



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MEJORAMIENTO DE PRÁCTICAS OPERACIONALES PARA EL AUMENTO DE
HORAS EFECTIVAS CAMIONES DE EXTRACCIÓN
GERENCIA MINA, DIVISIÓN MINISTRO HALES
CODELCO CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

GUSTAVO ANTONIO CÓRDOVA ALFARO

**PROFESOR GUÍA
JULIO MORALES OLIVARES**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN
JULIO MORALES OLIVARES
JACQUES CLERC PARADA**

**SANTIAGO DE CHILE
2017**

RESUMEN

En la minería actual, particularmente la asociada a la explotación mediante el sistema de Cielo Abierto, sus márgenes de utilidades se han visto fuertemente disminuidas por 2 factores: la baja en el precio del *commodity*, la disminución en la productividad asociada a la utilización de los activos y la experiencia de la mano de obra. De estas dos últimas, la primera se ve reflejada en la baja de horas de uso efectivo de los equipos mineros. Y en el caso de la segunda, particularmente la aceleración en el reclutamiento de operadores por el periodo de auge minero, generó una disminución en la rigurosidad de sus programas de inducción y entrenamiento.

Pues bien, es en las operaciones unitarias en donde se puede gestionar la productividad y como consecuencia la reducción de sus costos mina. Una de las operaciones clave en este rol es la operación de transporte. El mayor uso de este activo, acompañado de un buen desempeño desde el punto de vista mecánico, y sumado a una gestión de excelencia en la operación de estos equipos, aseguran ahorro, rendimiento y rentabilidad a la operación minera.

El desarrollo de esta tesis apunta a la implementación de planes de acción tendientes a subir las horas efectivas de uso de la flota de camiones mineros de alto tonelaje (en adelante CAEX). Para lograr este objetivo, este estudio desarrolla 3 aspectos principales:

1. La incorporación de la metodología *Lean Managment* a las operaciones unitarias de Carguío y Transporte.
2. Implementación de plataformas tecnológicas para el control, monitoreo y reportabilidad en línea de los signos vitales de los equipos mina y
3. Gestión de la excelencia operacional a través del mejoramiento de las prácticas operacionales.

Estos 3 planes de acción permitieron aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de transporte, lo que se tradujo en una disminución de los tiempos asociados a demoras operacionales y por consiguiente un aumento de las horas efectivas de uso. Además se consiguió mejorar la velocidad de los CAEX y el aumentar el factor de carga, lo que permitió incrementar la productividad de la flota de transporte con la consiguiente reducción del costo de mina.

El propósito final de este estudio apunta a generar una base de conocimiento para replicar estas experiencias en otras operaciones unitarias de la mina incorporando mejoras de las prácticas operacionales y fomentando el uso de nuevos sistemas tecnológicos para aumentar la productividad y ahorro de estos activos.

Se espera que las innovaciones y planes de acción ejecutados en la División Ministro Hales puedan ser replicados a otras faenas de minería a Cielo Abierto.

DEDICATORIA.

A mi mujer Ana Maria, gracias por tu amor, comprensión y apoyo en estos 2 años.

Por sobre todo gracias por estar aún a mi lado.

A mis hijas Antonia y Julieta, gracias por existir.

TABLA DE CONTENIDO.

1.	INTRODUCCIÓN.	1
2.	OBJETIVO.	3
3.	ALCANCE.	3
4.	METODOLOGÍA.....	4
5	DEFINICIONES.....	4
6	CASO BASE.	5
6.1.	ESTADO ACTUAL DE COSTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA MINERÍA DE CIELO ABIERTO.....	5
6.2.	ESTADO ACTUAL EN LA GESIÓN DE FLOTA.....	8
6.3.	DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN <i>LEAN</i>	8
6.3.1.	CAEX.	8
6.3.2.	Sistema de despacho.....	9
6.3.3.	Sistema VIMS.	11
6.4.	ENTRENAMIENTO Y CAPACITACION DE OPERADOR MINA.....	12
7.	DESARROLLO DE <i>LEAN MINING</i> EN FLOTA DE TRANSPORTE CAEX.	13
7.1.	QUE ES <i>LEAN MINING C+</i>	13
7.2.	IMPLEMENTACIÓN.....	17
7.2.1.	Objetivo común	17
7.2.2.	Mejora operacional mantenimiento mina.....	17
7.2.3.	Implementación tablero de control mina.....	19
7.2.4.	Mejora continua.....	21
7.2.5.	Procesos eficientes	22
7.2.6.	Desarrollo de personas	22
8.	RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	23
8.1.	EVALUACION TÉCNICA	23
8.2	EVALUACION ECONÓMICA.....	34
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	38
10.	BIBLIOGRAFÍA.	40
11.	ANEXO.....	41

INDICE DE TABLAS.

Tabla N° 6-1 Tabla comparativa de costos procesos mineros faenas de Codelco	6
Tabla N° 6-2 tabla comparativa distrital gestión CAEX faenas de Codelco.....	7
Tabla N° 8-1 Valorización económica de planes de acción.....	37

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Figura N° 1-1 División Ministro Hales.....	2
Figura N° 6-1 Costo C1 DMH a Octubre 2016.	6
Figura N° 6-2 Tabla de costo mina operaciones unitarias DMH.....	7
Figura N° 6-3 CAEX 797F.	8
Figura N° 6-4 Arquitectura del sistema <i>JIGSAW</i>	10
Figura N° 6-5 Gráfico de Ranking por tipo de evento operacional	12
Figura N° 7-1 Agenda de productividad y costo	13
Figura N° 7-2 Objetivo de <i>Lean Mining C+</i>	14
Figura N° 7-3 Sistemas de gestión <i>Lean mining C+</i>	14
Figura N° 7-4 Plan de implementación táctico C+.....	15
Figura N° 7-5 Principios C+.....	16
Figura N° 7-6 Aseguramiento confiabilidad humana	17
Figura N° 7-7 Diagrama de flujo módulo PM SAP.....	18
Figura N° 7-8 Tablero de control diario de actividades.....	20
Figura N° 7-9 Tabla ASARCO.....	20
Figura N° 7-10 estructura de mensajería en tiempo real para eventos operacionales...	21
Figura N° 7-11 Gráfico de ranking por tipo de evento operacional.....	22
Figura N° 8-1 Gráfico Ranking por cantidad de eventos operacionales.....	23
Figura N° 8-2 Gráfico cantidad de eventos por mala operación.....	24

Figura N° 8-3 formato de registro de capacitación y compromiso para mejorar practica operacional.....	25
Figura N° 8-4 Gráfico evolución disponibilidad flota CAEX	26
Figura N° 8-5 Gráfico Disponibilidad flota CAEX 2016.....	26
Figura N° 8-6 Gráfico evolución confiabilidad flota CAEX	27
Figura N° 8-7 Gráfico Confiabilidad 2016.....	27
Figura N° 8-8 Visión mantenimiento mina DMH.....	28
Figura N° 8-9 Gráfico evolución plan de mantenimiento	29
Figura N° 8-10 Gráfico cumplimiento de plan de mantención flota 797F	29
Figura N° 8-11 Gráfico impacto productivo cambio de ubicación casino mina	30
Figura N° 8-12 Gráfico gestión abastecimiento de combustible CAEX.....	31
Figura N° 8-13 Gráfico gestión cambio turno mina.....	31
Figura N° 8-14 Gráfico utilización efectiva flota CAEX	32
Figura N° 8-15 Gráfico horas efectivas flota CAEX	32
Figura N° 8-16 Gráfico aumento de velocidad flota CAEX	33
Figura N° 8-17 Gráfico aumento factor de carga flota CAEX	33

1. INTRODUCCIÓN.

La División Ministro Hales (en adelante DMH), conocida anteriormente como Mansa Mina, se ubica a 5 kilómetros de Calama. Ver Figura N° 1-1.

El yacimiento procesa minerales de cobre con un alto contenido de arsénico, razón por la cual la planta concentradora de cobre, tiene un proceso adicional de tostación, que procesa los concentrados altos en arsénico, para producir finalmente Calcina con una alta concentración de Cobre y una muy baja concentración de arsénico.

La mina mediante las operaciones unitarias de Perforación, Tronadura, Carguío y Transporte, mueve alrededor de 350.000 toneladas diarias de material, debido a una gran razón de lastre mineral ¹ (5,7:1).

La mina maneja diversos stocks de alto y bajo sulfuro, alta y baja ley, los que apoyan un proceso de acondicionamiento de mineral antes de enviarse a planta.

El mineral es en su primera etapa, triturado en un proceso de chancado primario y luego transportado a través de una correa, la cual alimenta un stock pile.

La planta concentradora, tiene una etapa de molienda, con un molino SAG y dos molinos de bolas.

El proceso de flotación, consta de un proceso de flotación rougher, remolienda y limpiezas, las cuales concentran el mineral de cobre, el cual es espesado y luego filtrado, para ser luego enviado a un domo de acopio de concentrado con alto contenido arsénico.

El tostador de concentrado, a través de un innovador proceso, limpia el concentrado de cobre produciendo Calcina de Cobre. Los gases son luego enfriados y precipitados para producir ácido sulfúrico.

La Calcina es luego transportada en camión a su principal cliente, la Fundación Chuquicamata.

La Calcina de Cobre es un producto relativamente nuevo en el mundo, y gradualmente se está posicionando como un insumo de alta calidad para el proceso de fundición, sobre todo en los países asiáticos.

¹ Por cada tonelada de cobre sacado desde la mina, se requiere mover adicionalmente 5,7 toneladas de mineral lastre.

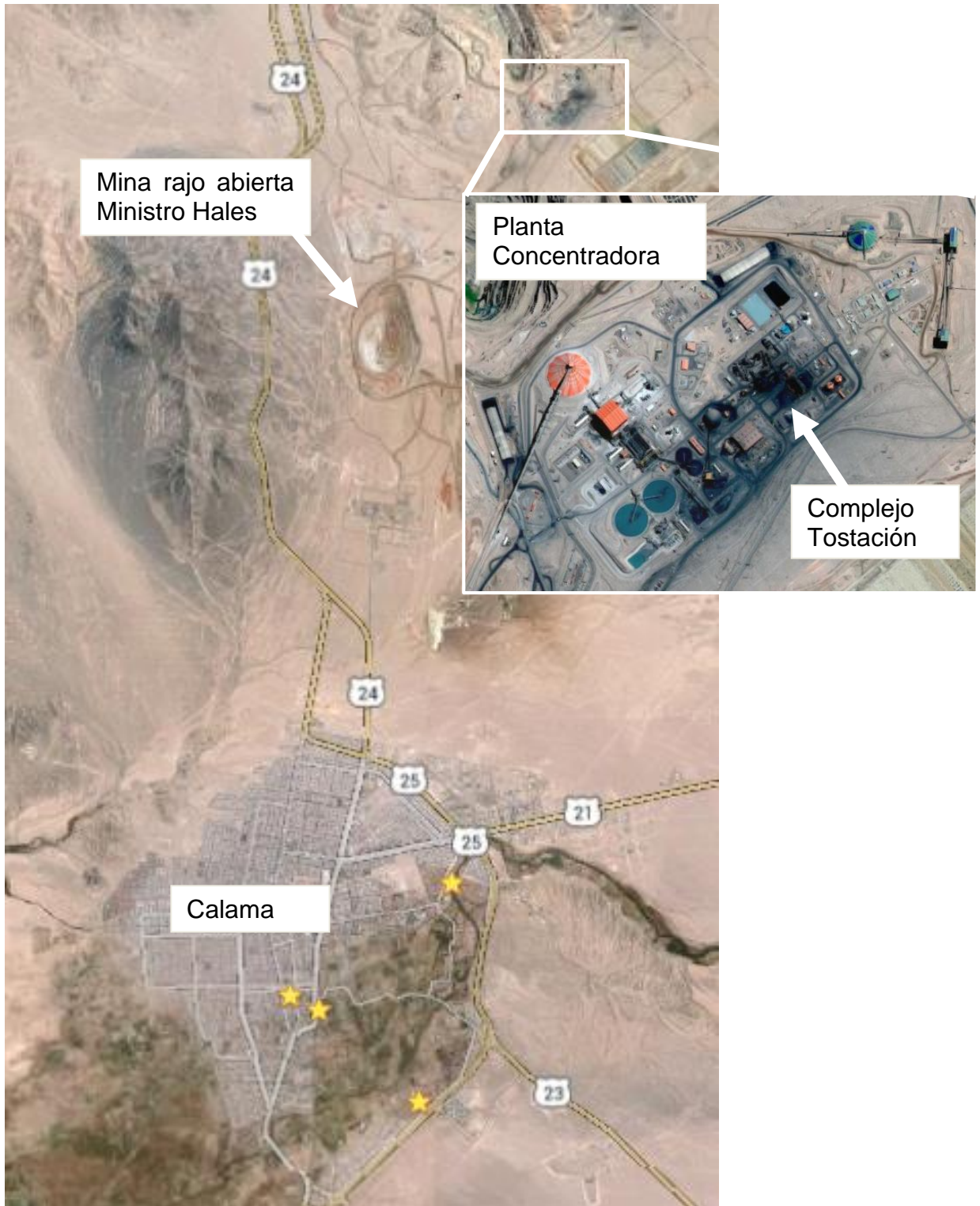


Figura N° 1-1 División Ministro Hales

2. OBJETIVO.

El rajo de DMH es reconocido como uno de los geológicamente más complejos de Chile, tanto por su inestabilidad geotécnica como por la particularidad mineralógica. Son estas las principales condiciones que demanda una operación de excelencia.

Se considera para este estudio como función objetivo aumentar el uso de las horas efectivas² de CAEX a través de planes de acción transversales que comprenden:

- Mejorar la seguridad de la operación
- Aumento de la disponibilidad física de la flota CAEX
- Reducir los gastos asociados a daños de equipos
- Mejorar las prácticas operacionales
- Gestionar los tiempos de demora
- Aplicar herramientas *Lean Management* en la gestión de tiempos de demora
- Establecer los eventos operacionales que impactan en la operación continua de la flota CAEX

3. ALCANCE.

El alcance de esta tesis solo considera el estudio de la flota de camiones CAEX de DMH, sin embargo los planes de acción implementados son transversales para cualquier faena de explotación a cielo abierto.

La aplicación de estos planes debe ser consecuente con los procedimientos de seguridad vigentes y actualizados.

Los datos sobre los cuales este trabajo se sustenta considera el Sistema de Control de producción (en adelante JIGSAW) y los datos de los signos vitales (en adelante VIMS que se obtienen de los equipos CAEX.

² Horas efectivas, son las horas en que el equipo (o la flota de transporte) está operando transportando mineral

4. METODOLOGÍA.

El contexto metodológico de esta tesis corresponde a la intervención del proceso de transporte de mineral utilizando la metodología *Lean Management*. Esta intervención está dirigida a toda la cadena de valor de la flota de transporte de mineral, desde la línea gerencial hasta el operador del equipo CAEX.

La justificación de esta tesis tiene relación con el nuevo programa de *Lean Mining C+* que está impulsando CODELCO en todas sus divisiones, y cuyo foco principal es lograr un cambio cultural en las operaciones mediante la aplicación de una metodología de eliminación de pérdidas / ineficiencias.

La metodología de este trabajo es aplicada directamente en la línea gerencial de la mina, con un concreto enfoque de mejora en la supervisión y en la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas de trabajo.

Este trabajo metodológico es aplicado en toda la flota CAEX (34 equipos nominales) durante un periodo de 2 años.

Se espera que este cambio en la forma de hacer gestión en la flota CAEX signifique un aumento en los indicadores de productividad y costos de la mina.

5. DEFINICIONES.

A continuación se presenta la definición de un listado de conceptos que serán utilizados en esta tesis:

- CAEX camión de extracción de alto tonelaje (360 ton)
- VIMS sistema de signos vitales del CAEX
- ASARCO sistema de codificación para medir la gestión de uso de la flota
- MTBF tiempo medido entre fallas
- MTBR tiempo medio entre reparaciones
- Factor de carga variable del peso de la carga que lleva el CAEX (ton)
- ENCARE consultoría de estrategia y operaciones

6. CASO BASE.

6.1. ESTADO ACTUAL DE COSTO Y PRODUCTIVIDAD EN LA MINERÍA DE CIELO ABIERTO.

La actual situación económica marcada por el fin del súper ciclo minero, nos permitió dimensionar el deterioro de la productividad. Este deterioro se ha venido arrastrando desde el año 2000, situación que estuvo camuflado por el boom del precio del cobre siendo en estos últimos 6 años, más visible su situación en el mercado. Bajo este periodo el mercado se focalizó más en el volumen de producción que en su eficiencia, donde el deterioro de la productividad fue más evidente en la minería chilena.

Los principales factores que afectaron en la productividad son:

- Deterioro de los recursos minerales (menor ley, mayor profundidad, agotamiento)
- Baja en la productividad del capital (menor nivel de innovación, menor uso de activos, instalaciones antiguas, inversión etc.)
- Baja de la productividad laboral (experiencia, capacitación, alta rotación, dotaciones sobredimensionadas, etc.)

Producto de lo anterior, los costos fueron los que sufrieron las consecuencias aumentando:

- Los costos de operación (costo mina, costo operaciones unitarias)
- Costos de inversión
- Remuneraciones

A esto se debe agregar el aumento en los costos de la energía eléctrica y la escasez en los recursos hídricos.

Para el caso de Codelco, y en particular sus diferentes divisiones, han sido impactadas en sus cumplimientos de producción.

Divisiones como Chuquicamata, Radomiro Tomic, Gabriela Mistral, ministro Hales y Andina, han tenido que implementar fuertes programas de reducción de costo para enfrentar actualmente la baja en el precio del cobre acompañado por la baja productividad.

