



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

PLAN DE INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD DE CAMIONES DE
EXTRACCIÓN Y PALAS ELÉCTRICAS EN OPERACIÓN MINERA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

MILTON ALEJANDRO RIVERA TORRES

PROFESOR GUÍA:
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERARDO OCTAVIO DIAZ RODENAS
IVÁN MIGUEL BRAGA CLADERÓN

SANTIAGO DE CHILE
2020

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE: Magister en Gestión y Dirección de Empresas
POR: Milton Alejandro Rivera Torres
FECHA: Noviembre 2020
PROFESOR GUÍA: Enrique Jofré Rojas

PLAN DE INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD DE CAMIONES DE EXTRACCIÓN Y PALAS ELÉCTRICAS EN OPERACIÓN MINERA

El estudio se enfoca en el análisis de resultados de un caso de negocio de un piloto realizado en una empresa de la gran minería del cobre, cuya operación se encuentra ubicada en el norte del país, siendo sus principales productos concentrado de cobre y cátodos de cobre, además obtiene subproductos como oro, plata y molibdeno. La identidad de la compañía no se especifica, por razones personales del autor, por lo que es necesario mantener en resguardo la privacidad de la empresa facilitadora del problema a resolver.

Las grandes empresas mineras se caracterizan por operaciones de gran volumen donde la inversión inicial es alta, por lo cual, es fundamental disponer de un proceso bajo control que maximice la productividad y el retorno a los accionistas además de otras variables como seguridad, medio ambiente, relaciones con las comunidades, etc. que contribuyen a sostener el negocio en el tiempo.

Este piloto se realizó para mejorar la performance del proceso de carguío y transporte ya que estos representan el 32% del presupuesto operacional global de la compañía, además el budget se genera asumiendo que el factor de carga de los camiones es de 95,25% por lo tanto, existe una subutilización conocida de los activos.

Para solucionar o al menos disminuir la brecha, se implementa una herramienta tecnológica llamada Argus que en el fondo busca mejorar el factor de carga de los camiones de extracción (CAEX) y así aumentar el rendimiento de estos y de las palas eléctricas.

Una vez implementado el sistema Argus, se logró un aumento del factor de carga y rendimiento de las palas eléctricas de 3,6%, por lo tanto, es posible disminuir en 1,69 el número de camiones que se requieren para cumplir el plan de producción, trayendo al menos beneficios en seguridad y medio ambiente, ya que reduce el nivel de exposición en 2,3% y las emisiones de CO₂ en 5.211 ton/año, también aumenta el EBITDA en 5,23 MUSD por menor gasto en operación y mantenimiento. Otra posibilidad, es mantener operando los camiones nominales considerados en el presupuesto, con la finalidad de aumentar el movimiento mina y la producción en 4.694 ton Cu fino, mejorando el EBITDA en 15,139 MUSD.

En resumen, el sistema Argus trae beneficios a las variables fundamentales de administración global de un negocio minero (seguridad, medio ambiente, producción y costos).

EXECUTIVE SUMMARY

The study focuses on the analysis of the results of a business case of a pilot carried out in a large copper mining company, whose operation is located in the north of the country, its main products being copper concentrate and copper cathodes. Products like gold, silver and molybdenum. The identity of the company is not specified, for personal reasons of the author, so it is necessary to safeguard the privacy of the company by facilitating the solution of the problem.

The big mining companies are characterized by large-volume operations where the initial investment is high, therefore, it is essential to have a process under control that maximizes productivity and return to shareholders as well as other variables such as safety, environment and relations with communities, etc. that contribute to sustaining the business over the time.

This pilot was carried out to improve the performance of the loading and transportation process since these represent 32% of the company's global operational budget, further; the budget is generated assuming that the load factor of the trucks is 95.25%, therefore, there is a known underutilization of assets.

To solve or at least reduce the gap, a technological tool called Argus is implemented that basically seeks to improve the load factor of extraction trucks (CAEX) and thus increase the performance of these and the electric shovels.

Once the Argus system was implemented, an increase in the load factor and performance of the electric shovels of 3.6% was achieved, therefore, it is possible to reduce the number of trucks required to fulfill with the plan by 1.69 production, bringing at least benefits in safety and environment, since it reduces the level of exposure by 2.3% and CO2 emissions by 5,211 tons / year, it also increases EBITDA by 5.23 MUSD due to lower operating expenses and maintenance. Another possibility is to keep operating the nominal trucks considered in the budget, in order to increase mine movement and production by 4,694 ton Cu fine, improving EBITDA by 15.139 MUSD.

In summary, the Argus system brings benefits to the fundamental variables of a global management of a mining business (safety, environment, production and costs).

