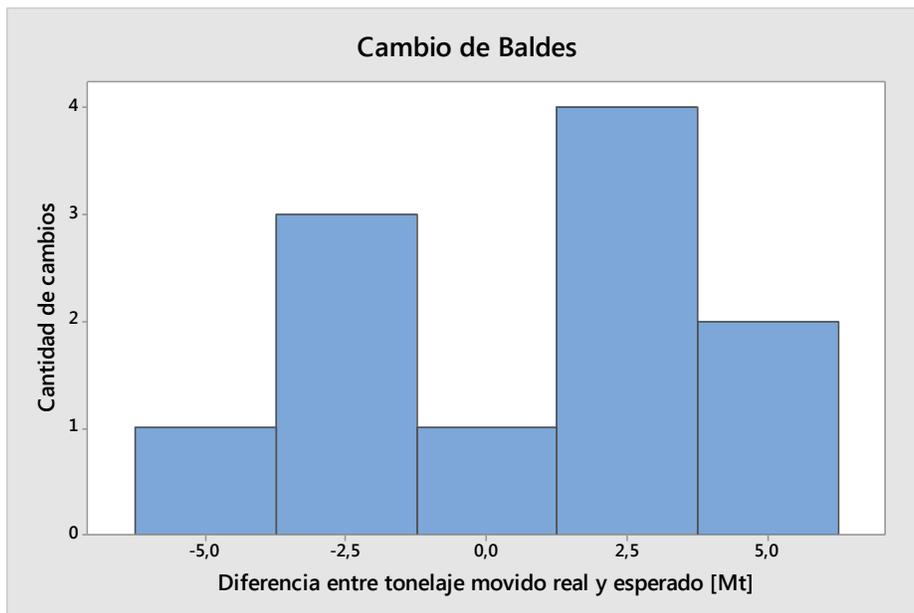


Gráfico G.10.

Como se vio anteriormente la cantidad de cambios entre periodos no es un parámetro correcto para evaluar los resultados, por otro lado, si lo es el aumento de tonelaje movido por componente, como se ve reflejado en la disminución de barras que se encuentran en el lado negativo, a continuación, se presenta la comparación entre ambos histogramas.

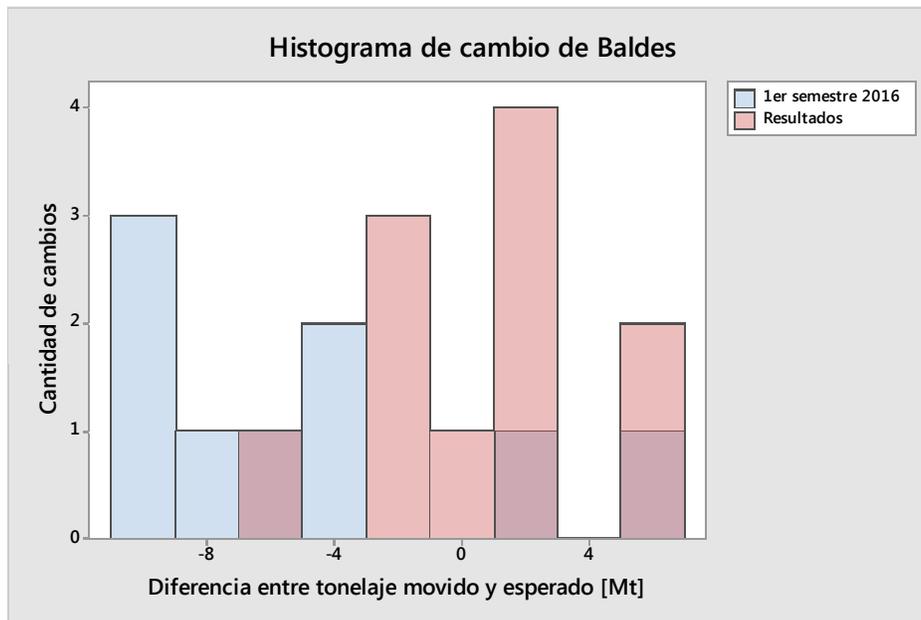


Gráfico G.11.