A continuación se presenta el estado actual en cuanto a costo e indicadores de rendimiento que actualmente tienen las principales divisiones de Codelco³. Para este bench se muestran en las tablas 6-1 y 6-2 que muestran los costos de algunas divisiones de Codelco en cuanto a sus procesos e indicadores de gestión de flota CAEX. Además las figuras

³ Este bench solo considera las divisiones con minería a Cielo Abierto.

Etapa	Unidad	Radomiro Tomic	Chuquicamata	Ministro Hales	Gabriela Mistral	Mejor costo ENCARE	Mundo sin Codelco
Mina rajo	US\$/tms	2,2	3,3	2,2	1,9	1,4	2,2
Concentradora	US\$/tms		7,9	10,8		5,3	8,5
Hidrometalurgia	C\$/lb	69	106,1	176,4	120,3	64	95,4
Fundición	US\$/tconc		254			144,2	172
Refinería	C\$/lb cu		13,2			9,3	9,3

Tabla 6-1 Tabla comparativa de costos procesos mineros faenas de Codelco

Para el caso de DMH, los costos durante el 2016 han estado bajo lo planificado, esto se ha debido particularmente al menor gasto de operación, mayor producción de mineral, menor gasto de insumos, menor gasto en depreciación y amortización entre otros. La figura 6-1 y 6-2 muestra los costos de operación de DMH.

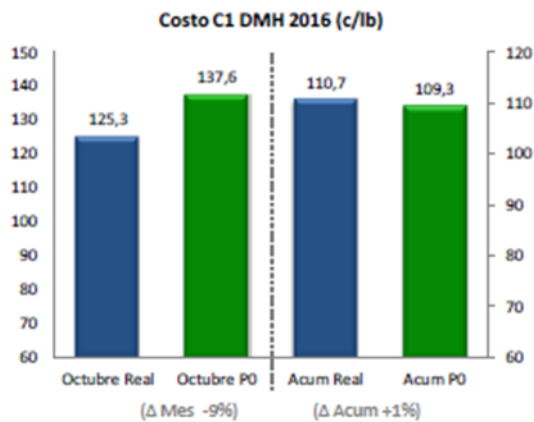


Figura 6-1 Costo C1 DMH a octubre 2016

Gerencia Mina	2016 Septiembre					2016 Acumulado a Septiembre				
	Real	Ppto		Desv		Real	Ppto		Desv	
Costo Unitario Perforación	0,10	0,13	●	-0,03	-25%	0,10	0,13	●	-0,03	-22%
Costo Unitario Tronadura	0,14	0,12	●	0,02	18%	0,12	0,13	●	-0,01	-5%
Costo Unitario Carguío	0,40	0,42	●	-0,02	-4%	0,39	0,42	●	-0,03	-6%
Costo Unitario Transporte	0,89	0,90	●	-0,01	-2%	0,85	0,88	●	-0,03	-4%
Costo Unitario Equipos de Apoyo	0,18	0,24	●	-0,05	-22%	0,18	0,25	●	-0,07	-29%
Costo Unitario Chancado Primario	0,06	0,11	●	-0,06	-52%	0,08	0,11	●	-0,03	-28%
Costo Unitario Adm.Mina	0,15	0,12	●	0,03	26%	0,13	0,11	●	0,02	15%

Figura 6-2 Tabla de costo mina operaciones unitarias DMH (US\$/ton)

De igual forma este estudio muestra como caso base los principales indicadores de gestión de las flota de transporte de las divisiones que componen el distrito norte. Tabla 6-2 muestra esta comparación.

INDICADOR		DMH	G. MISTRAL	RADOMIRO TOMIC	CHUQUICAMATA
N° equipos	N	34	14	88	95
Disponibilidad física⁴	%	83	84	79	73
Utilización efectiva⁵	%	78	75	76	71
Horas efectivas	hr	15,5	15	14,4	12,4

Tabla 6-2 Tabla comparativa distrital gestión CAEX faenas de Codelco

⁴ Disponibilidad física se refiere al porcentaje de equipos de la flota que están en condiciones de ser operado

⁵ Utilización efectiva corresponde al porcentaje de uso que se le da a la flota de los equipos que están disponibles.

6.2. ESTADO ACTUAL EN LA GESTIÓN DE FLOTA.

Antes de la aplicación de la metodología *Lean* en el proceso de transporte de mineral, la gestión de flota era principalmente desintegrada. El mantenimiento de los CAEX era una actividad completamente independiente de la operación y el entrenamiento de operadores. Esta estructura de silos generaba una serie de defectos e ineficiencias las cuales se indican a continuación:

- **Fallas crónicas de los equipos CAEX:** Las fallas de los equipos eran gestionadas de manera reactiva y no había un foco en la eliminación del defecto/causa.
- **Entrenamiento de operadores:** Los operadores recibían entrenamiento sin un foco en cuanto al seguimiento de fallas operacionales. Además no existía por parte de mantención, entrega de información inmediata asociada a la mala práctica operacional.
- **Ineficiencias del MARC:** asociadas fundamentalmente a conceptos y cumplimientos del servicio entre los que destacan, eficiencia de la reparación es la medida de desempeño para mantención, no hay tiempo para la mantención planificada, se busca extender la vida del activo y evitar que falle

6.3 DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN *LEAN* *MANAGEMENT*.

6.3.1. CAEX

La flota de CAEX de DMH son de la familia Caterpillar 797F capaces de transportar 360 toneladas métricas de material. La Figura 6-3 muestra un CAEX de DMH



Figura 6-3 CAEX 797F

6.3.2. Sistema de despacho

Los sistemas de despacho son herramientas de *software*, las cuales permiten resolver el problema de cuál es el “mejor” destino al cual debe ser asignado un camión. Esto se resuelve desplegándola mejor configuración propuesta por la programación lineal.

Dentro de la definición de “mejor” destino, existen varios objetivos que pueden ser perseguidos por dicha asignación, ya sea que este enfocado hacia la maximización de la producción, utilización efectiva de equipos o reducción de tiempos de demora o pérdida operacional.

El sistema de gestión de flotas o sistema de despacho para minas a cielo abierto permite a los emprendimientos más importantes del mundo maximizar su producción y su eficiencia, al tiempo de aumentar la seguridad y el control. Aprovechando el hardware y el software de comunicaciones líderes del mercado, junto con las mejores prácticas de negocios, el sistema DISPATCH proporciona optimización de flota probada en el campo mismo de la industria minera.

Las funciones avanzadas incluyen posicionamiento del equipo por GPS de alta y baja precisión, monitoreo del estado del equipamiento, monitoreo del mantenimiento, gestión de mezclas y obtención de informes de producción. Con más de 30 años de reconocimiento de su algoritmo de optimización y más de 200 instalaciones en todo el mundo, el sistema DISPATCH es considerado como el estándar de la industria para sistemas de gestión de flotas.

Actualmente los sistemas de despacho presentan muchos avances importantes, incluyendo una interfaz de usuario mejorada, navegación giro a giro, herramienta avanzada de gestión de cubiertas y un motor nuevo de informes corporativos.

Para el caso de DMH, el sistema de despacho de los camiones es provisto por la empresa JIGSAW. Este sistema permita priorizar el despacho de camiones a los puntos de carguío determinados según los requerimientos del plan de movimiento de mineral, conjugando restricciones de borde como lo son distancias, tiempos de recorrido, y capacidad de transporte.

Cada CAEX cuenta con un sistema a bordo que captura la información de posición y velocidad. Estos datos son utilizados por el Sistema de Despacho el cual calcula el origen y destino más costo-efectivo para cumplir con los requerimientos de movimiento de mineral impuestos por el plan.

La información por generada por el sistema de despacho es principalmente usada para generar reportes del desempeño operacional de la flota, de forma agregada y ejecutiva. Se adjunta en figura 6-4 la arquitectura del sistema JIGSAW para la operación de DMH.



Figura 6-4 Arquitectura del sistema JIGSAW

Los sistemas de despacho poseen múltiples beneficios tanto tangible como intangibles de los cuales se destacan:

Beneficios tangibles

- Incrementa productividad flota de Carguío y Transporte
- Reducir el requerimiento de tamaño de flota asociado a este aumento de productividad
- Minimizar el sobre manejo de ciertos equipos
- Mezclar distintas restricciones simultáneamente
- Asegurar la velocidad de alimentación a planta

Beneficios intangibles

- Pronosticar el rendimiento comparativo entre distintos tipos de equipos de Carguío y Transporte
- Generación de reportes en línea.

6.3.3. Sistema VIMS

El Sistema de Administración de Información Vital (VIMS), es una poderosa herramienta para la administración de la máquina que proporciona a los operadores, al personal de servicio y a los gerentes información en una amplia gama de funciones vitales de la máquina. Se integran diversos sensores en el diseño del vehículo. Si VIMS detecta una condición inminente o anormal en cualquier sistema de la máquina, alertará al operador y le aconsejará tomar una medida adecuada, ya sea modificar la operación de la máquina, notificar a la tienda de que se necesita mantenimiento o realizar una parada segura de la máquina. Esto mejora la disponibilidad, la vida útil de los componentes y la producción, al mismo tiempo que se reduce el costo de reparación y el riesgo de fallas catastróficas.

Para el caso del CAEX de DMH, el Sistema Monitor VIMS de tercera generación proporciona datos fundamentales del estado y la carga útil en tiempo real para mantener al 797F operando dentro de sus niveles máximos de producción. Los datos provenientes del VIMS se pueden usar para disminuir los costos de operación, mejorando la eficacia de los programas de mantenimiento programado que mejoran la disponibilidad de la máquina y la eficacia de los programas de mantenimiento programado. Los sensores que se encuentran en la máquina permiten al VIMS intercambiar y supervisar rápidamente la información de todos los sistemas. Los usuarios pueden ver hasta 10 parámetros diferentes de la máquina al mismo tiempo. Los técnicos de servicio pueden descargar datos rápidamente conectándose directamente al sistema o a través de su dirección Web propia y generar informes en la oficina, el taller o la cabina.

En los camiones mineros y los cargadores de ruedas grandes de Caterpillar, VIMS también incluye la información de producción y rendimiento. Registra los diversos elementos del ciclo del camión: el tiempo de carga, el desplazamiento con carga, el tiempo de descarga y el desplazamiento vacío, junto con los tiempos de retraso. Toda esta información se usa para crear informes y gráficos de utilidad. Estos informes producen un análisis inteligente y una mejor toma de decisiones para lograr una operación más eficiente, lo que reduce el costo por tonelada.

Para el caso de DMH, todos los eventos mecánicos y eléctricos del equipo son centralizados en este sistema de gestión de datos.

Dentro de la información capturada por el VIMS están:

- Alertas de temperatura
- Alertas de vibración
- Alertas eléctricas
- Alertas mecánicas por utilización de marcha incorrecta

La información generada por el VIMS se utilizaba de forma agregada con el único propósito de gestionar el diagnóstico de equipos durante una falla.

Al inicio de este trabajo, se realizó un levantamiento a partir de los datos generados por el VIMS detectando las principales fallas de los equipos asociada a mala práctica operacional de CAEX, los que se indican a continuación:

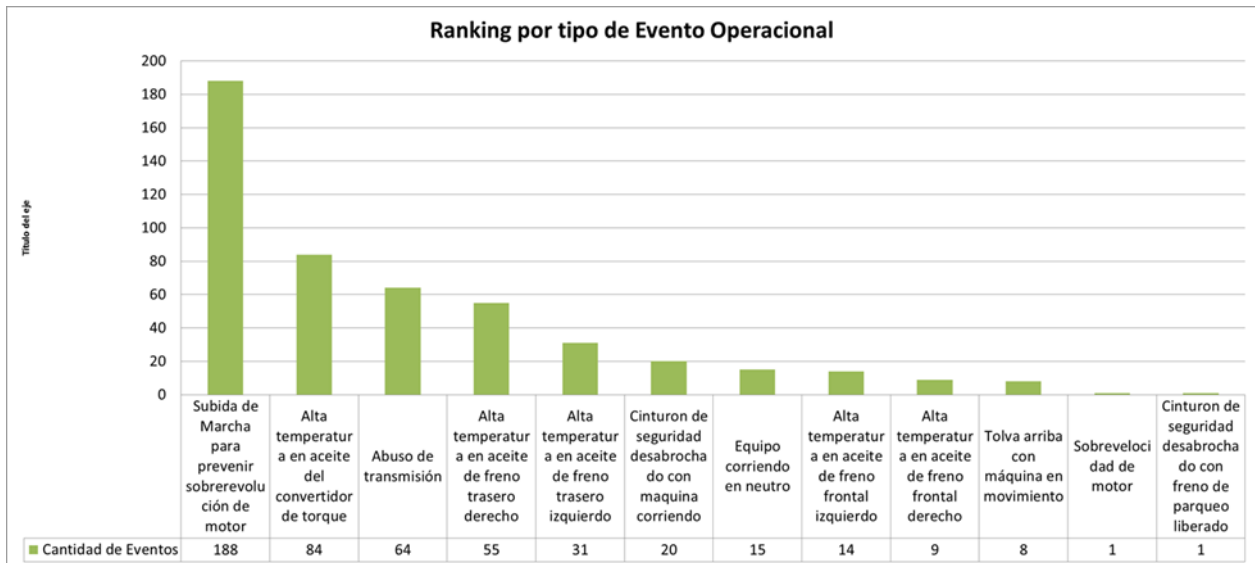


Figura 6-5 Grafico de Ranking por tipo de evento operacional

6.4. ENTRENAMIENTO Y CAPACITACION DE OPERADORES MINA.

Los operadores CAEX tienen un programa de capacitación y entrenamiento cuyo objetivo es entregar las herramientas tanto teóricas como prácticas para alcanzar un desempeño de excelencia en la operación de estos equipos.

Su programa si bien su foco está en evitar que realice una mala operación, el programa de entrenamiento no estaba orientado en cubrir brechas técnicas y de operación por cada operador, esto en función a que no se contaba con una información en línea que entregara datos a cerca del operador, el equipo que está operando y la falla asociada a su conducción.

7. DESARROLLO DE LEAN MINING EN FLOTA DE TRANSPORTE CAEX.

7.1. QUÉ ES LEAN MINING C+

Codelco en el contexto de generar un quiebre en la tendencia de evitar el aumento de los costos, la disminución en la productividad en las diferentes divisiones de la corporación, además de reforzar la seguridad y el trabajo colaborativo con las distintas empresas colaboradoras, es que estructuró un plan de productividad y costo del cual se establecieron 8 ejes estratégicos con sus proyectos específicos para lograr al 2020 entrar al primer cuartil de productividad y costo de la industria minera.

El primer eje estratégico definido por la Corporación es la excelencia operacional de sus distintos procesos y divisiones, apalancado por una transformación cultural apoyada con la implementación de la filosofía *Lean Management*. Ver figura 7-1.



Figura 7-1 Agenda de productividad y costo

Lean mining C+ es el primer eje estratégico que CODELCO ha definido para la agenda de productividad 2020. DMH es una de las divisiones que actualmente está siendo intervenida con esta metodología de gestión.

En términos generales C+ tiene como objetivo aumentar el valor agregado de las actividades productivas mediante la disminución de tiempo improductivo (Incidentes, desperdicios). Esto se logra implementando un sistema de gestión el cual consiste en 4 subsistemas los cuales se implementan a todo nivel. Ver figuras 7-2 y 7-3.