DEDICATORIA

A mis querida abuela y cuñada

AGRADECIMIENTOS

Mis mas sinceros agradecimientos a Minera Centinela, quien me entregó todo su apoyo para realizar este MBA

TABLA DE CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
2.1 Segmentación de Empresas Mineras	3
3. ALCANCE	6
4. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	7
4.1 Objetivos Generales	7
4.2 Objetivos Específicos	7
4.3 Metodología.....	7
4.3.1 Ciclo de Deming (PDCA)	8
5. MARCO TEÓRICO	10
5.1 Productividad Nacional.....	11
5.2 Productividad en Minería y El Capital de Inversión	12
5.3 Productividad De La Empresa.....	13
5.4 Sistema Argus.....	13
5.4.1 Regla 10-10-20 o Política de Carga 10-10-20.....	14
5.4.2 Gasto de Inversión y Mantenimiento Sistema Argus	15
6. PLAN DE PRODUCCIÓN.....	17
7. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ARGUS	19
Etapa 1,	19
Etapa 2.....	19
Etapa 3.....	19
Etapa 4,	19
8. PROPUESTA DE MEJORA	20
8.1 Creación Línea Base Factor de Carga	20
8.2 Resultados Obtenidos Con Argus	21
8.3 Benchmark del Factor de Carga.....	22
9. EVALUACIÓN	23
8. CONCLUSIÓN	29
9. BIBLIOGRAFÍA	30
10. ANEXOS	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de Cu 2019 Empresas Estatales y Privadas.....	4
Tabla 2: Producción de Cobre por Tamaño de Empresa Período 2013-2019	5
Tabla 3: Productividad por Sectores (Fuente CNP).....	11
Tabla 4: Inversión (CAPEX) del Sistema Argus.....	15
Tabla 5: Número Camiones por Flota en Budget	17
Tabla 6: Cálculo de Movimiento Mina.....	17
Tabla 7: Pérdida de Carga por Ciclo en Cada Flota Operación Tradicional	20
Tabla 8: Pérdida de Carga por Ciclo en Cada Flota Operación con Argus.....	21
Tabla 9: Benchmark Indicadores Resultados CAEX (Fuente Encare).....	22
Tabla 9: N° Camiones por Flota Considerados en Budget de Producción.....	23
Tabla 10: N° Camiones por Flota al Utilizar Sistema Argus	24
Tabla 11: Disminución Gasto por Optimización Número de CAEX	24
Tabla 12: Disminución Costo Unitario por Optimización N° CAEX.....	24
Tabla 13: Budget Consumo de Combustible en CAEX 797B, 797F y 930	26
Tabla 14: Consumo de Combustible en CAEX Implementado Sistema Argus	26
Tabla 15: Aumento Movimiento Mina Utilizando Argus y Regla 10-10-20	27

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variación de Leyes Cu en el Tiempo	2
Gráfico 2: Variación de Stock Capital en Función del Precio del Cobre (Estudio Realizado por H Solminihac y G. Azúa, Septiembre 2019)	12
Gráfico 3: Distribución Factor de Carga en CAEX (Fuente Caterpillar).....	15
Gráfico 4: Distribución Factor de Carga en Operación Tradicional	20
Gráfico 5: Distribución Factor de Carga en Operación con Argus.....	21
Gráfico 6: Accidentes en Operaciones Mineras, por tipo de evento (Fuente Sernageomín).....	25

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Número de Equipos Mina por Flota.....	6
Ilustración 2: Ciclo de Mejora Continua (Ciclo Deming).....	9
Ilustración 3: Esquema Funcionamiento Sistema Argus (Fuente Mineware)	14

1. INTRODUCCIÓN

Las compañías mineras privadas y estatales, se ven en la obligación de rentabilizar las grandes inversiones que realizan objeto de obtener las utilidades que comprometieron a los accionistas, por lo tanto, el costo considerado en cada uno de los ejercicios de presupuesto (LOM, Budget, 5YP, etc.) se debe minimizar, con la finalidad de maximizar el beneficio de los activos de manera tal de obtener el mayor retorno posible. Dentro de este contexto la empresa donde se realizó el estudio, como productora de cobre no puede influir en el precio de venta de sus productos finales, es decir, su gestión se basa en el volumen y costo de producción, por lo cual, esta tesis se centra en estas dos variables fundamentales en los resultados de negocio minero.

En virtud de lo anterior, la empresa donde se realizó el piloto y cuya identidad se mantiene en reserva por motivos personales del autor de esta tesis, surge la necesidad de mejorar el factor de carga de los camiones de extracción 797B, 797F y 930E y por ende el rendimiento de las Palas Eléctricas 4100 XPC, ya que existe una brecha de un 4,75% promedio de los indicadores antes mencionados con los valores considerados en el Budget y por lo tanto obliga a la organización en invertir y mantener un mayor número de camiones de extracción para cumplir la producción comprometida tanto a sus accionistas como el mercado.