Con respecto a la variabilidad de estos componentes, se tiene:

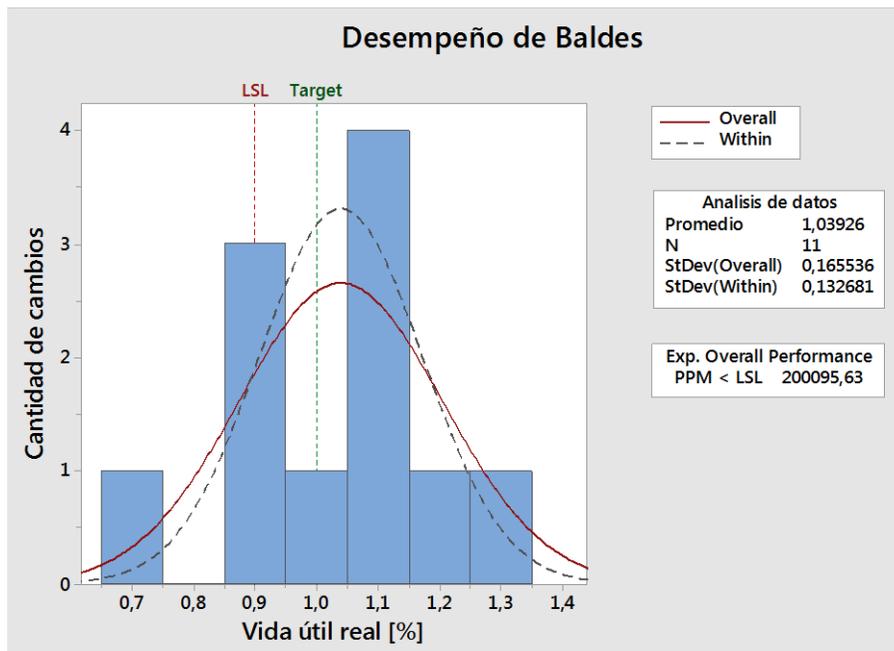


Gráfico G.12.

## H. Anexos: Practicas operacionales

### H.1. Otras malas prácticas operacionales en camiones

- Sobre velocidad (>74km/hr)

La sobre velocidad del equipo de transporte se genera cuando este se encuentra a una velocidad sobre los 74km/hr. Los componentes afectados por esta mala práctica son el chasis (fisuras y deformaciones), masas delanteras y suspensiones, aumento de temperatura de neumáticos (>TKPH)

Generalmente esta condición se da en pendientes descendentes debido a una incorrecta o nula programación del RSC o ARC, en camiones Komatsu y Caterpillar respectivamente.

### H.2. Otras malas prácticas operacionales en palas [30]

Al realizar levante y un giro con balde dentro del banco sobrecarga la máquina se genera *Swing Impact*, por lo que No se puede realizar estos movimientos simultáneos, ya que generan:

- Sobrecarga la estructura del mango, los dientes de la cremallera, piñones y correderas (carga lateral).
- Acelera el desgaste de las piezas de la pluma (Talón y pasadores).
- Provoca grietas en mamparos y uniones soldadas interiores de la pluma.
- Sobrecarga al eje de corredera, bujes rodamientos, engranajes (transmisión de empuje).
- Sobrecarga la estructura del balde (conexiones superiores, elementos estructurales, mamparos interiores, labio).
- Sobrecarga los componentes del sistema de giro (piñones y ejes de giro, pasador central, dientes de la corona principal, pistas de rodadura).
- Los modos de falla son de tipo estructural (fallas por fatiga en uniones soldadas, fracturas, desgaste de piezas, entre otras).

Con respecto a otras malas prácticas operacionales que se generan en las palas, se tiene:

- Alineación de Cables de Levante (Hoist Ropes). Controlar las condiciones para optimizar la vida útil de los cables levante es, en gran medida, responsabilidad del operador. El operador debe asegurar un alto standard en el control del equipo para evitar que el cable de levante se suelte, colapse o se debilite, extender demasiado el mango o evitando la vibración excesiva al cargar. El área de Operaciones Mina puede contribuir a aumentar la vida útil del cable de levante a través de técnicas de tronadura adecuada y así evitar que queden “patas” o fragmentación inconsistente del material.