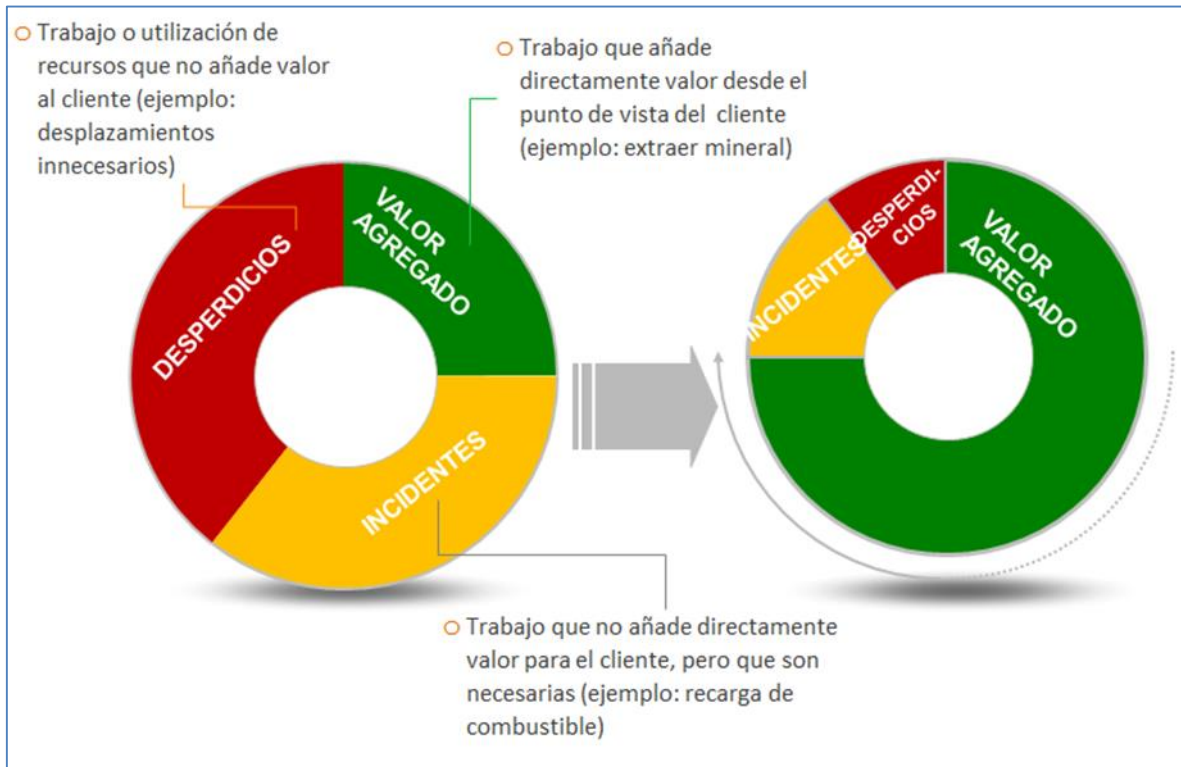


Figura 7-2 Objetivo de Lean Mining C+

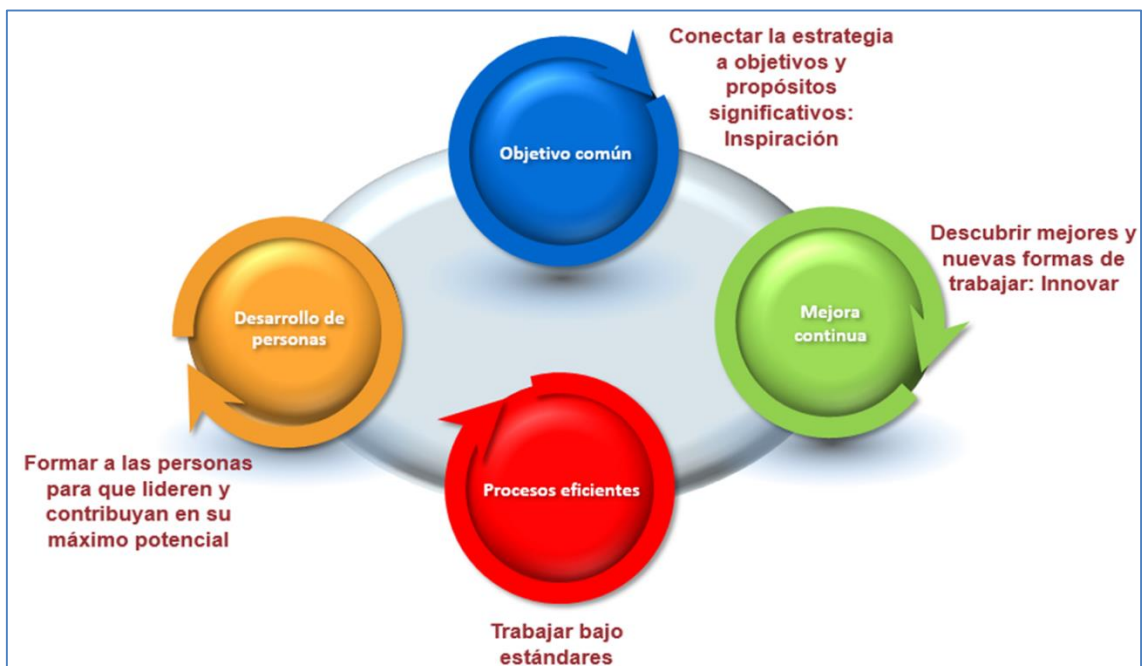


Figura 7-3 Sistemas de Gestión Lean Mining C+

Si bien cada uno de estos subsistemas requiere a su vez el desarrollo de diversas actividades internas, en esta tesis solo se analizan los aspectos más relevantes durante la implementación, indicados en el diagrama como rectángulos amarillos.

- Objetivo Común:
 - Aspiración: Se define cual es la aspiración de la gerencia.
 - Indicadores y Metas: Se define y se visibiliza para todas las partes interesadas, las metas e indicadores de desempeño
- Mejora Continua:
 - Resolución de Problemas: Se visibilizan los problemas y se implementan instancias para la identificación de los factores determinantes para su eliminación.
- Procesos Eficientes:
 - Estándares: A medida que los procesos se hacen más eficientes, se construyen estándares los cuales son difundidos en la organización.

Gestión de Capacidad: Permanentemente se monitorea la capacidad del proceso de transporte para cumplir con los compromisos, traspasando esta información a los otros procesos unitarios para mejorar su planificación.

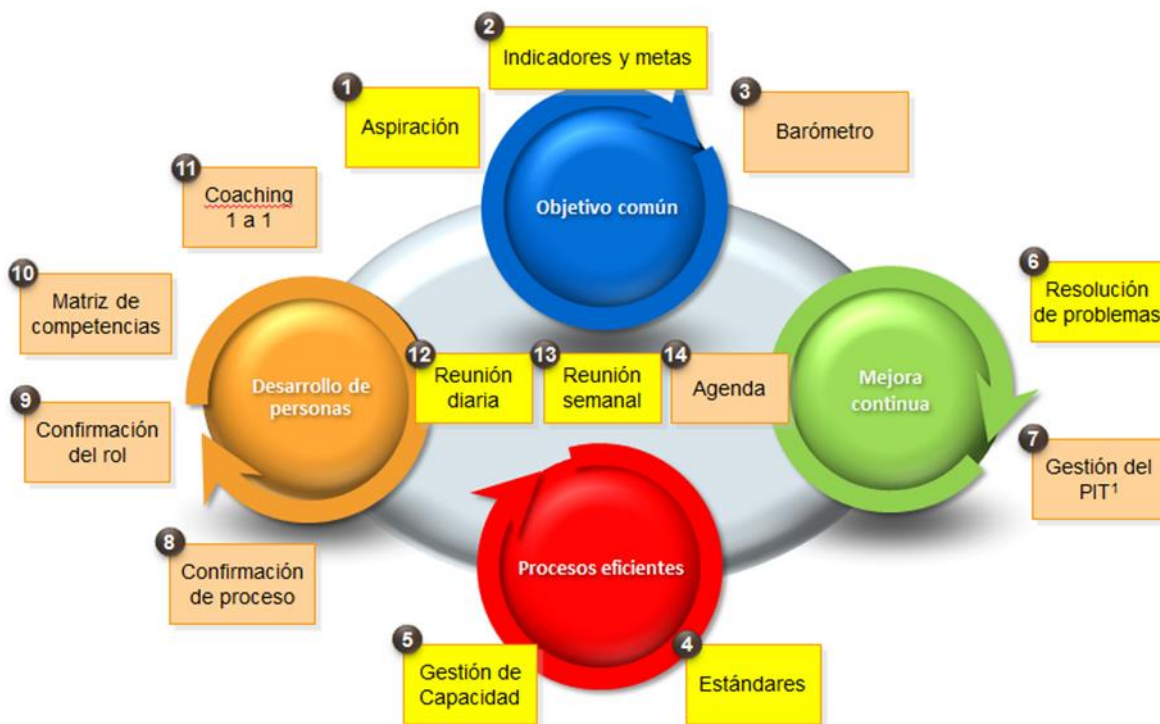


Figura 7-4 Plan de implementación táctico C+

Los principios de *Lean Mining C+* definidos para Codelco son 10 los cuales están inserto de cada subsistema, los cuales se presentan en figura 7-5.

Principios	
	1 Dar y exigir respeto, asumiendo derechos y deberes
	2 Liderar con apertura y capacidad de escucha
	3 Perseguir y alcanzar objetivos con perseverancia, energía y sentido de urgencia
	4 Pensar en el resultado global, evitando los silos
	5 Crear valor para todos los chilenos y chilenas
	6 Foco en el análisis del proceso
	7 Fomentar la plena capacidad y flujo continuo de la cadena de valor
	8 Todos hacemos el trabajo bien a la primera
	9 Buscar continuamente mayores desafíos
	10 Ocupar toda nuestra capacidad para el análisis

Figura 7-5 Principios C+

Para División Ministro Hales, la implementación de *Lean Mining C+* comenzó en Agosto del 2016. Su proceso consta en varias etapas las cuales vienen definidas como olas, siendo:

- La primera en complejo de tostación
- La segunda ola posteriormente se hará en el área de concentradora
- Terminando la tercera ola en el área mina.

En cada área, se abarcará las etapas de operación y mantenimiento. Se desataca dentro de sus sub procesos los **DdD** o diálogos de desempeño y los **RdP** o resolución de problemas. Estas rutinas comprenden el análisis de causalidad y planes de acción ante eventos generados y que afecten la productividad del proceso.

7.2. IMPLEMENTACIÓN.

7.2.1. Objetivo Común

Se reconoce que las áreas de mantenimiento operacional y capacitación son áreas que no pueden estar separadas, razón por la cual se crea un concepto integrado de operación de excelencia, la cual se ilustra en la siguiente figura.



Figura 7-6 Aseguramiento confiabilidad humana

7.2.2. Mejora operacional mantenimiento mina

La Superintendencia de Mantenimiento, dependiente de la Gerencia Mina, funciona bajo la modalidad de externalización de servicios de mantenimiento de equipos para lo cual Codelco DMH encomienda a la Empresa colaboradora, quien acepta, la prestación de los servicios y/o la ejecución de los trabajos principalmente bajo Servicios Integrales de Mantenimiento (MARC), los Servicios deben incluir la dotación necesaria (directa, indirecta y subcontratistas) para realizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, tanto a los equipos como a sus componentes. Esta modalidad considera además tarifas horarias garantizadas por repuestos y componentes menores y componentes mayores del equipo.

La gestión de mantenimiento ha sido orientada de acuerdo a:

- Organización, planeamiento, logística y gestión del mantenimiento de los equipos, de acuerdo la disponibilidad requerida

- Competencia de la mano de obra, lo cual significa contar con una dotación que responda técnica y administrativamente a los requerimiento de los equipos, a fin de cumplir con los objetivos del área.
- Logística de respuesta frente a fallos de equipos, entrada y salida de equipos por mantenimiento y que apunten a cumplir la disponibilidad requerida para el cumplimiento de las metas productivas.
- Incorporación de nuevas tecnologías, optimización y rediseño de equipos que apunten a lograr una mayor eficiencia y rendimiento de los equipos, junto con eficiencias operacionales, menor costo, minimización riesgo de accidentes y/o impacto medio ambiente, e incorporación de las mejores prácticas de la industria y aseguramiento y mejora de los estándares de calidad.

De lo anterior fueron definidas las principales actividades en cuanto a Ingeniería y ejecución del mantenimiento:

- **Inspección técnica y monitoreo de condiciones:** evaluar y diagnosticar en forma permanente y con certeza, las condiciones estructurales, análisis de aceite, análisis de vibraciones, termografías, condiciones eléctricas y mecánicas de los equipos.
- **Análisis de confiabilidad:** evaluar mensualmente las probabilidades de que los equipos presenten fallas, en virtud de las acciones programadas y correctivas realizadas
- **Administración del mantenimiento módulo PM SAP:** herramienta de gestión de mantenimiento de acuerdo a la estructura que se detalla en figura 7-7.

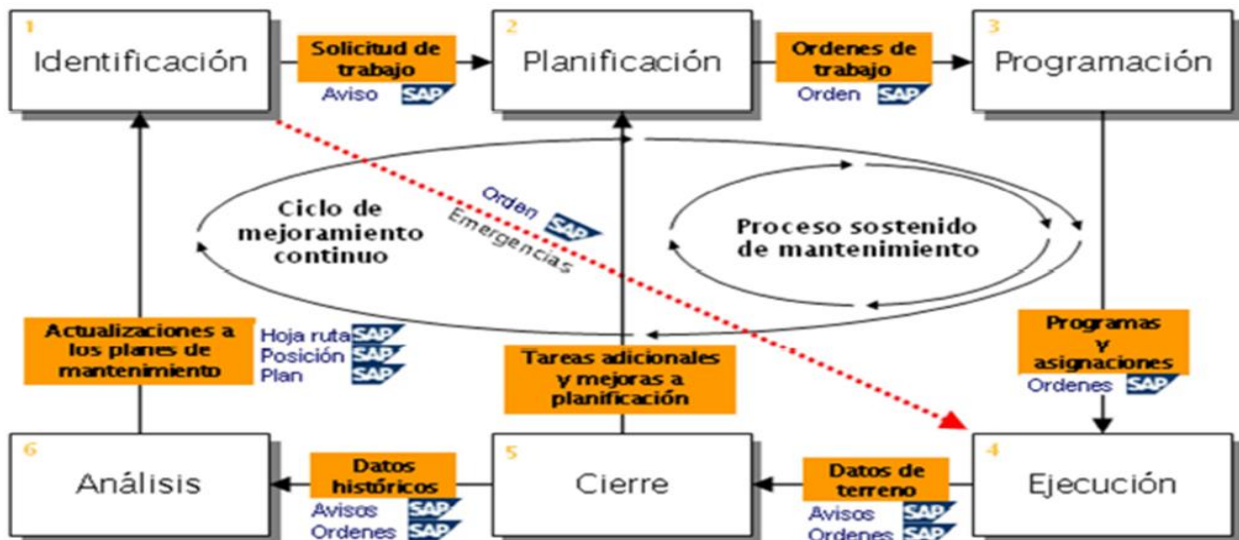


Figura 7-7 Diagrama de flujo módulo PM SAP

- **Planificación y programación:** “que se requiere hacer y con qué recursos”
- **Mantenimiento preventiva / predictiva:** realización de todas las actividades generadas en la etapa de planificación y programación. Además las que derivan de tendencias predictivas, bajo condiciones sintomáticas, las que resulten del control prioritario del *backlog*, las recomendadas por los fabricantes en los boletines de servicio y las que resulten en las medidas correctivas en los análisis de fallas o incidentes.
- **Mantenimiento correctiva:** se entenderán todos los trabajos de mantenimiento o reparación no incluidos en planes preventivos
- **Reparaciones mayores:** se entenderán todas las actividades de cambio de componentes y partes principales ya sea por condición, término de vida útil o falla anticipada.
- **Análisis de falla:** corresponde al análisis de todos los problemas o fallas que afecten la normal función del equipo, de manera de implementar medidas y actividades preventivas que eviten su repetición.

7.2.3. Implementación tableros de control mina

La necesidad operacional de ir viendo en línea el comportamiento de los indicadores de gestión más relevantes, llevó a la generación de tableros de control, los cuales muestran el comportamiento en línea de los indicadores su porcentaje de cumplimiento y las métricas de logro. Estos tableros fueron instalados en sectores disponibles para toda la supervisión de primera línea. Además se incorporaron plataformas en las instalaciones de los operadores de tal forma de empujar hacia la información y motivación de los propios operadores de mina. Se muestra en figura 7-8 tablero de control tipo.

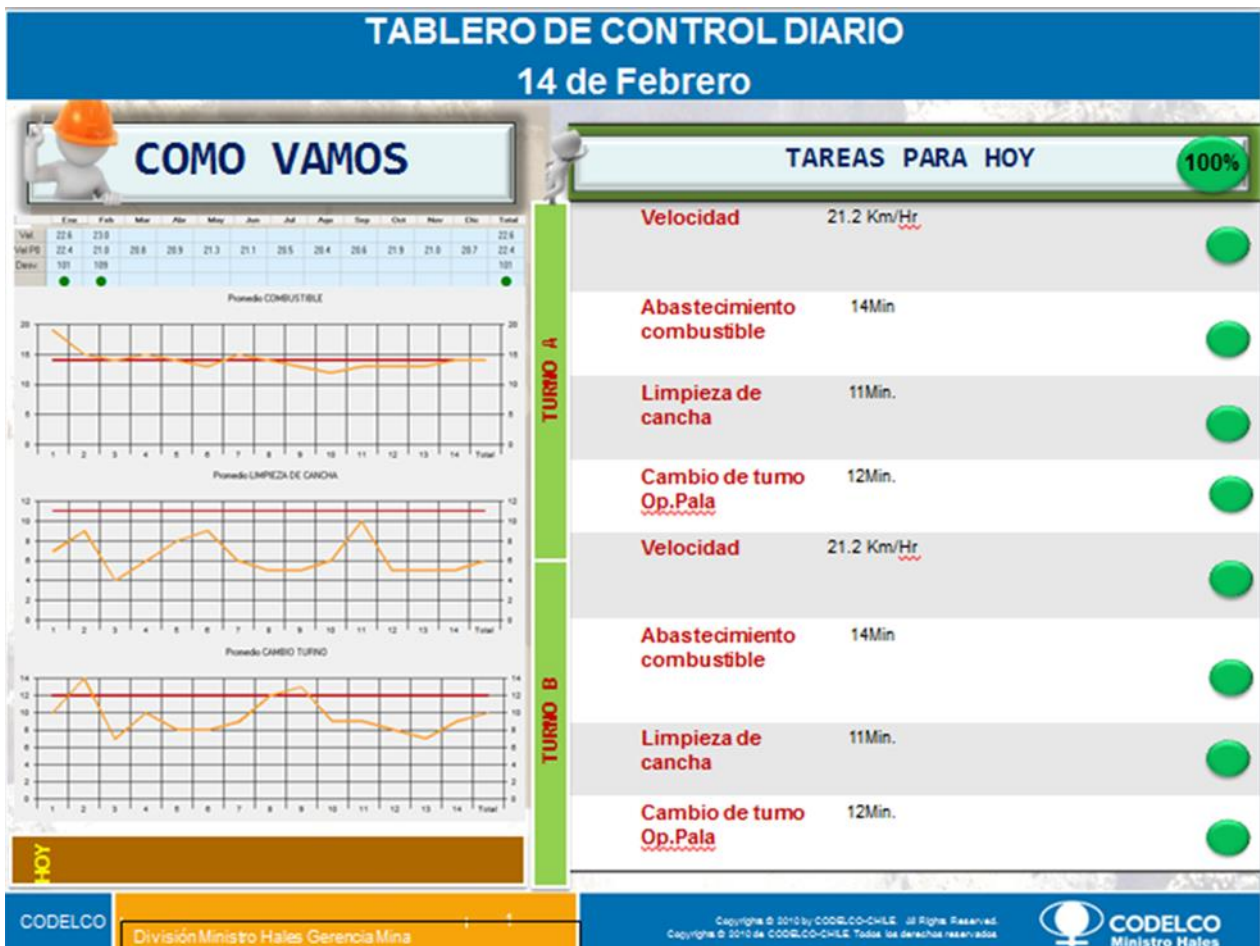


Figura 7-8 Tablero de control diario de indicadores

Si bien el tablero anterior es una representación de los indicadores que más relevancia tienen a nivel operativo, se implementó un completo sistema de gestión de tiempos en base a la definición ASARCO, el cual se presenta a continuación:

Nominales			
Horas Disponibles			Fuera de Servicio
			Programado
Horas Operativas			Reservas
Horas Efectivas	Pérdidas Operacionales	Demoras	
		Programada	No Programada

Figura 7-9 Tabla ASARCO

7.2.4. Mejora Continua

La incorporación de plataformas tecnológicas asociadas a la detección en línea de eventos operacionales en la flota de CAEX, genera un plan de acción frente a fallas repetitivas, de esta manera se detectan focos crónicos de indisponibilidad y detección de fallas asociadas a la mala operación del equipo. Esta implementación permite mejorar el control en terreno y la calidad del diagnóstico frente a un evento determinado. En la figura 7-10 se muestra la estructura tipo de mensajería en tiempo real para eventos operacionales

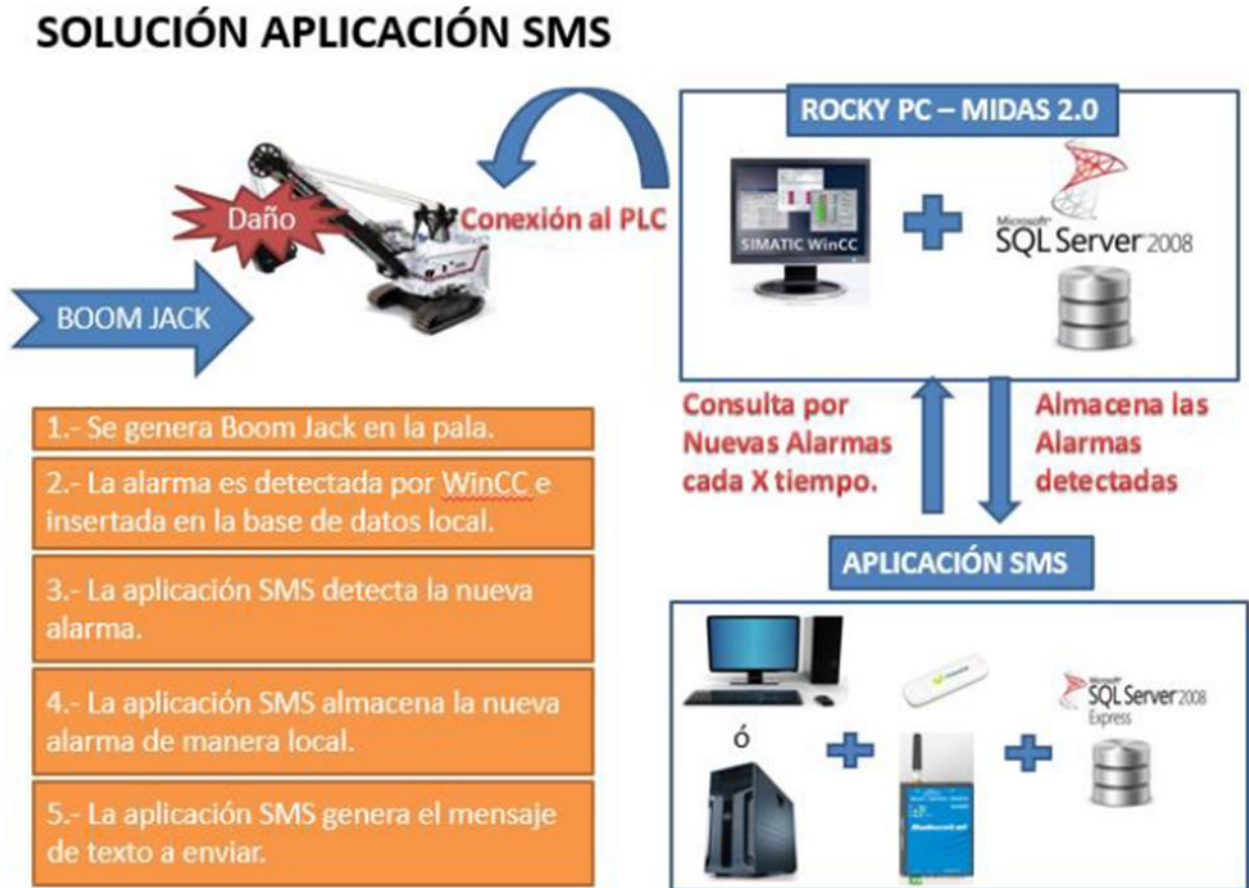


Figura 7-10 Estructura de mensajería en tiempo real para eventos operacionales

7.2.5. Procesos Eficientes

La incorporación de la metodología *Lean Mining* a la operación unitaria de transporte, permitió gestionar y optimizar demoras operacionales que afectaban el aprovechamiento de los CAEX en cuanto a su uso efectivo. De lo anterior las siguientes demoras detectadas en la operación fueron gestionadas y optimizadas con esta metodología:

- Limpieza de cancha
- Abastecimiento de combustible
- Cambio de turno
- Control de velocidades

7.2.6. Desarrollo de personas

Paralelamente se implementaron indicadores de desempeño enfocados no a toda la flota CAEX, sino con un foco en el operador, como el ente más importante en toda la cadena de valor. Este enfoque permitió relacionar las fallas en los equipos CAEX con el operador, y generar con esto antecedentes para el área de capacitación para implementar campañas de entrenamiento más dedicado y enfocado en el operador.

Este trabajo requirió integrar información del sistema VIMS con el sistema SAP y el sistema de despacho. Uno de los reportes más importantes es el que se muestra a continuación (figura 7-11), donde se puede identificar la cantidad de fallas por operador.

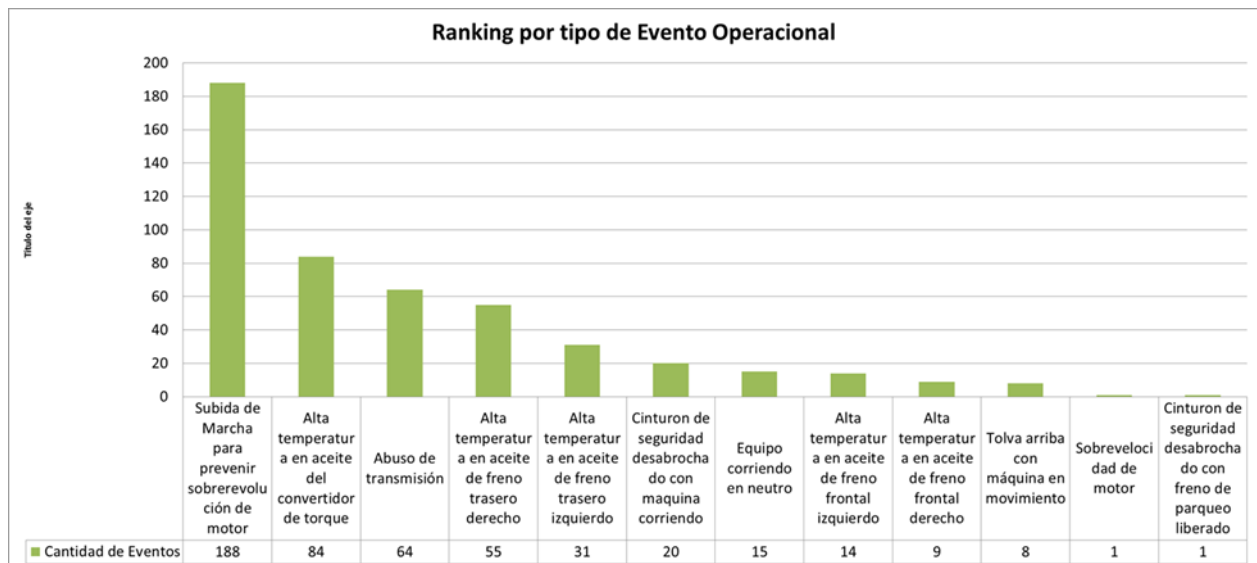


Figura 7-11 Grafico de Ranking por tipo de evento operacional

Cada operador ahora podía ser identificado y entrenado apropiadamente, lo que significó un cambio fundamental en el mejoramiento de la gestión de flota.

8. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN.

8.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

Se establece una reducción de los eventos operacionales de un promedio de 14 eventos diarios a 4 eventos día. Esto considerando solo la flota de CAEX operativos durante el periodo (30 Caex). Se adjunta grafica generada por el área de mantención mina durante los periodos Mayo – Junio 2016 como lo muestra el grafico 8-1

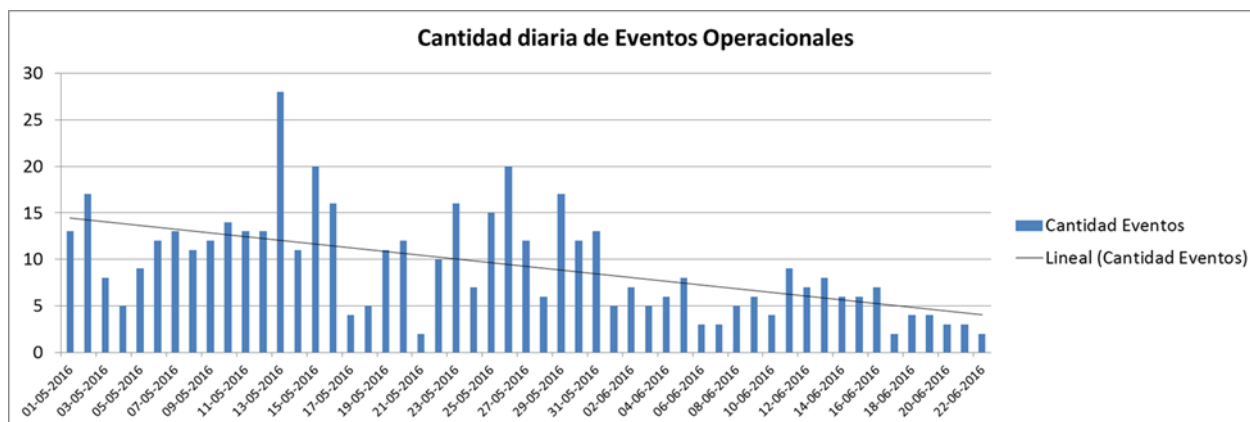


Figura 8-1 Grafico Ranking cantidad de eventos operacionales

El gráfico adjunto muestra claramente como la gestión focalizada a los abusos o malas prácticas operacionales impactan directamente con el aumento en la disponibilidad de la flota de CAEX. El rol del instructor mina por turno es relevante en una operación minera en donde la operación humana siempre tiende a cometer errores y repertirlos posteriormente en el tiempo.

De las mecánicas generadas por la mala práctica operacional, el área de mantención definió las fallas mecánicas más recurrentes en la operación, definiéndose las 4 principales:

- Sobre velocidad de motor (mala programación de marcha)
- Abuso de sobre carga (mala operación del operador de pala al llenar tolva de Caex)
- Alta temperatura a salida del convertidor (forzar el motor en pendiente fuerte o por estar sobre cargado)
- Abuso de transmisión (mala operación de las rpm del motor)

De lo anterior, los planes de acción de capacitación muestran la tendencia de Enero julio de 2016 en la cual las mecánicas antes descritas bajan considerablemente en cuanto a la cantidad de eventos como lo refleja la figura 8-2

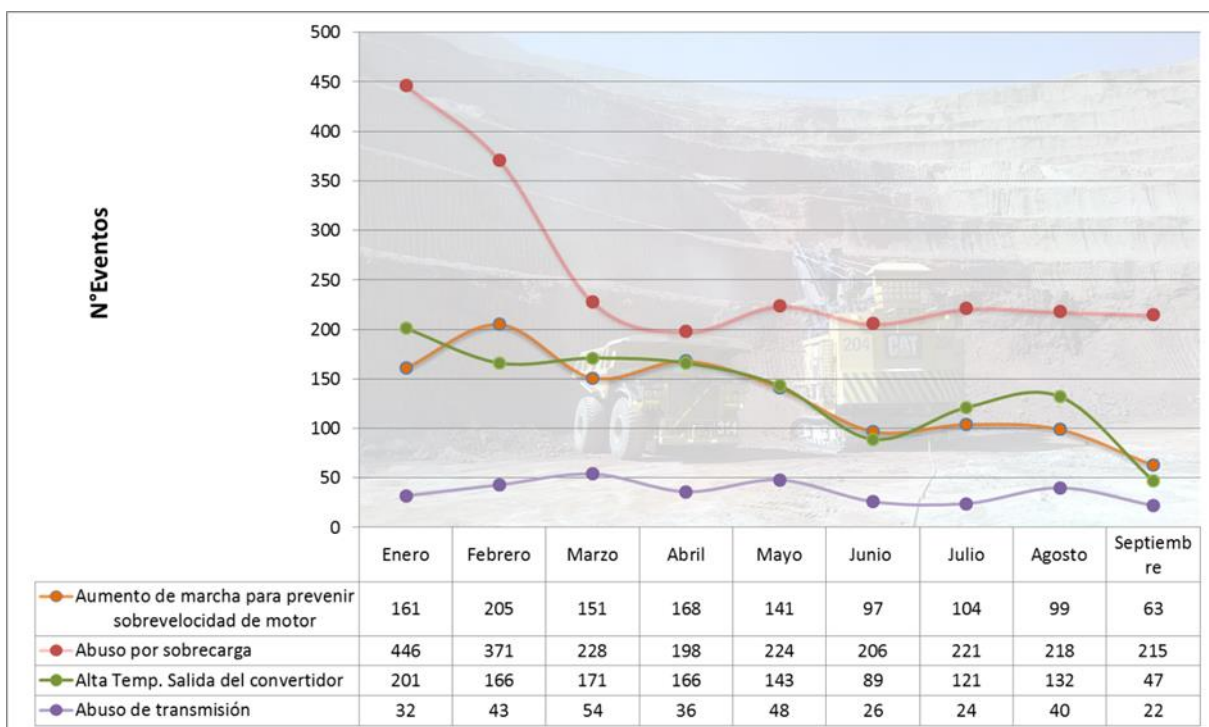



Figura 8-2 Grafico cantidad de eventos por mala operación

La grafica muestra cómo ha impactado el hecho de tener focalizado cuales han sido los eventos operacionales más recurrentes, y la capacidad de gestión que se ha desarrollado para disminuir esta cantidad de eventos. Importante destacar que el área de instrucción y capacitación mina muestra estos datos estadísticos a los turnos, lo que genera impacto positivo ya que el operador se motiva al ver como su gestión operacional es reconocida por la jefatura directa. De igual forma al área de mantención a partir de los resultados va reforzando la detección de eventos operacionales y su posterior control y monitoreo.

Se adjunta como información anexa y complementaria el formato que actualmente utiliza el Depto. de capacitación de Gerencia Mina, en la cual se deja evidenciada la capacitación realizada al operador en donde asume y reconoce su error operacional además de establecer además su compromiso a mejorar su operación en el equipo. Ver figura 8-3.

N°	NOMBRE	IDENTIFICACION	EMPRESA	FECHA	NOMBRE	RUT/N° SAP	EMPRESA	FECHA
1	ELIAS COCIO	69989	CONDICION					
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

TEMAS TRATADOS			
1	High Torque Converter Oil Temperature[VIMS3GE.Event.155.0]	Alta Temperatura aceite Convertidor de Torque	
2	Low Steering Pump Pressure[VIMS3GE.Event.542.0]	Baja presión Bomba de Dirección	
3	Machine Overloaded[VIMS3GE.Event.237.0]	Sobrecarga	
4	Payload Overload Limit Exceeded[VIMS3GE.Event.2126.0]	Límite excedido sobrecarga (Abuso de Sobrecarga)	
5	Machine Upshift to Prevent Engine Overspeed[VIMS3GE.Event.108.0]	Sobre Velocidad de Motor	
6	Transmission Abuse Warning[VIMS3GE.Event.47.0]	Precaución Abuso de Transmisión	
7	High Left Rear Brake Oil Temperature[VIMS3GE.Event.88.0]	Temperatura alta Aceite de Freno Trasero izquierdo	
8	High Left Front Brake Oil Temperature[VIMS3GE.Event.86.0]	Temperatura alta Aceite de Freno Delantero izquierdo	
9	High Right Rear Brake Oil Temperature[VIMS3GE.Event.89.0]	Temperatura alta Aceite de Freno Trasero Derecho	

ACUERDOS TOMADOS			
ACCION A DESARROLLAR			
FALLAS DETECTADAS EN MI OPERACION: 4-5			
 SERGIO ALVAREZ BARBOZA INSTRUCTOR MINA OPERACIONES MINA DIVISION MINISTERIO HALLS			FECHA


COMPROMISO	
YO ELIAS COCIO ZULETA RUT 159828972 ME COMPROMETO A MEJORAR MIS PRACTICAS OPERACIONES (CODIGOS 2126, 108) E RECIBIR LA INSTRUCCION NECESARIA PARA SUPRIMIR MIS MALAS PRACTICAS OPERACIONALES Y LLEGAR A OPERAR EL CAMION CAT 797F CON UNA EXCELENCIA OPERACIONAL COMO NUESTRA DIVISION LO REQUIERE Y NOS ENTRENA.	
FIRMA: 	

Figura 8-3 Formato de registro de capacitación y compromiso para mejorar practica operacional

El proceso de mejoramiento continuo de las prácticas operacionales, que se ven reflejadas en el punto 7.1, trajo como consecuencia la disminución de eventos operacionales y el aumento de la disponibilidad física de la flota de Caex. Las figuras 8-4 y 8-5 reflejan el mejoramiento de ambas variables en el tiempo.