Dado la menor producción y por ende pérdida de negocio que se genera a partir de subutilizar los equipos mina, se implementa una herramienta tecnológica llamada "Argus" cuya función es llevar el proceso de carguío y transporte de una operación por "percepción" donde es la experiencia del operador del equipo de carguío influye en los resultados del proceso a una operación en línea donde los operadores son retroalimentados en todo momento para que el llenado de cada camión se realice al menos según la regla 10-10-20

En resumen, el sistema Argus, busca aumentar la productividad de los camiones de extracción y los equipos de carguío para apalancar los resultados de negocio de la compañía.

2. JUSTIFICACIÓN

La operación eficiente de los rajos es fundamental para aumentar los beneficios a los accionistas, ya que el gasto de esta actividad representa aproximadamente el 32% del presupuesto de operación global de la compañía minera donde se realizó el estudio. En virtud de lo anterior se analizan los indicadores que modelan el movimiento mina, es decir, disponibilidad, utilización y rendimiento de las palas eléctricas y camiones de extracción, siendo este último indicador el foco donde se centra el piloto realizado y esta tesis. Los resultados obtenidos relevan una pérdida del factor de carga de los camiones de extracción de 4,75%, afectando al rendimiento tanto de los equipos de carguío como de los camiones de extracción analizados. En resumen, existe una brecha no menor por subutilización de equipos, por lo tanto, nace la necesidad de buscar alternativas que mejoren el desempeño de las flotas y por ende los resultados del negocio.

Otro factor muy importante que es necesario relevar, es la disminución constante de las leyes de los minerales proyectados hacia el futuro de la compañía, esto implica, que para mantener una operación rentable la exigencia a los equipos mina y planta serán mayores (rendimiento y throughput) respectivamente. A continuación, se ilustran las leyes de mineral de los tres rajos principales en el tiempo.

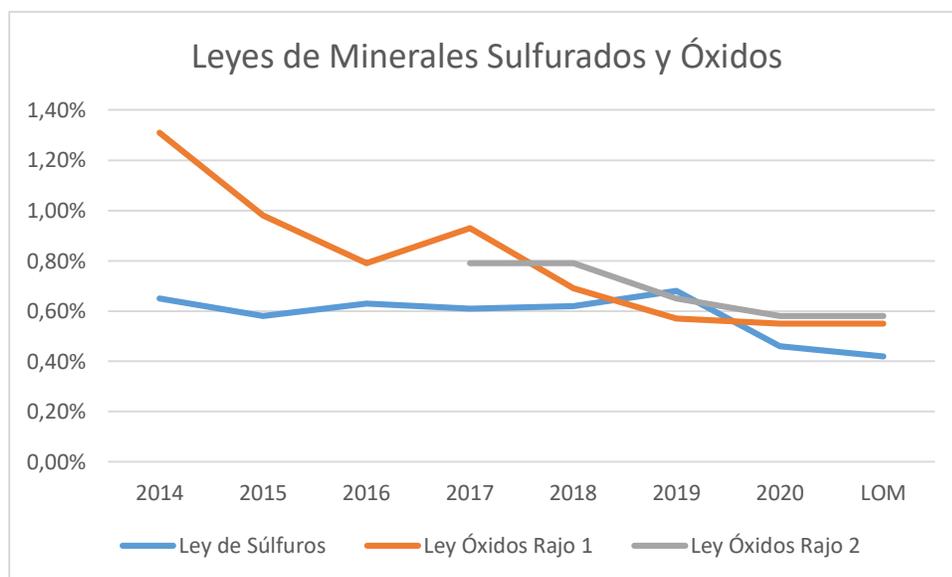


Gráfico 1: Variación de Leyes Cu en el Tiempo

Importante destacar que cada camión en promedio realiza del orden de 14 viajes diarios desde la fase de extracción de mineral hasta el chancado primario (lugar donde descarga) por lo cual, la pérdida de alimentación a las plantas es del orden de 2719 ton/día (valor ponderado)

2.1 Segmentación de Empresas Mineras

Para poner en contexto y comprender la envergadura del negocio donde se desarrolló esta tesis, es necesario indicar que la compañía está incluida en el segmento de empresas de la gran minería del cobre, ya que, su producción durante el año fue de 276.600 ton Cu fino. Los segmentos por tamaño de las empresas mineras son los siguientes:

- Gran Minería
- Mediana Minería
- Pequeña Minería

Si bien es cierto existen diferentes definiciones que enmarcan cada uno de los segmentos antes mencionados, los de mayor aceptación y más conocidos son los siguientes:

- El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMÍN) segmenta las compañías mineras de acuerdo al número de trabajadores, en el caso de la gran minería del cobre, considera aquellas empresas mineras que cuentan con más de 400 personas o más de 1.000.000 horas trabajadas al año.
- El Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCH) segmenta las compañías mineras según el nivel de producción, por lo tanto, en el caso de la gran minería del cobre considera a aquellas empresas mineras donde la explotación es mayor a 8000 toneladas al día, equivalente a más de 50.000 toneladas de Cu fino al año.