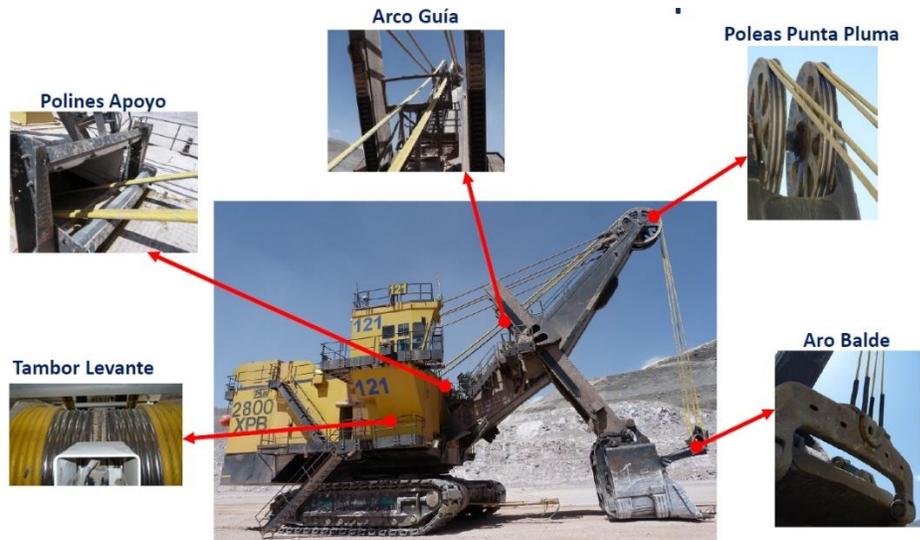


Ilustración H.1. Puntos de inspección de los cables.

- Carga del Mango (Handle Loading). El control de la carga del mango está relacionado con los impactos de giro y levante de pluma, ocasionando daños estructurales en las uniones soldadas, ya sea fisuras o fracturas de planchas.
- Carga de la Máquina (Machine Loading). Girar la máquina sobre en 360° en una dirección, una vez por hora es beneficioso para extender vida de los rodillos y proporcionar lubricación al pin central de giro (central gudgeon). Además de esa recomendación, controlar el arco de giro es muy beneficioso para la productividad donde los arcos de 90° son considerados normales y donde los arcos de 120° reducirán el rendimiento de car guía en aproximadamente un 12%.
- Contra Rotación de la Orugas (Track Counter Rotation). Ángulos de contra rotación de más de 20° no son aceptables. Una rotación superior a estos ángulos aumentan la carga de los componentes así como ensucian el mecanismo de propulsión con polvo y rocas, acelerando el desgaste. La recomendación es que la máquina sea propulsada en distancias cortas en una línea recta, hacia adelante, entre una serie de 15° a 20° movimientos de contra rotación.
- Control de Pisos: La pala debe operarse en todo momento en superficies firmes y niveladas, libres de rocas y escombros. No se debe realizar operaciones de excavación en pendientes sobre 5%, por riesgo de vuelco y desgaste de componentes del sistema de giro.



Ilustración H.2. Piso pala desnivelado.

- Tiempo de Propulsión (Propel Accumulated). Un exceso de propulsión, provoca un desgaste acelerado de los componentes del sistema de rodado, fundamentalmente las orugas. La norma general es no exceder el 7% en propulsión, respecto del total de horas de la máquina.
- Cargas suspendidas: mantener cargas suspendidas sin la aplicación de frenos genera sobre temperatura en los motores eléctricos, acortando la vida útil de los motores y los cables de levante.