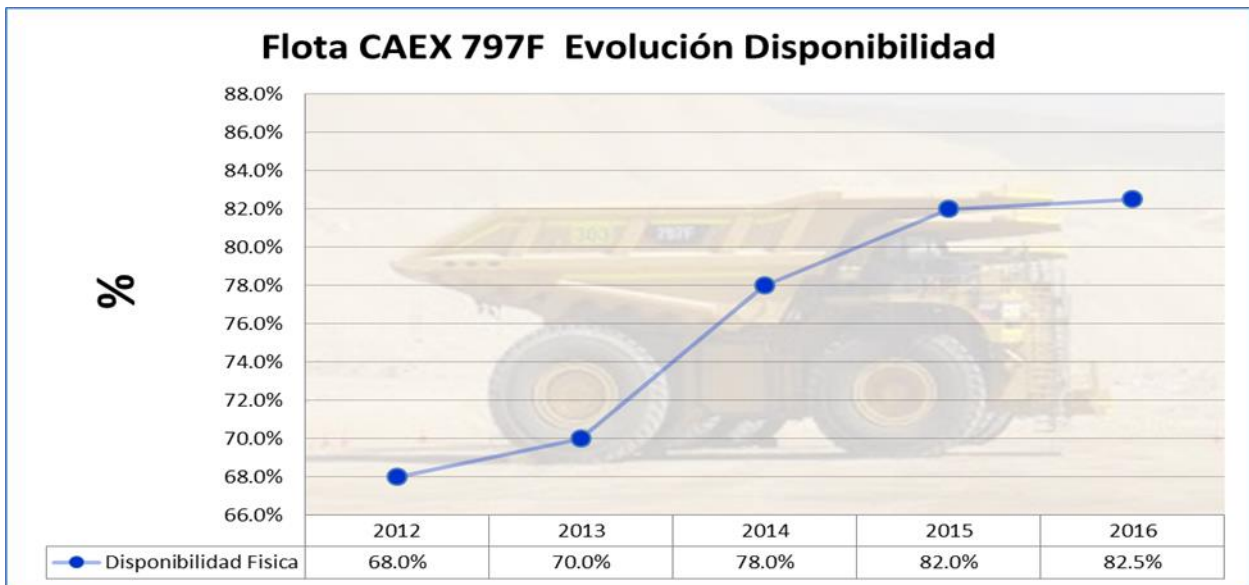


Figura 8-4 Grafico Evolución disponibilidad flota CAEX

La evolución que ha tenido el aumento de disponibilidad desde el 2014 al 2015 refleja los planes de acción que ha tomado el área de mantención mina en cuanto a la ingeniería de confiabilidad apalancado con la mejora de las practicas operacionales.

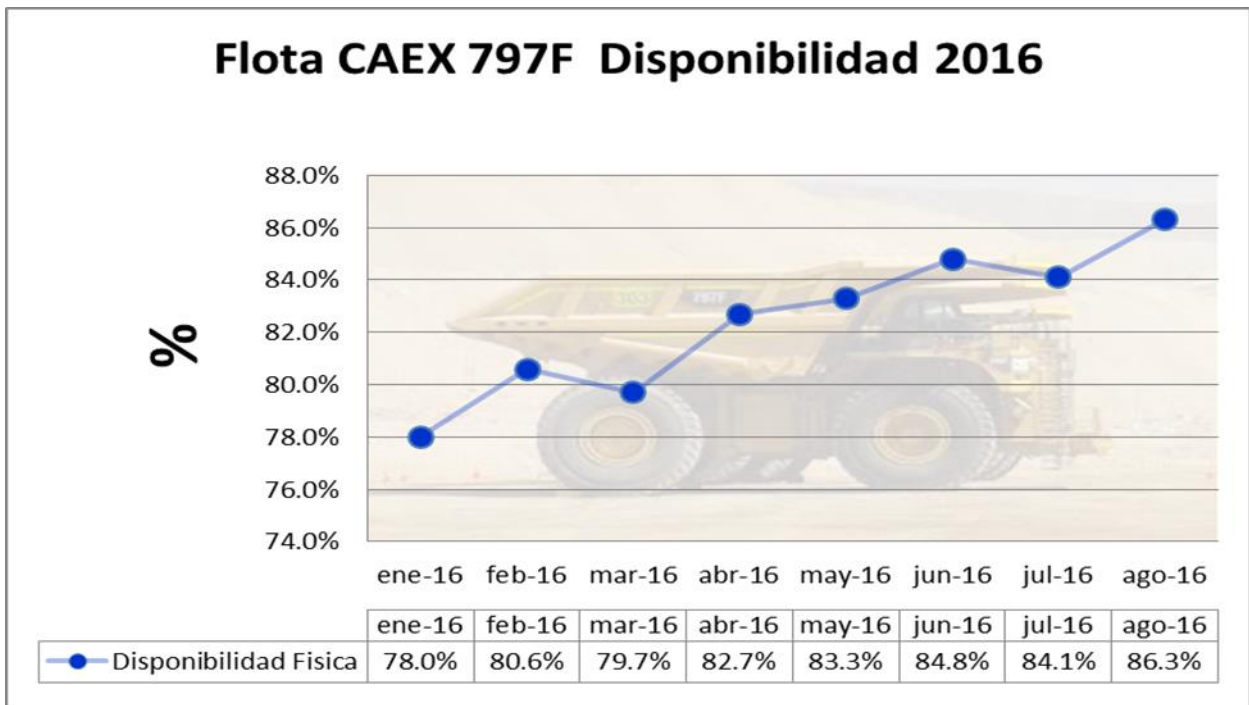


Figura 8-5 Grafico Disponibilidad flota CAEX 2016

Durante este 2016 se logrado romper indicadores bench de disponibilidad de flota CAEX, llegando a sobrepasar el 86% de disponibilidad física del activo

Los indicadores MTBF y MTBR también son afectados con las mejoras implementadas, como lo reflejan las figuras 8-6 y 8-7.

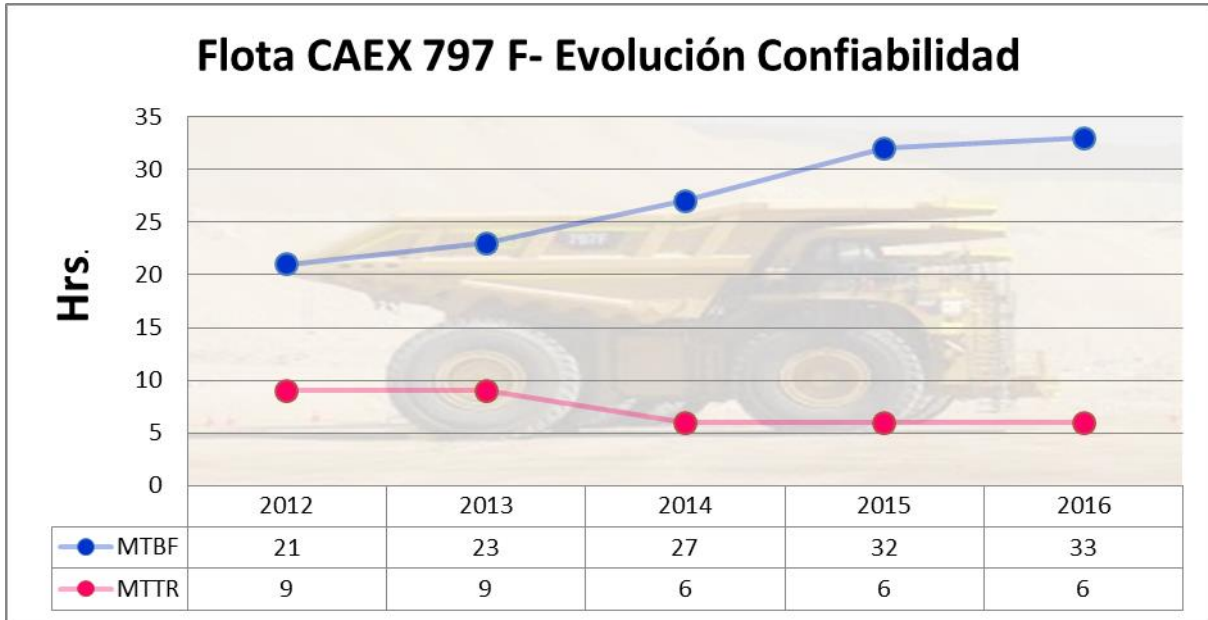


Figura 8-6 Grafico evolución confiabilidad Flota CAEX

La ingeniería de confiabilidad implementada por el área de mantención mina muestra resultados destacados a nivel de minería mundial. Como información adicional desde agosto de 2016 el MTBF ha llegado a las 52 hr.

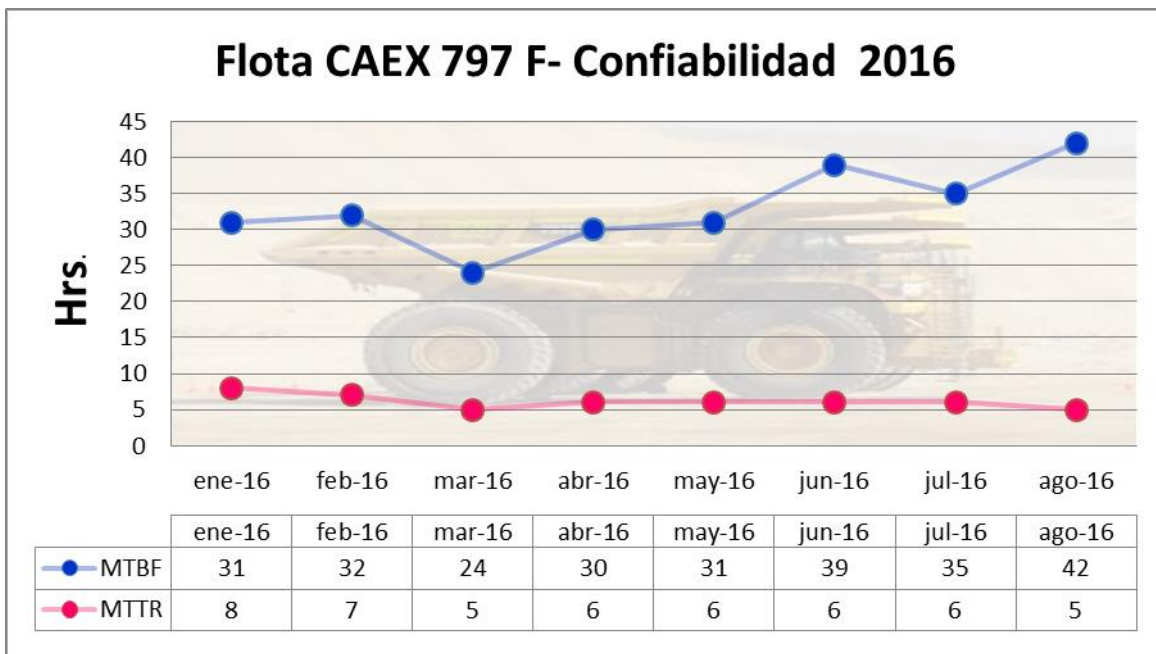


Figura 8-7 Grafico Confiabilidad 2016

Los resultados de mejora en la confiabilidad aumentando en horas las MTBF y MTBR fueron obtenidos a través de un plan de largo plazo que implicó consolidar el mantenimiento planificado. Esto se realizó a través de 3 fases:

- 1) Incrementar las horas de mantenimiento planificado
- 2) Utilizar la información que capturan los sistemas del CAEX para estimar la vida de los componentes y tomar las acciones correctivas proactivas para volver al estado de operación.
- 3) Mejorar las conductas operacionales

Factores relevantes de apalancamiento que aseguraron el aumento en la confiabilidad de la flota fueron:

- Identificación de los focos crónicos y agudos
- Control diario de la precisión del servicio realizando mantenimiento cada 250 hr
- Control de la planificación en SAP

Además como innovación tecnológica se implementa el sistema ECA que permite estimar la condición de los componentes

De lo anterior se establece una visión del mantenimiento mina. La figura 8-8 muestra la situación del mantenimiento mina en DMH

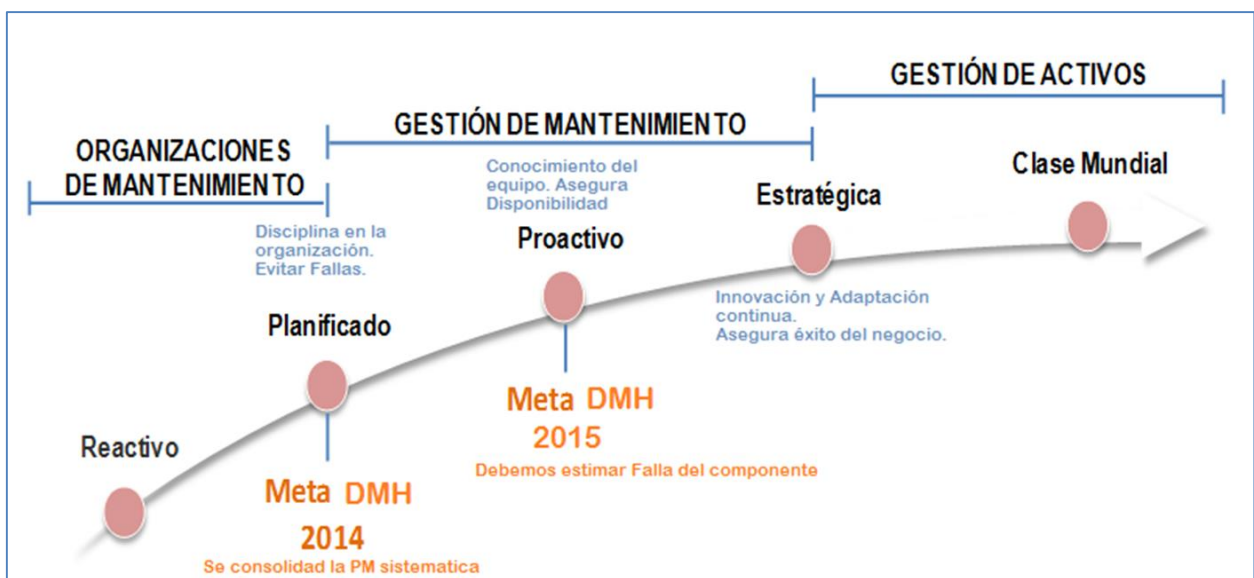


Figura 8-8 Visión mantenimiento mina DMH

La mejora en el trabajo de equipo entre las áreas de mantención y operación mina, rompiendo paradigmas históricamente establecidos en la minería, llevan a mejorar el cumplimiento en cuanto a la adherencia a los planes de mantención de la flota CAEX como lo muestran las figuras 8-9 y 8-10.

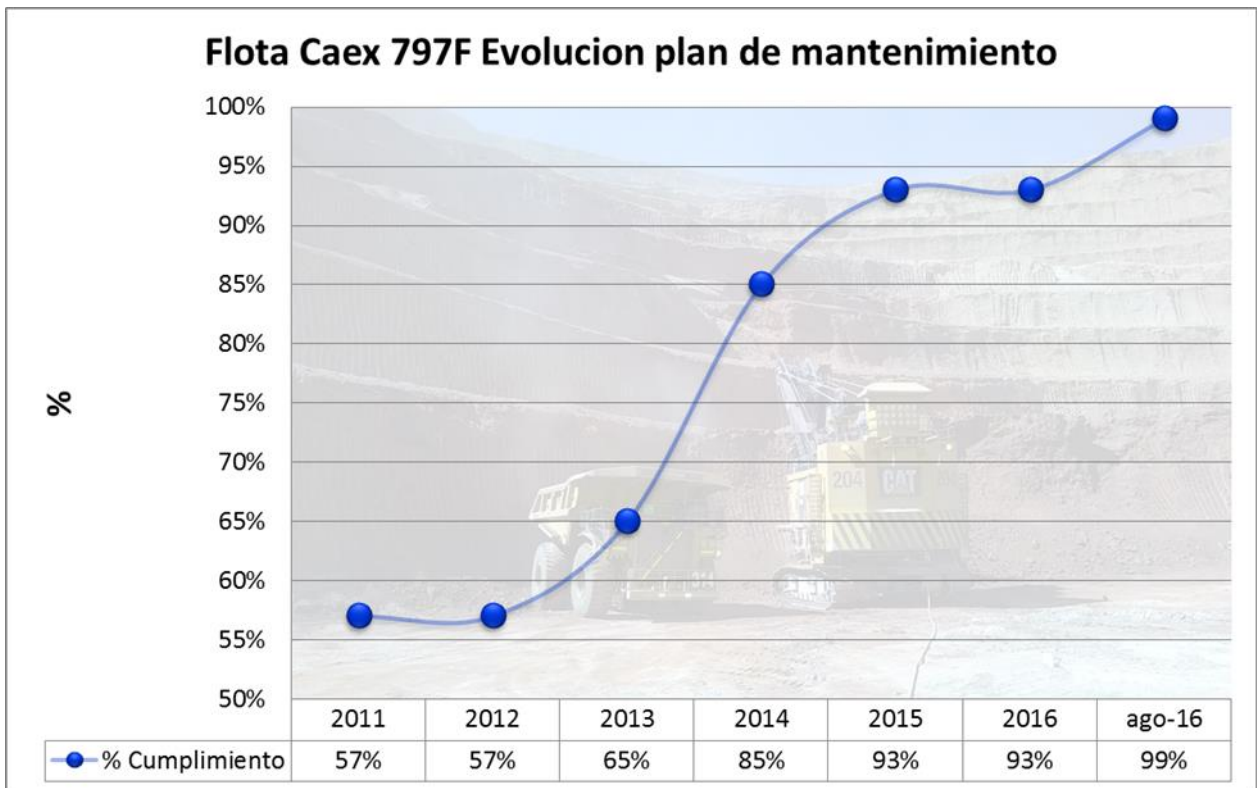


Figura 8-9 Grafico de evolución plan de mantenimiento

La evolución de los planes de mantenimiento han tenido un sostenido cumplimiento desde el 2011 llegando a un 99% durante este 2016.