En resumen, la definición que mejor representa el segmento de las empresas mineras, es la que entrega el Instituto de Ingeniería de Minas de Chile (IIMCH) es decir en el caso de las empresas de gran minera, son aquellas que producen más de 50.000 toneladas de Cu fino al año.

Según el Anuario de la Minería de Chile, del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMÍN) el año 2019 las empresas del segmento de gran minería en Chile produjeron 5.623.712 ton cobre fino de un total de 5.822.050 ton Cu fino, es decir, el 97% del total de la producción del país, el 3% restante lo produjeron las empresas de mediana y pequeña minería 2% y 1% respectivamente.

Las compañías mineras y holding que forman parte de la gran minería del cobre en Chile son las siguiente:

Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) Empresa estatal chilena, cuya producción el año 2019 fue de 1806 kton de cobre fino, sus divisiones son Chuquicamata, Radomiro Tomic, El Salvador, Andina, Ventanas y El Teniente.

Antofagasta Minerals (AMSA) Principal grupo chileno privado, su producción el año 2019 fue de 770 kton, las compañías que forman parte de este grupo son Minera Zaldívar, Minera Antucoya, Minera Centinela y Minera Los Pelambres.

Angloamerica Chile, es una compañía minera chilena, filial de Anglo American, su producción el año 2019 fue de 638 kton de cobre fino (incluye 248,8 kton por su participación en Minera Doña Inés de Collahuasi) sus faenas son Los Bronces, El Soldado, Chagres y Doña Inés de Collahuasi (44%)

BHP, empresa de capitales australianos, su producción el año 2019 fue de 1452 kton de cobre fino, sus faenas en Chile son Minera Escondida, Spence y Compañía Minera Cerro Colorado.

TIPO PROPIEDAD	PRODUCTOS	PRODUCCIÓN (tmf)
TOTAL PRODUCCIÓN GRANDES EMPRESAS 5.623.712		
EMPRESA ESTATAL	TOTAL (tmf)	1.588.265
	Cátodos (EW y SX)	685.146
	Refinado a Fuego	11
	Blíster	62.364
	Concentrados	840.744
EMPRESAS PRIVADAS	TOTAL (tmf)	4.035.447
	Cátodos(EW y SX)	1.107.875
	Concentrados	2.918.760
	Minerales de concentración	8.812

Tabla 1: Producción de Cu 2019 Empresas Estatales y Privadas

EMPRESA/AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
TOTAL	5.851.120	5.793.131	5.832.551	5.626.376	5.557.964	5.872.027	5.822.050
Grandes	5.461.320	5.478.043	5.568.702	5.370.629	5.332.958	5.653.698	5.623.712
Participación (%)	93	95	95	95	96	96	97
Medianas	306.507	246.990	205.416	194.732	165.263	169.380	147.603
Participación (%)	6	4	4	4	3	3	2
Pequeñas	83.293	68.098	58.433	61.015	59.743	48.949	50.735
Participación (%)	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 2: Producción de Cobre por Tamaño de Empresa Período 2013-2019

3. ALCANCE

El alcance y objetivo de esta Tesis es mejorar el resultado global del negocio de la compañía minera donde se desarrolló el estudio, por lo cual, como se explicó anteriormente es necesario mejorar el rendimiento de las palas eléctricas 4100 XPC y los camiones de extracción. Para ello, se utilizó la herramienta informática llamada Argus que tiene como principal objetivo aumentar el factor de carga de los CAEX pasando de una operación de carguío por percepción a una operación donde el operador es retroalimentado e instruido en línea para maximizar el carguío que realiza a cada camión, de esta manera, mejora el rendimiento de las máquinas y aumenta el material que transportan los camiones en la misma cantidad de ciclos, sin incremento de las horas operacionales evitando mayor costo en el proceso de extracción y carguío. Importante destacar que el gasto de carguío y transporte es aproximadamente el 45% del gasto total de operación de mina.