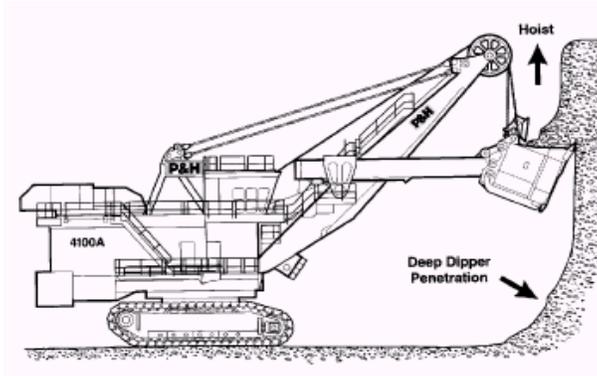


Ilustración H.3. Carga suspendida en pala.

### H.3. Procedimientos de operación de equipos de transporte

#### *Camiones Caterpillar*

- Detención del equipo: se debe soltar el pedal de acelerador, aplicar el freno de servicio y mover el control de la transmisión a la posición "P" (parqueo).
- Desplazamiento del equipo: Durante el desplazamiento del equipo, la palanca del control de levante siempre debe estar en posición libre, para que la tolva asiente en chasis y no en los cilindros de levante.



Ilustración H.4. Posiciones del control de levante.

- Proceso de aculatamiento: generalmente se produce el evento operacional abuso de transmisión debido a los cambios de marcha con una determinada velocidad de motor. Para realizar el cambio de sentido de machas en el aculatamiento, se debe aplicar el freno de servicio, con velocidad de piso cero a bajas RPM de motor. [21]
- Prueba del freno secundario: Se debe arrancar el motor y pisar el freno secundario, luego poner el control de la transmisión en la posición "D" y aumentar la velocidad del motor gradualmente hasta 1300 rpm. Con esto el equipo no se debe mover.

- Prueba de freno de estacionamiento: El control de la transmisión debe estar en “P” luego oprimir al mismo tiempo los botones para aumentar y disminuir el límite de marcha alta, mover la palanca del control de la transmisión a “D”, ahora se pueden soltar los botones y el freno de estacionamiento permanecerá conectado, aumente la velocidad del motor gradualmente hasta 1300 rpm. Con esto la maquina no debe moverse
- Prueba ARC (control retardador automático): Una vez que el camión está en ralentí (neutro, a baja revolución y parqueo), para probar si el sistema del ARC está funcionando correctamente, se debe desconectar desde el switch del tablero, luego de eso se debe conectar y se debe encender la luz del piloto del tablero y luego se debe contar 3 segundos hasta que ésta se apague, si a los 3 segundos se apaga el sistema este se encuentra OK, de lo contrario el sistema presenta fallas y se debe informar.
- Traslado en pendientes: antes de ingresar en una pendiente se debe programar el cambio de velocidad apropiado, mantener el control de transmisión enganchado (nunca neutral) u el interruptor ARC debe estar conectado.
- Palanca de control de la transmisión:



**P:** Conecta automáticamente el freno de estacionamiento, se aplica para frenar la maquina estacionada, en la carga, en la descarga, en espera y para arrancar el motor.

**R:** Para mover la maquina en reversa

**N:** La transmisión no está en ningún cambio

**D (drive):** La transmisión cambiara entre 1ra y 6ta. Con los botones la marcha a programar es de 3ra a 6ta. Se debe aplicar en terreno horizontal, programar y seleccionar/limitar los cambios de velocidad, prueba de freno secundario.

**1:** Para limitar el cambio al subir o bajar pendientes

**2:** Para condiciones de suelos y tracción difíciles, y probar el freno secundario.

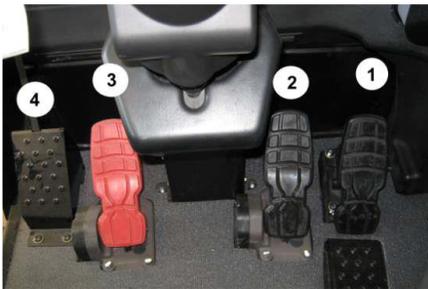


Para seleccionar R, N o D presionar el botón de enclavamiento de la palanca de cambios (botón negro) y tirar de la palanca en la posición deseada. El botón de marcha alta (1) se utiliza para alcanzar el límite más alto de marcha deseada. El botón de marcha baja (3) se utiliza para bajar el límite más alto de marcha deseada. El tercer engranaje es el límite mínimo del alto de marchas en la posición D.