La adherencia al plan por parte de operaciones y mantención mina ha sido clave para este logro. La permanente comunicación entre las áreas, el trabajo en equipo y la disciplina operacional han sido claves para llegar a estos indicadores que son de clase mundial.

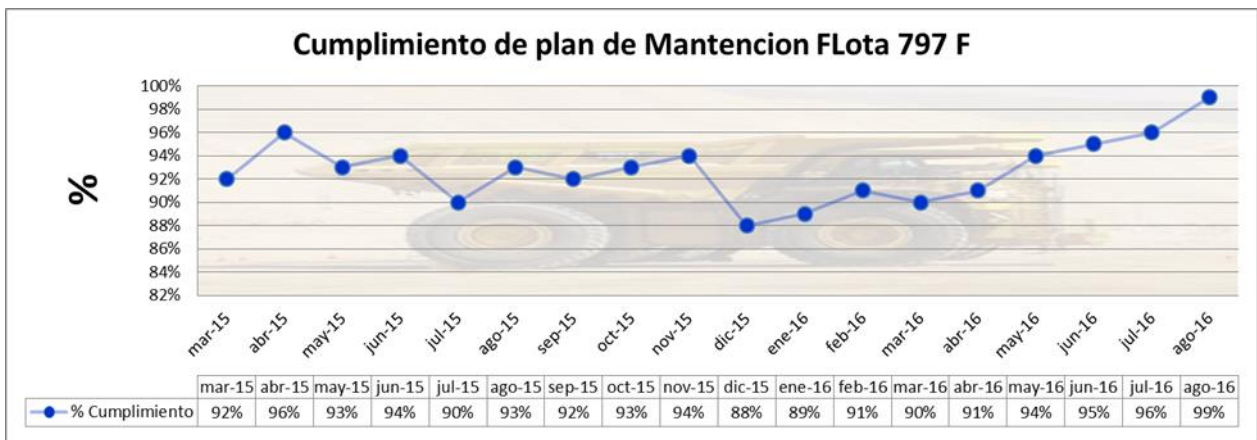


Figura 8-10 Grafico cumplimiento de plan de mantención flota 797F

El aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la flota de CAEX, lleva como desafío a la Superintendencia de Operaciones Mina, a generar planes de acción tendientes a aprovechar el uso efectivo de este activo. Esto implica implementar medidas que tiendan a incrementar las horas efectivas mediante la disminución de tiempos de demora y pérdida operacional, mejorando la productividad en su rendimiento. Esto se logra con los siguientes planes de acción:

- **Cambio de ubicación casino mina**

El proyecto DMH tenía inicialmente la instalación del casino mina en un sector distante a la ruta de los CAEX a los distintos puntos de destino. Esta condición llevaba a incrementar las demoras en el traslado de los operadores al casino. De lo anterior se modifica su ubicación y se construye cerca de las principales rutas que tienen los CAEX dentro de la mina, incorporando además bahías de estacionamiento para CAEX en el mismo casino disminuyendo las demoras y pérdidas por traslado. La figura 8-10 muestra el impacto positivo por este cambio.

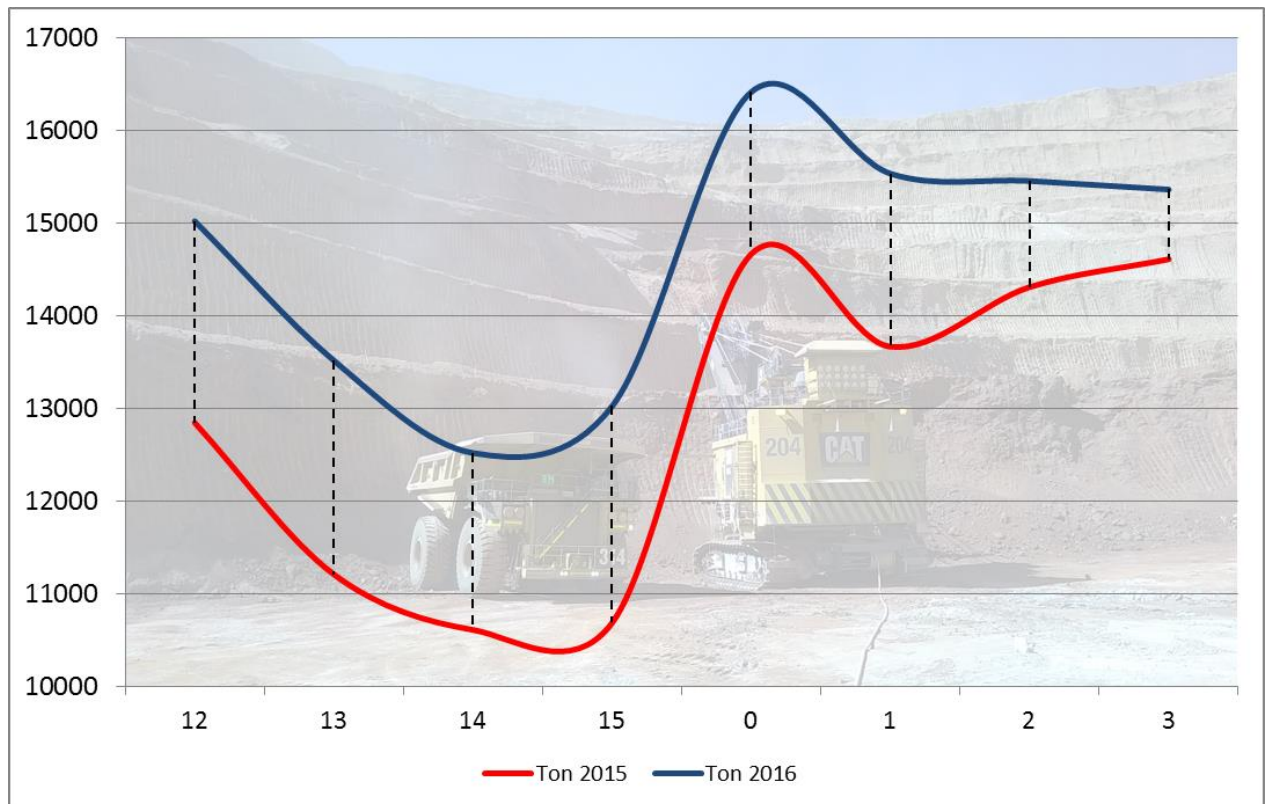


Figura 8-11 Grafico impacto productivo cambio de ubicación casino mina

La grafica muestra lo relevante que significa que las instalaciones de apoyo a la operación sean bien analizadas con el apoyo de profesionales con experiencia en la operación minera

- **Disminución tiempos de demora operacional**

La implementación de la metodología Lean a las operaciones mineras ha logrado mejorar la gestión operacional de algunos indicadores asociados a demoras operacionales. Para el caso de este estudio se muestra la mejora en los tiempos en las demora de combustible y cambio de turno. Ver figuras 8-11 y 8-12.

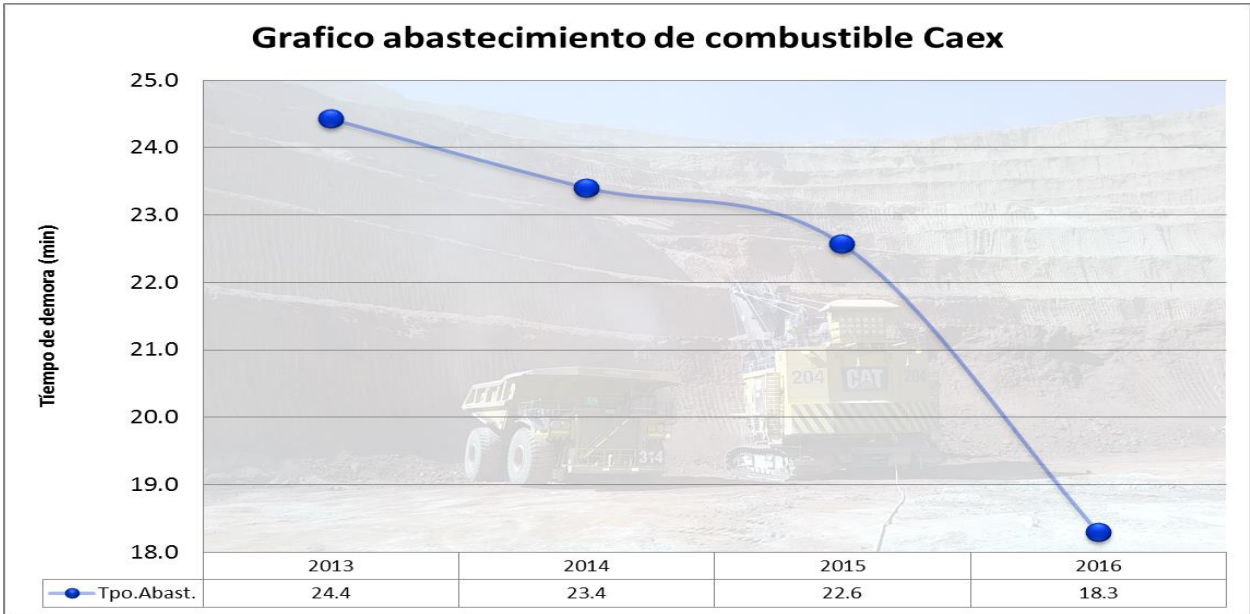


Figura 8-12 Grafico gestión abastecimiento de combustible CAEX

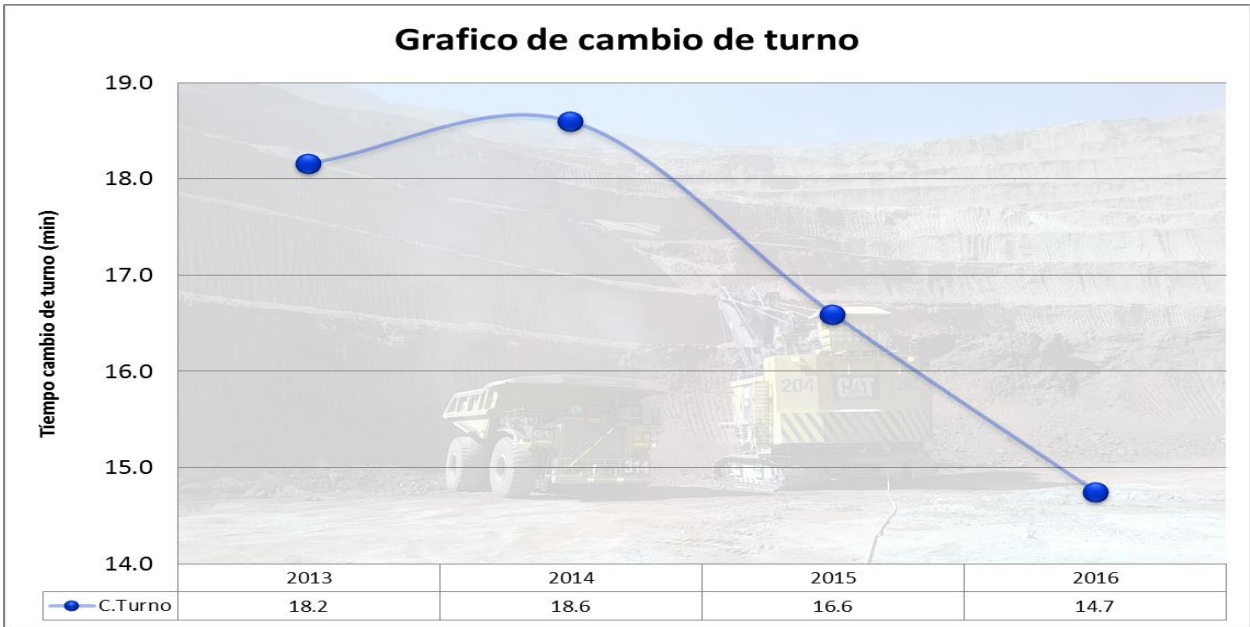


Figura 8-13 Grafico gestión cambio turno mina

- **Aumento de la utilización efectiva**

De lo anterior, se trae como consecuencia un aumento considerable en el uso efectivo de la flota de CAEX, la cual se ve reflejada en las figuras 8-14 y 8-15.

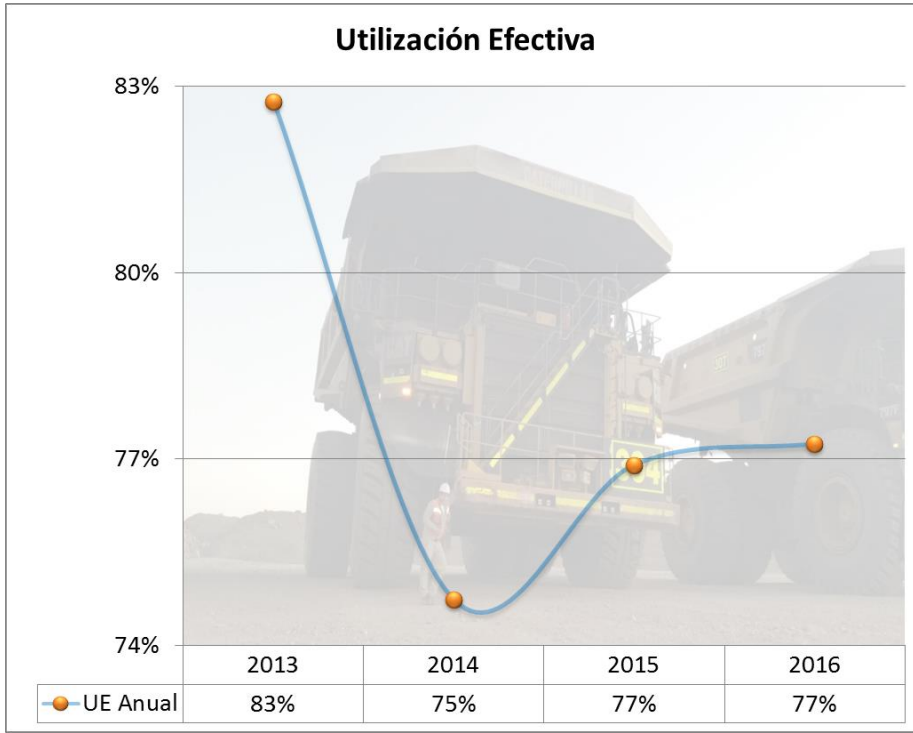


Figura 8-14 Grafico utilización efectiva CAEX

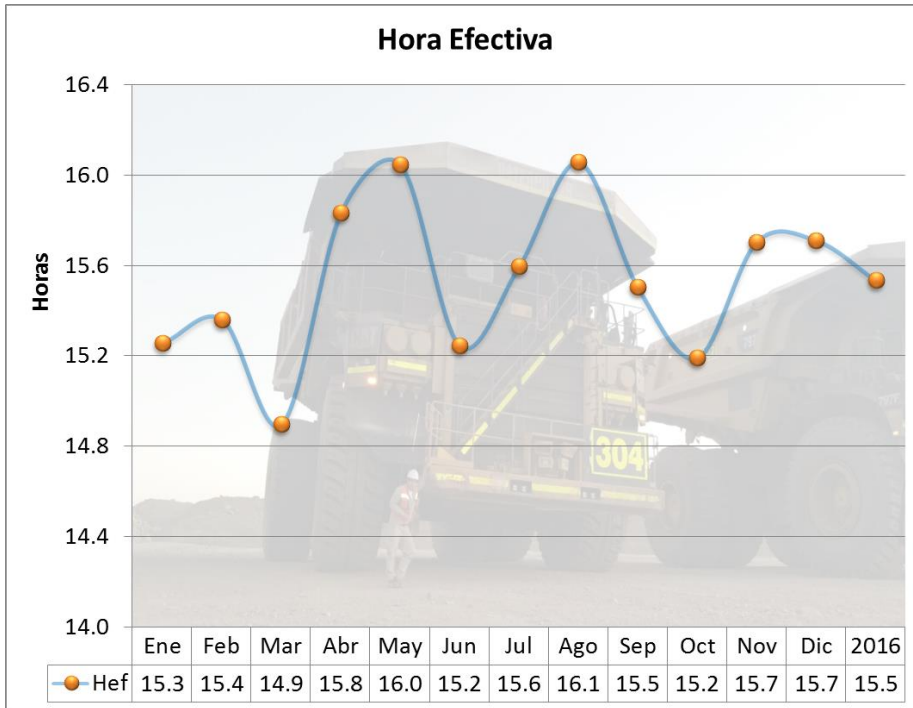


Figura 8-15 Grafico hora efectiva CAEX

- **Aumento velocidad y factor de carga flota CAEX**

Estas variables corresponden a factores de apalancamiento para mejorar la productividad en la operación de Carguío y Transporte. De lo anterior se presentan las figuras 8-15 y 8-16 en donde se visualiza su aumento con respecto a lo proyectado en el plan minero.