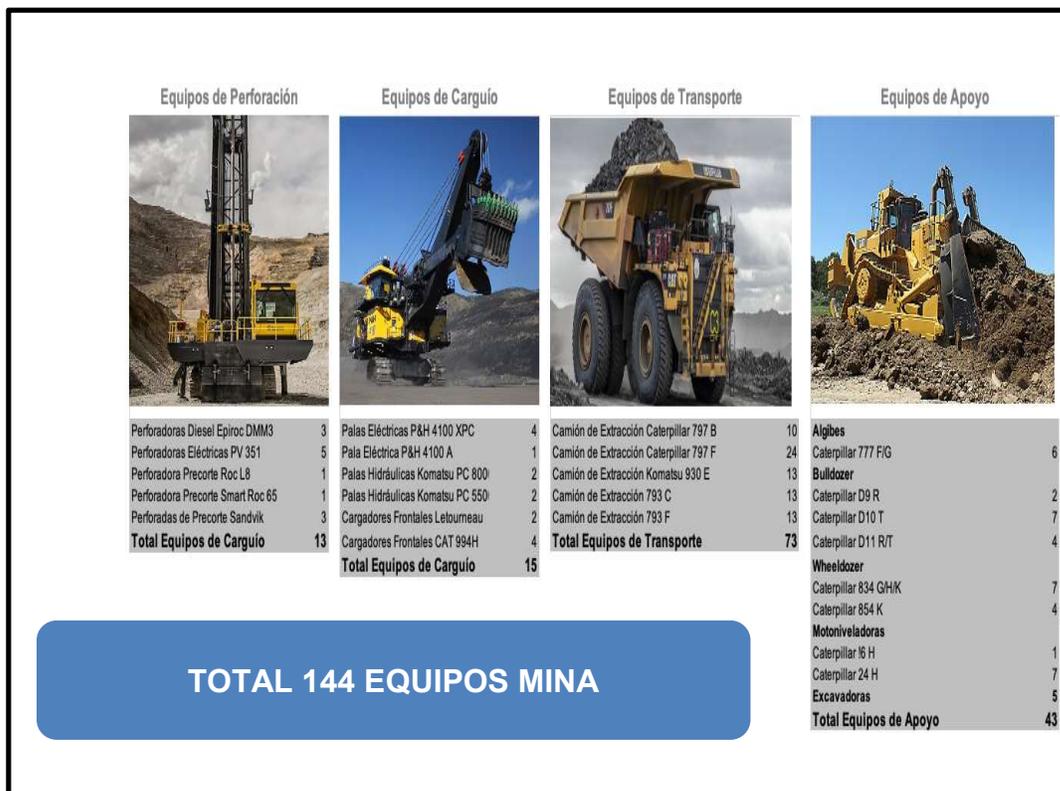


Ilustración 1: Número de Equipos Mina por Flota

4. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

4.1 Objetivos Generales

Mejorar el resultado global de la compañía, incrementando la productividad del proceso de carguío y transporte, maximizando el rendimiento de los camiones de extracción y de las Palas P&H 4100 XPC, para alcanzar el plan de producción y los resultados del negocio a costo competitivo, a su vez, que esta iniciativa sea replicable en otros equipos y faena del holding.

4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la implementación de una herramienta tecnológica llamada Argus para aumentar la productividad del proceso de carguío de una operación minera en los equipos de mayor tonelaje (pilas eléctricas y camiones de extracción de 350 ton)
- Identificar oportunidades de negocio que nacen producto de un aumento de productividad de la operación del yacimiento.
- Traspasar el uso del sistema Argus a equipos de carguío y transporte de menor volumen (cargadores frontales, camiones de extracción de 250 ton)
- Expandir el uso del sistema Argus en otras faenas de holding
- Disminuir el costo de operación mina
- Aumentar las utilidades de la compañía

4.3 Metodología

La industria minera constantemente busca alternativas que logren mejorar la eficiencia de sus procesos con la finalidad de alcanzar los márgenes financieros definidos en los diferentes ejercicios de presupuesto. La compañía minera donde se desarrolló el piloto de instalar el sistema Argus no está ajena a esto, sobretodo, si las leyes de los minerales que serán aportadas a las plantas bajan considerablemente como lo indicada en la Figura 2 0,41% ley de sulfuro y 0,59% ley oxidado (promedio LOM*)

En virtud de lo anterior, se analizará la práctica actual de carguío de los camiones de extracción, ya que existe una oportunidad de mejora que puede ser abordada con la implementación del sistema Argus y de esta manera alcanzar la propuesta de valor que ofrece el piloto (Asegurar el factor de carga adecuado para cada flota de camiones de extracción según la norma 10/10/20) En resumen, como proceso de mejora continua, es necesario, alcanzar el indicador de carguío de los camiones de extracción, para ello , se utilizará el ciclo de Deming.

NOTA: Importante destacar que el proceso de carguío y transporte representan el 19% del total del presupuesto de operación de la compañía (budget 2019)

4.3.1 Ciclo de Deming (PDCA)

El Ciclo PDCA también conocido como "Círculo de Deming", ya que fue el Dr. Williams Edwards Deming uno de los primeros que utilizó este esquema lógico en la mejora de la calidad y le dio un fuerte impulso. Basado en un concepto ideado por Walter A. Shewhart, el Ciclo PDCA constituye una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, también se lo denomina espiral de mejora continua y es muy utilizado en diversos sistemas y organizaciones para gestionar aspectos tales como calidad (ISO 9000), medio ambiente (ISO 14000), salud y seguridad ocupacional (OHSAS 18000), o inocuidad alimentaria (ISO 22000) La siglas PDCA son el acrónimo de las palabras inglesas Plan, Do, Check, Act, equivalentes en español a Planificar, Hacer, Verificar, y Actuar.