Cada vez que el camión es puesto en funcionamiento, el ECM de la transmisión cambia por defecto a la marcha deseada más alta disponible. Si el operador decide limitar el engranaje más alto a cuarta (como ejemplo), se utiliza el botón de marcha baja mientras se observa el

panel del Advisor para confirmar visualmente la nueva selección. La marcha seleccionada con los botones de marcha alta y marcha baja se muestran en el panel del Advisor.

- Descarga de camiones: Después de detenido el equipo y con el freno de estacionamiento aplicado, se debe accionar el control de levante a la posición subida e incrementar las RPM del motor para acelerar la velocidad de elevación. A medida que los cilindros de levante se extiendan por completo se debe ir reduciendo las RPM del motor, de esta forma se alarga la vida útil de los componentes del sistema hidráulico, en particular los sellos de los cilindros de levante. No se debe llegar hasta el final de carrera de los cilindros de levante y volteo. En caso de ser necesario limpiar la parte trasera de la tolva levantada, seleccione una marcha de avance, esto evitara que se registre el evento operacional desplazamiento de rueda libre en neutral, que afecta la durabilidad de la transmisión. No se debe avanzar más del largo total del camión con la caja levantada. Nunca llevar violentamente del volante de la dirección de lado a lado, para liberar material atorado, esto afectara a los componentes del sistema de dirección. [21]
- Frenos:



- Pedal 1: Acelerador
- Pedal 2: Freno de servicio
- Pedal 3: Freno secundario
- Pedal 4: Posa pie

El camión está equipado con el sensor de posición en pedal de freno secundario el cual envía una señal de posición PWM al ECM de Freno, de acuerdo a la posición del pedal el ECM de Freno enviara una señal de corriente al solenoide de freno de estacionamiento que drenara el aceite e desaplicación en las cuatro ruedas, la maquina entonces se detendrá rápidamente.

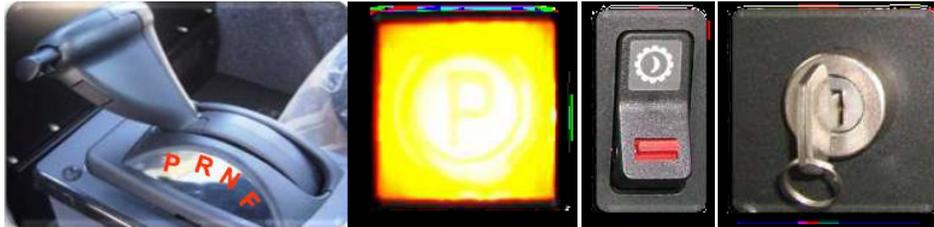
Con respecto a la palanca de retardo manual, esta se usa para modular el accionamiento de los frenos de servicio en las cuatro ruedas. La palanca retardadora puede controlar la modulación de los frenos de servicio en forma más exacta que el pedal de freno de servicio ubicado en el piso de la cabina. El retardador no suministrará toda la capacidad normal de frenado.



Ilustración H.5. Palanca de retardo manual.

### Camiones Komatsu

- Estacionamiento del equipo: una vez detenido el equipo, asegurar de que este aplicado el freno de estacionamiento, luego que la luz indicadora de parqueo este activada, después que el Rest este aplicado para des energizar el sistema de propulsión y finalmente cerrar el contacto.



- RSC: Para disponer de este sistema tiene que ser activado el interruptor (interruptor hacia arriba), cuando está activado el RSC se encuentra disponible el sistema anti patinaje. Siempre tiene que estar activado el RSC. La regulación se realiza desde la tortuga (lento) hacia la liebre (rápido).



Ilustración H.6. Comando RSC.

La Perilla permite al operador controlar la velocidad de descenso en una rampa y reduce la velocidad en cualquier momento necesario, es la forma primaria de controlar la velocidad y solo se aplica en los neumáticos posteriores sobre los 4.8 km/h. Esta función puede ser anulada por el acelerador, la palanca de retardo o el pedal de retardo.