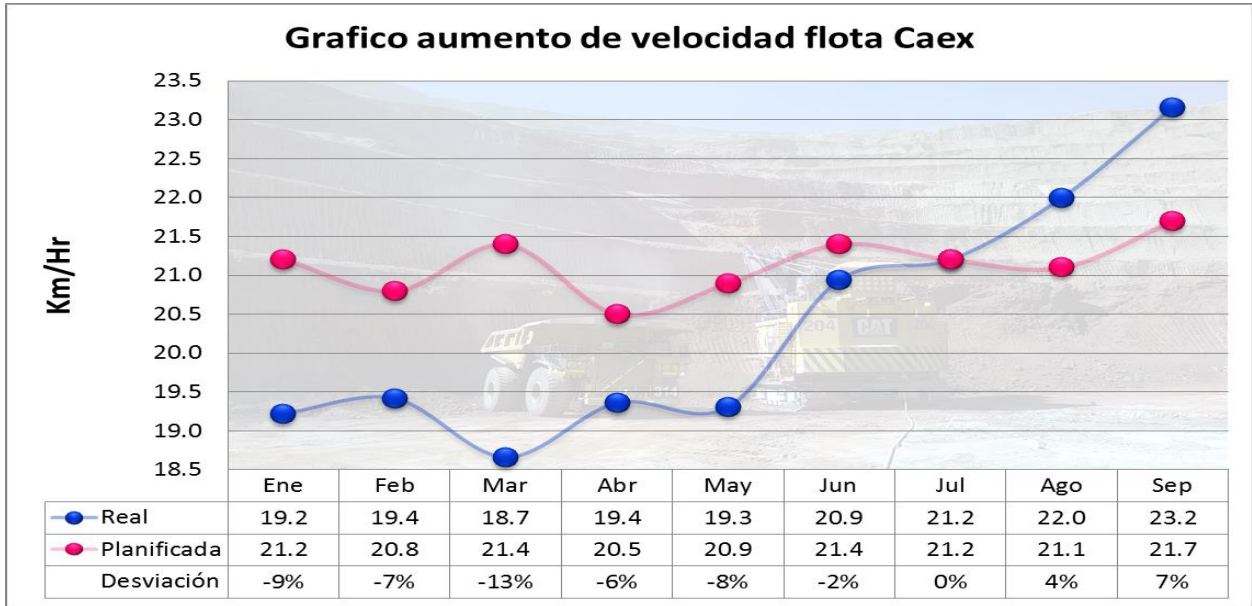


Figura 8-16 Grafico aumento de velocidad flota CAEX

Estas graficas muestran el impacto que estas variables de apalancamiento tienen en el aumento de productividad. La velocidad media de flota CAEX y el factor de carga deben siempre estar considerado en los estudios de mejora operacional

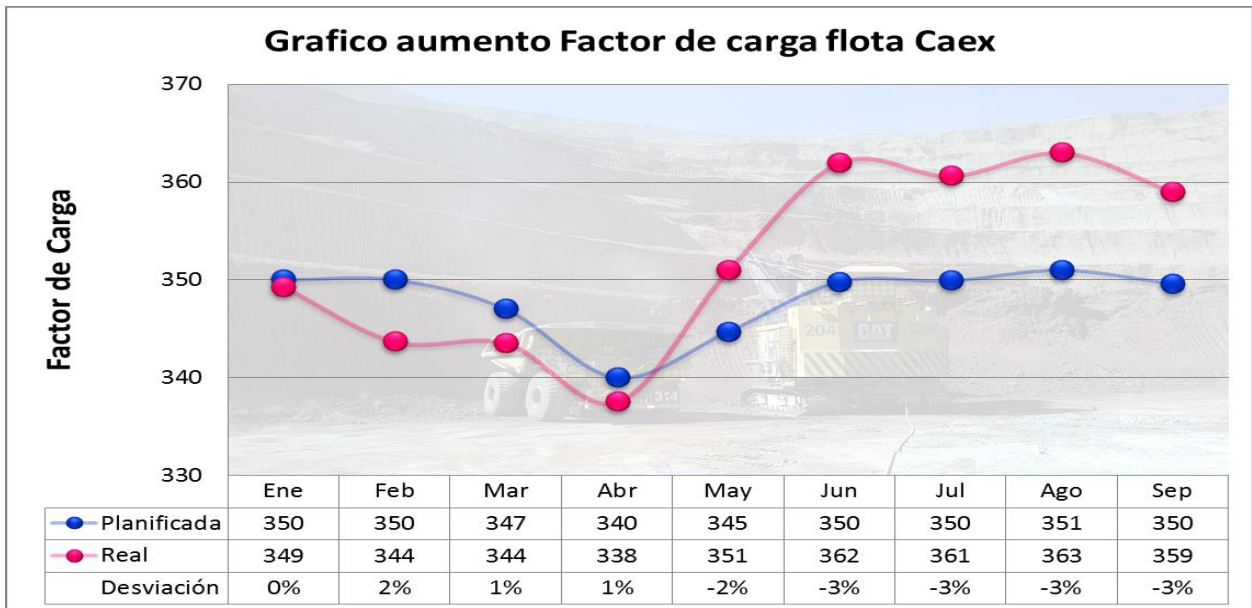


Figura 8-17 Grafico aumento factor de carga flota CAEX

8.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

De los planes y mejoras implementadas para el aumento de las horas efectivas de la flota CAEX, a continuación se presenta una valorización en cuanto al incremento en el movimiento de material y el ahorro asociado a la disminución de los gastos producto del mayor movimiento de material. Se toma como referencia para este cálculo los indicadores de costo mina obtenidos durante la gestión financiera del año 2016 en DMH. Para el caso de la ubicación del nuevo casino mina este monto se considera por única vez.

- **Análisis económico cambio de ubicación casino mina**

El impacto que tuvo el cambio de ubicación del casino mina de acuerdo al aumento registro en el tonelaje durante la hora de colación y su ahorro en gasto asociado se traduce en:

$$\text{Aumento día ton en hora colación}^6 = 14,2 \text{ kt}$$

$$\text{Aumento ton mes en hora colación} = 426 \text{ kt}$$

$$\text{Costo de transporte (US\$/ton)}^7 = 0,89$$

$$\text{Porcentaje costo fijo transporte}^5 = 45\%$$

Luego

$$\text{Ahorro anual estimado} = 426 \times 0,89 \times 0,45 \times 12$$

$$\text{Ahorro anual estimado} = 2.047 \text{ KUS\$}$$

- **Análisis económico disminución tiempos de demora operacional**
- **Abastecimiento de combustible**

$$\text{Flota operativa CAEX} = 30$$

$$\text{Gestión de tiempo abastecimiento combustible} = 4,3 \text{ min}$$

$$\text{Rendimiento CAEX (t/hr. Efec)} = 646$$

Luego

⁶ El aumento de tonelaje en colación es obtenido de la diferencia del movimiento hora antes de instalación vs después de instalación.

⁷ El costo de transporte y el porcentaje de costo fijo es obtenido del informe de gestión mensual DMH.

Aumento ton día estimado = $(30 \times 4,3 \times 646) / 60 = 1,39 \text{ kt}$

Aumento ton mes estimado = 41,7 kt

Luego

Ahorro anual estimado = $41,7 \times 0,89 \times 0,45 \times 12$

Ahorro anual estimado = 200 KUS\$

- **Cambio de turno pala**

Flota operativa CAEX = 34

Gestión de tiempo cambio turno pala = 1,8 min

Rendimiento CAEX⁸ (t/hr. Efec) = 646

Luego

Aumento ton día estimado = $(30 \times 1,8 \times 646) / 60 = 581 \text{ t}$

Aumento ton mes estimado = 17,4 kt

Luego

Ahorro anual estimado = $17,4 \times 0,89 \times 0,45 \times 12$

Ahorro anual estimado = 83 KUS\$

- **Limpieza de cancha palas de cable**

Flota operativa CAEX = 34

Gestión de tiempo limpieza de cancha = 2,1 min

Rendimiento CAEX (t/hr. efec) = 646

Luego

Aumento ton día estimado = $(30 \times 2,1 \times 646) / 60 = 678 \text{ t}$

Aumento ton mes estimado = 20,3 kt

⁸ El rendimiento efectivo CAEX se obtiene del sistema de control de producción.

Luego

$$\text{Ahorro anual estimado} = 20,3 \times 0,89 \times 0,45 \times 12$$

$$\text{Ahorro anual estimado} = 83 \text{ KUS\$}$$

- **Análisis económico aumento velocidad y factor de carga flota CAEX**

De acuerdo a la gráfica de la figura 8-15, el aumento de la velocidad promedio de la flota CAEX de los últimos 2 meses sude 1,06 km/hr. Esto implica que la flota de CAEX aumenta sus ciclos de vuelta por hora, lo que se traduce en un aumento en su rendimiento efectivo a 684 t/hr efec.

Luego

$$\text{Aumento ton por hr efectiva} = 684 \text{ (t/hr efec)} - 646 \text{ (t/hr efec)}$$

$$\text{Aumento ton por hr efectiva} = 38 \text{ t}$$

Luego

$$\text{Aumento ton día estimado} = 15,5 \text{ hr efec} \times 38 \text{ t/hr efec} \times 34 = 20 \text{ kt}$$

$$\text{Aumento ton mes estimado} = 600 \text{ kt}$$

Luego

$$\text{Ahorro anual estimado} = 600 \times 0,89 \times 0,45 \times 12$$

$$\text{Ahorro anual estimado} = 2.884 \text{ KUS\$}$$

En el caso del factor de carga, este aumenta 350 a 359 ton. Esto sumado a que la flota de CAEX da 1,8 vueltas promedio⁹, se obtiene lo siguiente

$$\text{Aumento ton mes estimado} = 34 \times 9 \text{ t} \times 1,8 \times 15,5 \times 30 \times 12 = 3.073 \text{ kt}$$

$$\text{Ahorro anual estimado} = 3.073 \text{ kt} \times 0,89 \times 0,45 = 1.230 \text{ KUS\$}$$

La tabla 8-1 muestra a continuación el impacto en productividad y ahorro en cuanto a los planes de acción implementados

⁹ Este valor se obtiene del sistema de control de producción Jigsaw.

Item	Aumento tonelaje año (Kt)	Ahorro anual (KUS\$)
Cambio ubicación casino mina	5.112	2.047
Abastecimiento combustible	500	200
Cambio de turno pala de cable	209	83
Limpieza de cancha pala de cable	244	98
Aumento velocidad	7.200	2.884
Aumento Factor de carga	3.073	1.230
ACUMULADO	16.338	6.542

Tabla 8-1 valorización económica planes de acción

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La incorporación de la filosofía **Lean Mining C+** a los procesos mineros, en particular para esta tesis, ha demostrado su valioso aporte en direccionar la operación minera bajo el concepto de la mejora continua. En este estudio claramente se generó oportunidades de mejorar la gestión de los tiempos de demora asociados a la operación de Transporte, reduciendo tiempos de demora operacional, las que fueron transferidas a tiempos efectivos para la operación de equipos. Queda como oportunidad de negocio seguir incorporando y reforzando esta metodología a las operaciones unitarias de Perforación y Tronadura, como también a las de apoyo a la operación.

Uno de los principales gananciales al realizar este estudio e implementar en función de lo anterior, medidas y planes de acción tendientes a mejorar la productividad de la operación minera a través del aumento de horas efectivas de la flota de CAEX, es el ahorro que se puede alcanzar (- 5.320KUS\$) y el incremento en cuanto al movimiento de material (+11.034 Kt), sin tener que realizar inversiones asociadas a compra de equipos o aumento en la dotación de personal.

Este estudio ratifica que la gestión hacia la excelencia operacional, es un factor de apalancamiento fundamental para el éxito o fracaso en la productividad de la operación minera. Para esta tesis el rol en la capacitación, monitoreo y control en terreno hacia la mejora en las prácticas operacionales, asegura una alta disponibilidad y confiabilidad en la flota de equipos. Es importante que este factor sea monitoreado y retro alimentado permanentemente en el tiempo, ya que puede incurrir a un relajamiento en los operadores trayendo como consecuencia aumento de eventos operacionales y disminución en la disponibilidad de equipos.

La metodología implementada por la Superintendencia de mantención, a las distintas actividades, ha demostrado una mejora considerable en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de la flota de CAEX. Se destaca las etapas de análisis de confiabilidad y de fallas como relevantes para eliminar los conceptos asociados a una mantención reactiva. De igual forma la incorporación de tecnologías de comunicación de sistemas para la obtención de información de signos vitales de los equipos mina, asegura una muy buena fuente para el análisis, planificación y ejecución de este servicio.

Además es importante destacar que la ingeniería de confiabilidad debe ser reforzada con tecnologías asociadas al análisis de variables críticas de fallas de componentes y del estado de los mismos con la finalidad de aumentar la confiabilidad a través de los indicadores MTBF y MTBR.

Esta tesis muestra un potencial de estudio para la implementación de **Lean Mining C+** a las actividades asociadas al mejoramiento en la ingeniería de confiabilidad. Se deja en anexo información asociada al mejoramiento en la confiabilidad para flotas de transporte de equipos pesado.

La implementación de plataformas tecnológicas de comunicación, reportabilidad y mensajería en cuanto al estado de los signos vitales de la flota de CAEX, ha sido fundamental para la identificación de las malas prácticas operacionales (equipo y

operador), aumento de la disponibilidad de la flota y aseguramiento de una mantención preventiva y no reactiva. Es importante considerar como oportunidad de mejora, incorporar esta plataforma tecnológica a todos los equipos de la operación minera: perforadoras, palas hidráulicas y eléctricas, cargador frontal, bulldozer, wheel loader y motoniveladoras entre otros.

De lo anterior, es importante que las empresas como Finning, Komatsu, etc consideren como oportunidad de negocio, la incorporación de estas herramientas tecnológicas en los equipos y que sean parte de su *performance* operativo. Además dispositivos de seguridad asociados a sistemas de aproximación (anti colisión) y de control de fatiga y somnolencia, pueden ser oportunidades que para el mercado minero y sobre todos las empresas mineras, pueden ser gravitantes a la hora de seleccionar flotas de equipos mineros.

Esta tesis también quiere relevar y argumentar como una oportunidad de mejora, la oportunidad de incorporar empresas jóvenes o de experiencia como proveedoras de tecnología integral que cubran múltiples aspectos asociados a mejorar la productividad del negocio. Empresas asociadas a

- Tecnología de la información
- Simuladores 2D y 3D
- Control remoto o autónomo de equipos mina, entre otros

Tienen una oportunidad enorme de generar lazos estratégicos a la operación minera. Es recomendable que la alta administración esté siempre abierta y disponible en cuanto a recurso y espacio para ver, conocer e implementar tecnología minera.

Otro aspecto importante a destacar y que ha sido consecuencia de los resultados que ha tenido este estudio, es la organización que actualmente tiene la Gerencia Mina. Esta Gerencia tiene a cargo tanto la operación como la mantención de la mina, esto implica que los indicadores de cumplimiento son transversales por lo que la planificación de las tareas tanto operativas como de mantención se programan en conjunto generando valor agregado en el servicio de mantención y en las relaciones humanas. De este estudio se destacan los siguientes aspectos que reforzaron la operación – mantención:

- Disciplina Operacional
- Disciplina de mantenimiento
- Control de HH y cumplimiento de mantenimiento
- Adherencia al plan por parte de operaciones mina

De igual forma es necesario que esta filosofía, este cambio cultural que está llevando a cabo Codelco en sus distintas divisiones, sea también la herramienta para las empresas colaboradoras en función de mejorar su servicio, y presentar a los clientes alternativas potentes de reducción de gastos y mejoras en su productividad. Particularmente empresas que prestan servicios bajo la modalidad MARC o LPP, tienen una oportunidad desafiante de incorporar fuertemente a sus actividades internas la metodología *Lean management*.