- **PLAN (Planificar):** Establecer los objetivos y procesos necesarios para obtener los resultados de acuerdo con el resultado esperado. Al tomar como foco el resultado esperado, difiere de otras técnicas en las que el logro o la precisión de la especificación es también parte de la mejora.
- **DO (Hacer):** Implementar los nuevos procesos. Si es posible, en una pequeña escala.
- **CHECK (Verificar):** Pasado un período previsto con anterioridad, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada. Se deben documentar las conclusiones.
- **ACT (Actuar):** Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario. Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado errores en el paso anterior.

*LOM: La sigla LOM, es el acrónimo de las palabras inglesas Life Of Mine, equivalentes en español Vida De La Mina



Ilustración 2: Ciclo de Mejora Continua (Ciclo Deming)

La interpretación de este ciclo es muy sencilla, cuando se busca obtener algo, lo primero que hay que hacer es planificar cómo conseguirlo, después se procede a realizar las acciones planificadas (hacer), a continuación, se comprueba qué tal se ha hecho (verificar) y finalmente se implementan los cambios pertinentes para no volver a incurrir en los mismos errores (actuar). Nuevamente se empieza el ciclo planificando su ejecución, pero introduciendo las mejoras provenientes de la experiencia anterior.

5. MARCO TEÓRICO

Las empresas independiente de su rubro requieren mantener bajo control diferentes variables que aseguren los resultados de negocio, estos indicadores o KPI's son fundamentales en la dirección de una compañía que necesita ser rentable y sostenible, para ello, normalmente se orientan en seguridad, costos y producción, siendo este último, el que debe obtenerse de manera eficiente, es ahí, cuando se releva el concepto productividad.

¿Qué se entiende por productividad?

Existes diferentes definiciones que representan el concepto "productividad" algunos de ellos son los siguientes:

Dawis (1955) : Cambio en el producto obtenido por los recursos gastados.

Fabricant (1962) : Siempre una razón entre la producción y los insumos.

Siegel (1976) : Una familia de razones entre la producción y los insumos.

Lewitan (1984) : Relación entre los recursos utilizados y los productos obtenidos, denota la eficiencia con la cual los recursos (humanos, capital, conocimientos, energía, etc.) son usados para producir bienes y servicios en el mercado.

STPS (1989) : Es el resultado de un completo proceso social que incluye la ciencia, la investigación, el desarrollo, la educación, la tecnología, la administración, las facilidades de producción, los trabajadores y la organización para el trabajo.

Génesis (1995) : Es el resultado de la articulación entre el aumento cuantitativo y cualitativo de la producción, la utilización óptima de los insumos materiales, el mejoramiento de la calidad, condiciones de trabajo y vida, así como la calidad de los recursos humanos.

La productividad es una medida económica que calcula cuántos bienes y servicios se han producido por cada factor utilizado (trabajador, capital, tiempo, costes, etc.) durante un periodo determinado.

5.1 Productividad Nacional

En los últimos años, se ha acordado de manera transversal la necesidad de mejorar la productividad en Chile, esto, porque a un mayor nivel de este indicador la calidad de vida de las personas aumenta, de hecho, en los países donde la productividad es mas alta, las personas gozan de más tiempo libre, productos de mejor calidad a menor precio, por lo que lo salarios reales son mas altos. Además, los beneficios a las empresas aumentan promoviendo la inversión a largo plazo. Por lo tanto, es muy importante analizar o al menos conocer los índices de productividad de los principales sectores que promueven la economía del país. A continuación, se ilustra la productividad por sectores a nivel nacional.

Periodo	Agricultura, Caza y Pesca	Minería	Industria	Electricidad, Gas y Agua	Construcción	Comercio, Hoteles y Restaurantes	Transporte y Comunicaciones	Servicios
1990 - 1995	5,8%	1,5%	3,5%	9,4%	2,6%	6,9%	3,6%	1,8%
1995 - 2000	3,3%	2,5%	0,9%	-1,6%	-0,7%	-1,2%	2,9%	0,9%
2000 - 2005	6,7%	-8,1%	0,7%	1,8%	2,1%	3,1%	1,5%	3,0%
2005 - 2010	3,1%	-8,4%	-1,0%	-6,3%	-1,7%	3,6%	-1,2%	1,7%
2010 - 2015	0,9%	-8,5%	-1,0%	0,7%	-3,0%	2,1%	2,2%	-0,1%
2016	0,7%	2,7%	-2,2%	-4,1%	-0,4%	-2,1%	2,9%	-0,5%
2017	-0,5%	-1,4%	-0,5%	-0,9%	-6,0%	1,4%	0,7%	-2,8%
2018	4,1%	4,1%	3,4%	4,0%	1,0%	3,4%	1,8%	-0,1%