- Frenos: Este tipo de camión cuenta con 4 tipos de frenos distintos: freno de retardo, freno de servicio, freno de parqueo y freno de traba.

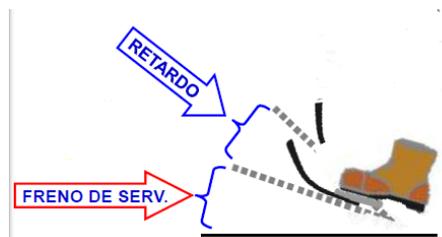
La aplicación del retardo debe ser siempre en el siguiente orden:

1. RSC
2. Palanca manual
3. Pedal
4. Retardo Automático que se activa por sobre velocidad de la maquina



Para una buena aplicación del freno de servicio se recomienda:

- No utilizar el freno de pie a velocidad excesiva, excepto en caso de emergencia o por bajo los 8 km/hr
- Reducir la velocidad anticipadamente con el retardo
- Utilizar el freno de servicio para detener el camión, después de controlada la velocidad con el retardo, antes de un cruce, antes de llegar al sector de carga y descarga, frente a un obstáculo en la carretera, cuando suceda una falla técnica (alarma), frente a una emergencia o cuando se esté por debajo los 8km/hr.



En el pedal de freno la primera parte del recorrido del pedal comanda el esfuerzo de retardo a través de un potenciómetro rotatorio. La segunda parte del recorrido del pedal modula la presión del freno de servicio directamente a través de una válvula hidráulica. Así, primero el operador debe aplicar y mantener el retardo dinámico completo para aplicar los frenos de servicio. [21]

La aplicación del freno de traba debe ser con camión totalmente detenido, para carga, descarga y durante la operación del equipo. En caso de emergencia puede ser aplicado para detener el camión como una segunda alternativa. Nunca use este freno para estacionamiento.



**Ilustración H.7. Carga y descarga CAEX.**

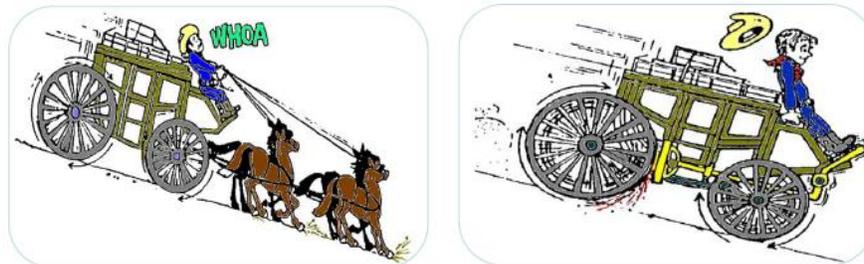
Este tipo de freno es accionado hidráulicamente y se aplican solo en las ruedas posteriores, es activado a una presión menor que la presión del freno servicio lo que permite que las ruedas se puedan acomodar en un terreno irregular.



El freno de estacionamiento está diseñado para sostener el equipo y no para detenerlo. Por lo que la velocidad permitida de aplicación del freno de parqueo es 0 km/hr, es decir, cuando el equipo se encuentra completamente detenido. [21]

### ¿Por qué usar el freno de retardo?

La ilustración que se presenta a continuación muestra una analogía de la aplicación del freno de retardo versus un frenado normal.



**Ilustración H.8. Retardo vs frenado.**

Otros

- Sobrecarga

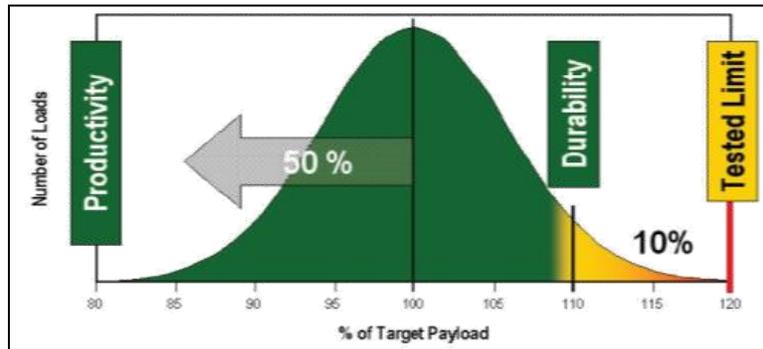


Ilustración H.9.