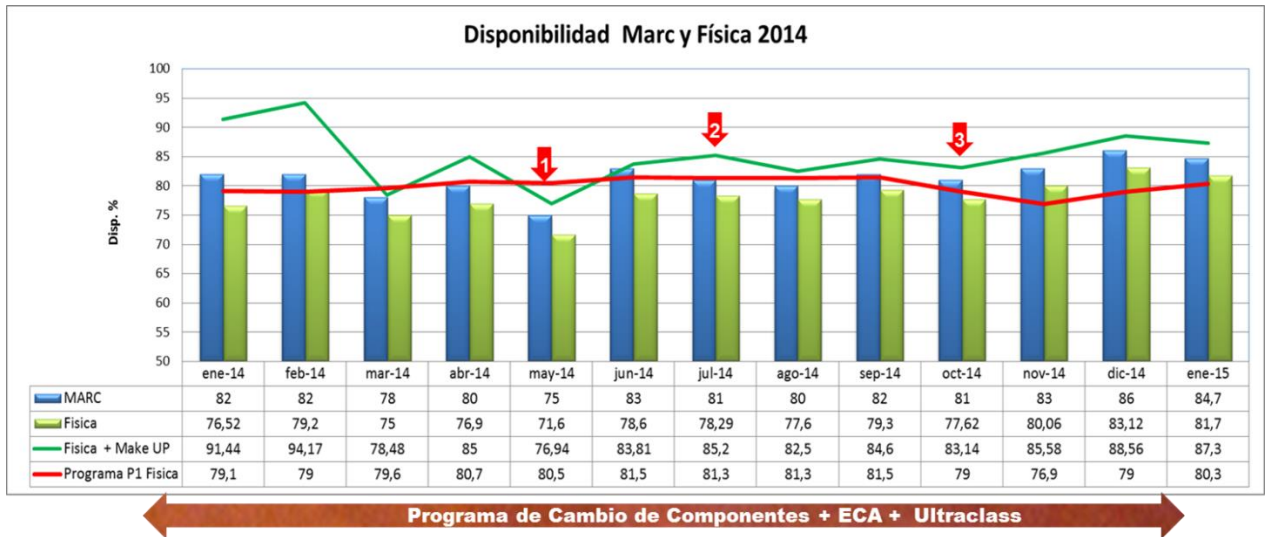
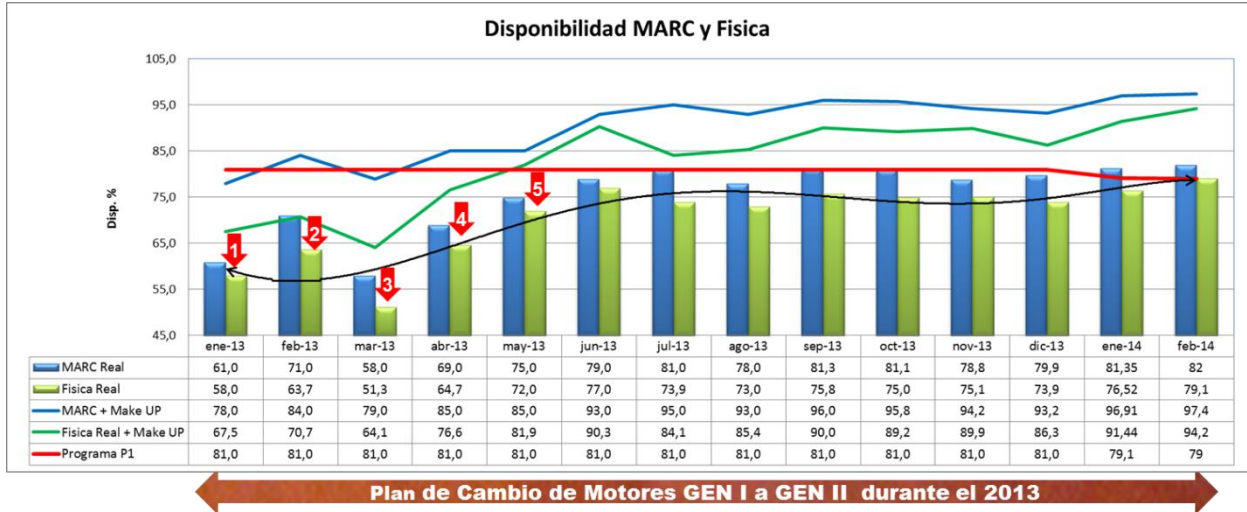
Los resultados obtenidos en esta tesis, fue realizado bajo una forma de trabajo que no es distinta a las de otras faenas mineras. Esto implica que los planes de acción tomados, la implementación de tecnología al servicio de la operación y mantención de equipos, el control y monitoreo de indicadores de apalancamiento para la mejora en la productividad, la implementación de **Lean mining C+** a las operaciones unitarias, pueden ser replicados a otras faenas de minería a Cielo Abierto, con resultados positivos en el corto y mediano plazo. Además este estudio queda como página de inicio para seguir optimizando procesos, mejorar prácticas, fomentar trabajo en equipo y asegurar una ruta estable hacia la excelencia operacional.

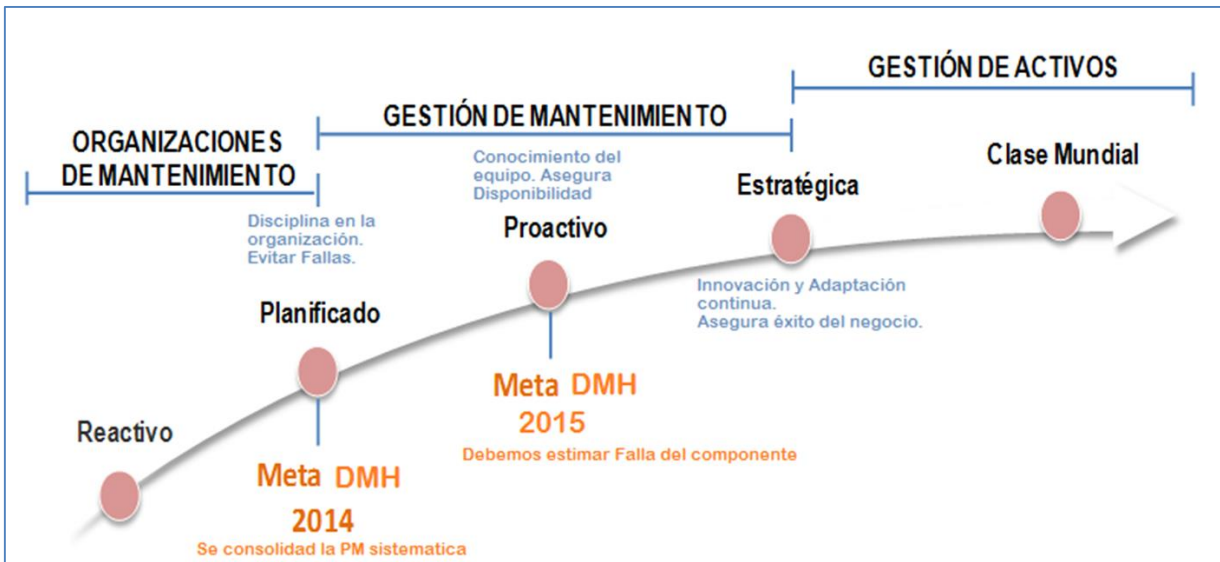
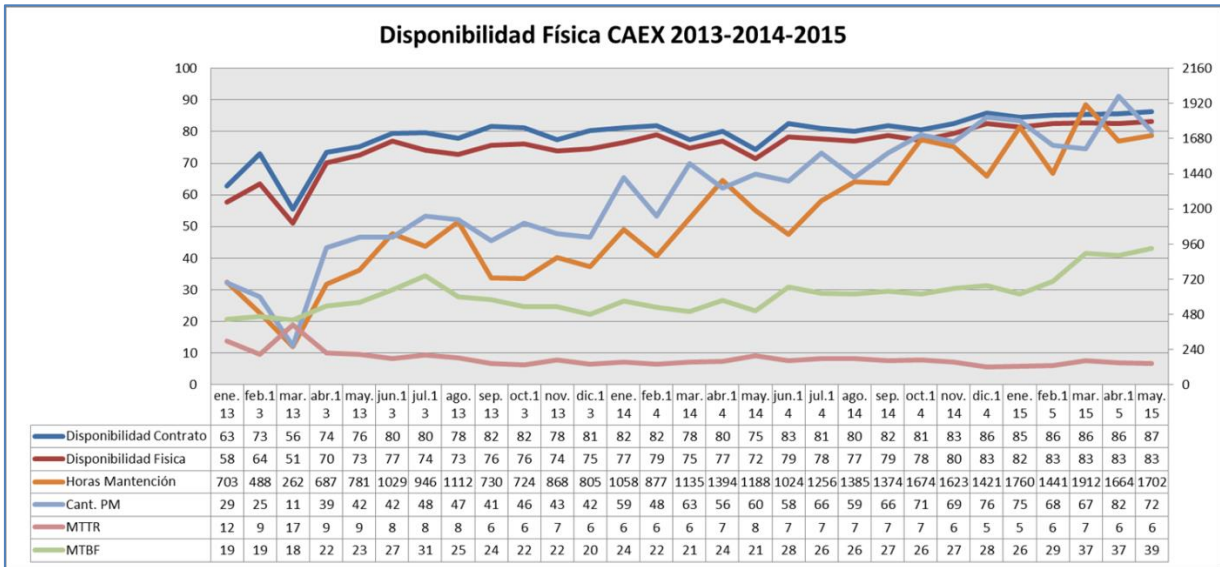
10. BIBLIOGRAFÍA.

1. FLOW PARTNER (2016), Operaciones integradas basadas en *Lean Mining*.
2. James Wormack and Daniel Jones (2000). "*Lean Thinking*".
3. Proyecto OEE DMH / Finning Palas (2016).
4. JAIME REBOLLEDO (2016), Identificación de necesidades de entrenamiento en operadores de camiones utilizando análisis estadístico.

11. ANEXO.

Confiabilidad de la Flota de Camiones 797F en División Ministro Hales





HOME		SITE							
Recommendations (9)									
Quick Filters		Site Group Model	Filter by date range 07/20/2015 12:00 AM - 08/18/2015 11:59 PM						
Advanced Filters		Status Acknowledged Priority Severity Other							
Reco No.	Product Name	Equip. ID	Equip. S/N	Status	WO ID	Priority	Severity	Title	Site
<input type="checkbox"/> 00836342	797F	MH-304	LAJ00181	Approved	MR72088	1 - Immediate Attention	4 Moderate	MH 304 AAI00836342 AMT49W0000471 Baja la presión de boost banco derecho	DMH
<input type="checkbox"/> 00844698	797F	MH-323	LAJ00472	Assigned	HC04262	3 - At Next Service	3 Major	MH 323 AAP00844698 AMT26W0001077 La presión de turbos derecha es mas baja	DMH
<input type="checkbox"/> 00850273	797F	MH327	LAJ00495	Approved	HC04276	1 - Immediate Attention	2 Severe	MH 327 AAI 00850273 AMT26W0001446 Tiempos de enganche embrague convertidor bajo	DMH
<input type="checkbox"/> 00850393	797F	MH-309	LAJ00180	Approved	MR71156	1 - Immediate Attention	3 Major	MH 309 AAI00850393 AMT49W0001533 La temperatura del refrigerante motor es baja e irregular	DMH

Estimados(as),

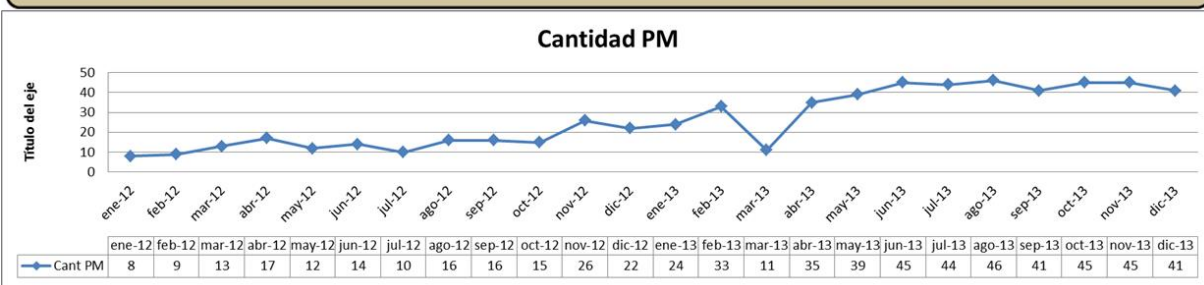
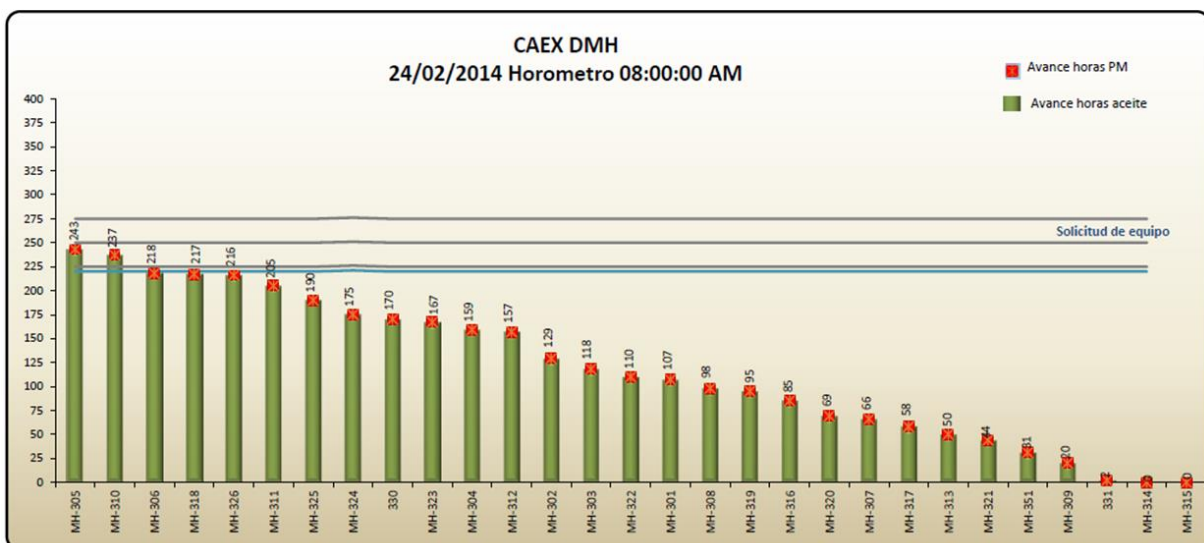
Se reportan 6 detenciones en el periodo del mes de Agosto asociados a ACUMULADOR DE AIRE - HCAE-301-SNE-ACU . Con tiempo totalizado de indisponibilidad de 3,27 Horas.

Ubicación Técnica: HCAE-301-SNE-ACU
Denominación: ACUMULADOR DE AIRE

Aviso	Ini.Averia	HIni.Ave	Fin.Averia	HFin.Ave	Ind. Parada	Dur. Parada
000018864263	15.08.2015	09:46:00	15.08.2015	10:20:00	X	0,57
000018864266	15.08.2015	17:01:00	15.08.2015	17:56:00	X	0,92
000018864270	16.08.2015	05:11:00	16.08.2015	05:31:00	X	0,33
000018864294	15.08.2015	13:32:00	15.08.2015	14:06:00	X	0,57
000018865901	16.08.2015	20:03:00	16.08.2015	20:32:00	X	0,48
000018865908	17.08.2015	00:12:00	17.08.2015	00:36:00	X	0,40

Detalle de los primeros 4 avisos:

Nro. de Aviso: 000018864263
Descripción: SIN PARTIDA
Fecha de creación: 16.08.2015
Texto Ampliado: SIN PARTIDA.
SE CARGA CON AIRE DE PARTIDA.



1. Porcentaje de Cumplimiento

Fecha	% Prog	% Real	% adher plan
18-feb	13%	4%	25%
19-feb	34%	25%	37%
20-feb	47%	36%	48%
21-feb	58%	44%	50%
22-feb	67%	54%	50%
23-feb	83%	63%	47%
24-feb	100%		

2. Resumen de Actividades

Actividades	Act Prog semanal	Act Ejec diarias	% Compl seman
PM CAEX	14	12	86%
PM EEAA	7	6	86%
BL	46	26	57%
AP-AI-AC	5	5	100%
Cambio componente	6	3	50%
Cambio GET	0	0	0
PSP PIP	5	3	60%
Campañas	6	1	17%
TOTAL	89	56	63%

3. Actividades programadas diarias

	18-feb	19-feb	20-feb	21-feb	22-feb	23-feb	24-feb
PM CAEX	2	2	2	2	2	2	2
PM EEAA	1	1	1	1	1	1	1
BL	6	13	4	5	2	7	9
AP-AI-AC	1	1	2	0	1	0	0
Cambio componente	1	0	2	2	1	0	0
Cambio GET	0	0	0	0	0	0	0
PSP PIP	1	0	1	0	1	1	1
Campañas	0	1	0	0	0	3	2

4. Curva S

Curva S - Control Diario de Programa

Fecha	% Prog	% Real
18-feb	13%	4%
19-feb	34%	25%
20-feb	47%	36%
21-feb	58%	44%
22-feb	67%	54%
23-feb	83%	63%
24-feb	100%	

5. Desviaciones del Programa

Fecha	% Desv	Motivo	Área Responsable
18-feb	9%	Grúa de 25 ton. sale de contrato a reparación atrasando trabajos de equipo 313.	Operaciones
		Loza lavado no se encuentra operativa al 100 %	Operaciones
19-feb	9%	Grúa de 25 tons queda fuera de servicio por neumático reventado	Operaciones
		Se destinan hh a trabajos de cambio de tolva nueva en alza tolva no programados	Planificación
		Se destinan hh a trabajos de desmontaje de containers no programados	Planificación
		Se cambia rueda guía por imprevisto del equipo 404 ,	Ingeniería
20-feb	11%	Se destinan hh a trabajos de desmontaje de containers no programados	Planificación
		Llega motoniveladora 24 M nueva a contrato , se destinan hh para bajar del camión	Planificación
		Se realiza cambio de bellows no programado equipo 317	Ingeniería
21-feb	14%	Hytor fuera de servicio se retrasa los trabajos en CMSI equipo 313	Planificación
		No se cambian rodillos de equipo D11T (404) por hytor fuera de servicio	Planificación
		Se manda a fabricar conector hidráulico para equipo 330	Operaciones
22-feb	13%	Se demora la entrega de equipos a mantención por parte de cliente	Cliente
23-feb	20%	Se realiza mantencion loza de lavado fuera del plan de mantencion.	Planificación
		Se prioriza mal backlog de cambio cardan del equipo 314	Ingeniería
		Equipo 330 faltan repuestos que impiden la pronta entrega del equipo	Operaciones

2. Precisión de Servicio