Tabla 3: Productividad por Sectores (Fuente CNP)

5.2 Productividad en Minería y El Capital de Inversión

El precio de los commodities es variable en el tiempo, sin embargo, existen periodos donde el valor de la libra de cobre ha superado las expectativas de cualquier analista, ha estos periodos, se les llama súper ciclo, un ejemplo claro de esto es el primer semestre del año 2011, donde el valor promedio fue de 462,45 cUSD/lb. Si bien es cierto la parte positiva de mantener altos precios es el aumento de las utilidades de las compañías, lamentablemente maximizar los ingresos va en desmedro del control de costos y productividad, causando daño a la sostenibilidad del negocio en el largo plazo. A continuación, el gráfico 1 ilustra la variación de capital respecto del valor promedio anual de la libra de cobre

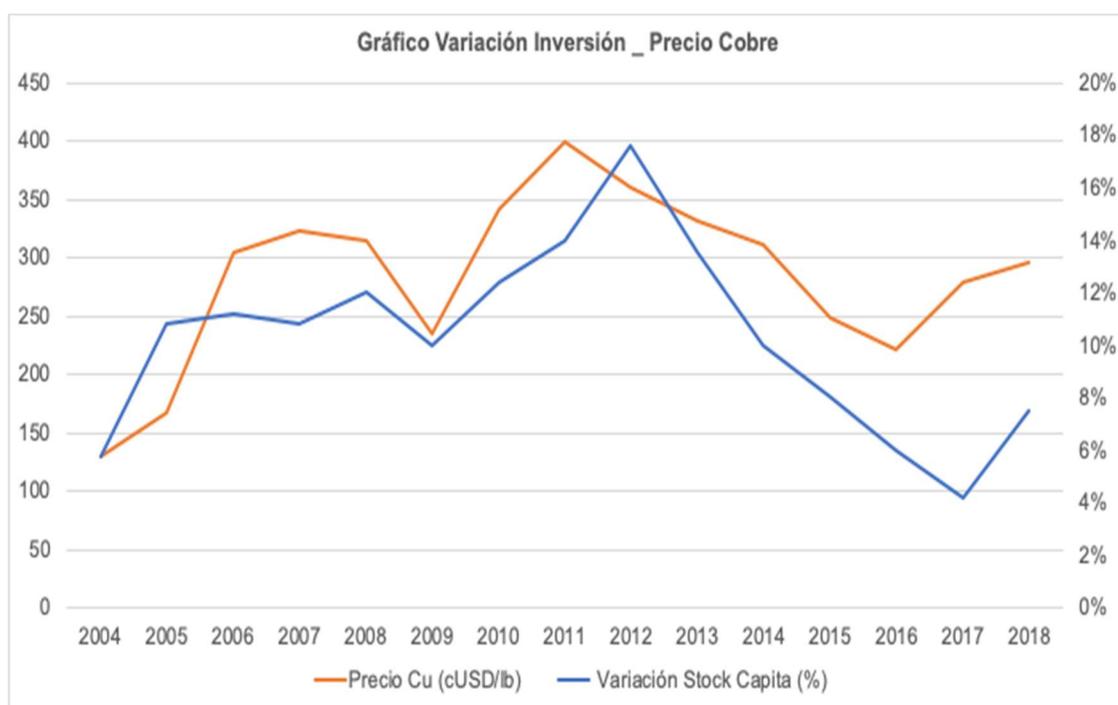


Gráfico 2: Variación de Stock Capital en Función del Precio del Cobre (Estudio Realizado por H Solminihac y G. Azúa, septiembre 2019)

Al analizar el gráfico anterior, se observa cómo sube o disminuye capital en función del precio del cobre, en términos simples, el gráfico representa el uso ineficiente de los recursos cuando el precio de venta es alto y cómo se contraen cuando baja. En resumen, el uso eficiente de los recursos depende mucho del valor de la libra de cobre.

5.3 Productividad De La Empresa

En línea con lo descrito en el punto anterior, la realidad de la empresa donde se realizó el estudio no es diferente, ya que, al revisar los resultado del proceso de carguío y transporte en la operación del rajo, se observó una brecha entre los planes y los resultados obtenidos, es decir, la productividad es menor a la considerada en el budget, por este motivo, es necesario mejorar el rendimiento (toneladas transportadas/hora) por lo cual el factor de carga de los camiones y el rendimiento de las palas eléctricas es fundamental para obtener una operación del rajo eficiente evitando mayores gastos de inversión y operación, CAPEX y OPEX respectivamente

5.4 Sistema Argus

El sistema Argus diseñado por la empresa MineWare (perteneciente al Holding Komatsu) es una solución de monitoreo independiente para palas eléctricas y excavadoras hidráulicas que mejora la productividad y reduce los costos de mantenimiento, esto, porque busca aumentar el factor de carga de los camiones de extracción y por ende el rendimiento tanto de los equipos de carguío como transporte sin exceder las condiciones de diseño, esto quiere decir, que busca maximizar la productividad sin afectar la integridad de las personas y activos, ya que las sobrecargas (que es lo que normalmente sucede cuando de manera empírica se busca mejorar el factor de carga) daña los sistemas de dirección y freno de los camiones de extracción poniendo en riesgo la seguridad de los operadores y disminuye la vida útil de los componentes aumentando el gasto en mantenimiento.