La sobrecarga está relacionada con target de carga útil y con la distribución de la carga. La ilustración que se muestra a continuación, muestra una correcta versus una mala distribución de la carga de material en los camiones.

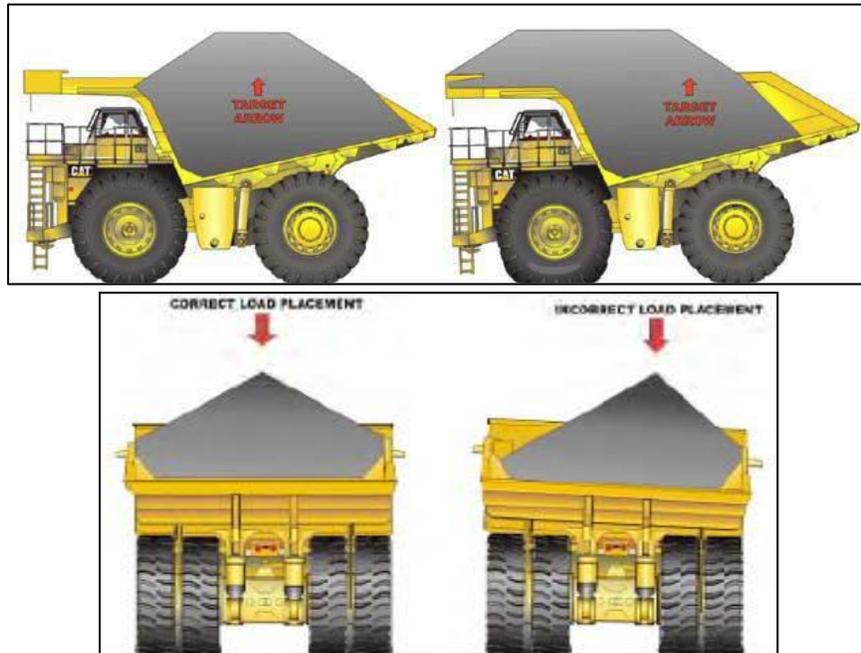


Ilustración H.10. Distribución de carga.

Para evitar la sobrecarga y alargar la vida de los componentes, se recomienda:

- Asegurando la correcta configuración y calibración de pesómetros.
- Operatividad de pantallas externas de carga útil.
- Conocer el target de carga útil según el modelo de equipo.
- Correcta posición del CAEX para ser cargado.
- Conocer los marcadores laterales de carga de la tolva.
- Distribuir la carga en 33% y 66% en eje delantero y trasero respectivamente.

#### H.4. Buenas prácticas operacionales en equipos de carguío [30]

##### *Condiciones óptimas de operación:*

Entre las acciones que debe realizar el operador para obtener el máximo rendimiento del equipo, destaca:

- El ángulo de giro para el carguío de los CAEX debe ser entre 70-90°.
- La distancia a la cual se debe encontrar el equipo con respecto a la frente de carguío de ser entre 3 a 4 metros.
- El balde debe ser llenado en su máxima capacidad
- El equipo debe trabajar sobre un piso nivelado.

##### *Consideraciones generales de Operación:*

- No colocar la pala muy lejos del frente de excavación. Estando más cerca se logra ciclos de carga más rápidos y mejores factores de llenado.
- No colocar la pala en lugares en donde se requieran ángulos largos de giro. Ubicar la pala donde se use ángulos cortos de giro.
- No dar vueltas cerradas que sobrecarguen las orugas. Dar giros graduales cuando se cambie de dirección.
- No aplicar giro al excavar. Mantener el giro neutro en la excavación.
- No usar el material del camión para frenar el giro. Desactivar el giro con la anticipación necesaria para detener sin tocar la carga.
- No barrer el piso con el balde. Limpie el piso utilizando movimientos normales de excavación.
- No excavar con las esquinas del balde. Se debe excavar usando el ancho del balde, con el filo cortante de los GET del balde.
- No atrapar material de colapso del banco con balde cargado. Abrir la puerta del balde para evitar el atrapamiento o realice giro, si es posible.
- No golpear las zapatas con el balde. Se debe cuidar movimientos de giro en proximidades de orugas.
- No operar en terrenos irregulares o blandos (entierro o balanceo). Se debe tener una base estable y nivelada para trabajar con la pala, llevando bien el piso.
- No utilizar límites de empuje y levante para operar la pala. Los límites son elementos de protección y no de operación normal.

##### *Propulsión Segura*

- Los brazos del mango deben estar en posición horizontal, la línea de los cables de levante en forma diagonal hacia delante y la puerta abierta.
- La propulsión debe ser sobre una superficie lo más plana posible.
- Virar en incrementos de 15 a 20 grados.
- Usar propulsión hacia delante lo más posible. No virar en reversa.
- Verificar condición de tensado de orugas, frenos, pasadores de orugas y ruedas motrices, en especial si la pala subirá.
- Revisar condición del camino, irregularidades, tendido eléctrico, pendiente de rampas.
- La pendiente máxima que una pala P&H se puede mover, subiendo o bajando, con seguridad, es de 15% (sólo mover).

- La pendiente máxima que una pala P&H puede viajar transversalmente, con seguridad, es de 10% (sólo mover).
- Cuidar de que la zona de trabajo este nivelada y firme, ya que la pala no tiene suspensión y las irregularidades del terreno son absorbidas por las estructuras de la pala, ya que no es totalmente rígida, dando lugar a grietas en las uniones soldadas y en planchas de las estructuras.
- El porcentaje de traslado no debe exceder del 6% del total de horas de operación. Cuidar de no realizar traslados más allá de este porcentaje, ya que los componentes del sistema de rodado no lograrán llegar a su vida nominal y se efectuará un gasto relevante antes de lo recomendado.
- En la operación, se debe cuidar de no golpear las zapatas de las orugas con el balde, ya que puede provocar fracturas en el balde o zapatas, pudiendo llegar a ser fallas relevantes desde el punto de vista de seguridad (salida de seguros de pasadores de orugas).

### *Sistema de giro*

Hay varias condiciones operacionales que provocan daños en el sistema de giro:

- Trabajar con pendientes de más de un 5%. La pala no puede exceder este porcentaje, debiendo ser usado un cargador para abrir rampas. Se produce un desgaste de los componentes del sistema de giro.
- Trabajar sin ajuste adecuado en pasador central. Se debe realizar medición de juego y el ajuste requerido, para evitar daños en pistas de rodadura, rodillos y elementos estructurales de la pala.
- Exceso de cabeceo de la pala (*Boom Jacket*, carga extendida del balde, *Swing Impact*). Por falta de ajuste no existirá un contacto uniforme de los rodillos y pistas, pudiendo fracturar pistas, rodillos, con el consiguiente tiempo de reparación asociado.
- Trabajar en la misma posición. Una buena práctica operacional es realizar 3 giros completos al inicio de cada turno. Con esto se logra lubricar superficie de los rodillos, distribuyendo de mejor manera el desgaste de los mismos y de la zona de desgaste de la corona.
- Detener el giro con contramarcha y disminución de velocidad de giro, para evitar golpes en dientes de corona. Las detenciones bruscas de giro no son recomendadas por los altos esfuerzos que transmiten.
- No trabajar en zonas con riesgo de caídas de rocas de gran tamaño, que pueden sacar contrapesos y dañar componentes estructurales. Se debe revisar la zona de trabajo y en caso de existir rocas de gran tamaño, comunicar a línea de mando para buscar zona de carga más segura.
- No mover rocas de gran tamaño usando el giro de la máquina (balde y mango). Se debe usar bulldozer para empujar y sacar rocas grandes de la zona de carga.
- Los modos de falla típicos son el desgaste irregular de componentes del sistema de giro y fisuras en componentes estructurales.