Como se indicó anteriormente, el sistema Argus busca aumentar la productividad del proceso de transporte, mejorando el factor de carga de los camiones de extracción y el rendimiento del equipo de carguío, en este caso, de las Palas Eléctricas P&H 4100 XPC y los camiones 797B, 797F y 930E sin alterar las condiciones de diseño definidas por cada fabricante. Esto es posible pasando de una operación tradicional, donde es el conocimiento, experiencia y percepción principalmente del operador del equipo de carguío también llamado “palero” a una operación en línea donde ambos operadores (del equipo de carguío y del camión de extracción) son retroalimentados constantemente para asegurar la máxima carga de cada camión sin afectar funcionamiento correcto de este, ya que, no son excedidas las condiciones de diseño. Esto es posible conseguirlo, utilizando la norma 10-10-20, conocida tanto por operadores como mantenedores, por lo tanto, lo que busca el sistema Argus, es maximizar el rendimiento de cada camión de acuerdo a la norma antes mencionada.

* Regla 10-10-20 es la definición operacional que entregan los fabricantes de los camiones de extracción para asegurar el funcionamiento de los equipos dentro de las condiciones de diseño maximizando su beneficio

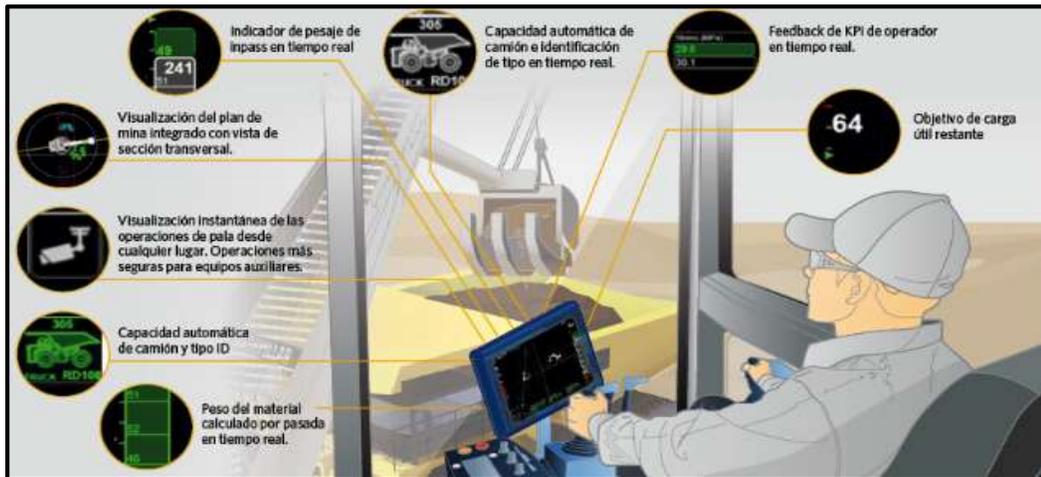


Ilustración 3: Esquema Funcionamiento Sistema Argus (Fuente Mineware)

5.4.1 Regla 10-10-20 o Política de Carga 10-10-20

La regla 10-10-20 es la normativa que utilizan los principales fabricantes de camiones de extracción como Caterpillar, Komatsu, Liebherr, etc. Esta entrega las recomendaciones de carga para sus diferentes modelos de equipos para maximizar el rendimiento (ton/hr) y de esta manera obtener la mayor eficiencia global del activo OEE*, es decir, por medio de esta regla los fabricantes entregan las recomendaciones para que cada camión transporte la mayor cantidad de material posible sin exceder las condiciones con las cuales fue diseñada cada modelo de camión. En resumen, la regla 10-10-20 indica lo siguiente:

- 10 Todas las cargas pueden realizarse entre el 101% y 109% de la capacidad nominal definida por el fabricante.
- 10 10% de las cargas pueden estar entre 110% y 119% de la capacidad nominal definida por el fabricante.
- 20 Ninguna carga puede exceder el 120% de la capacidad nominal definida por el fabricante.

Por lo tanto, el máximo factor de carga y por ende rendimiento es posible alcanzarlo si el 90% de las cargas se realizan entre 101% a 109% y el 10% restante se realiza entre 110% y 119%

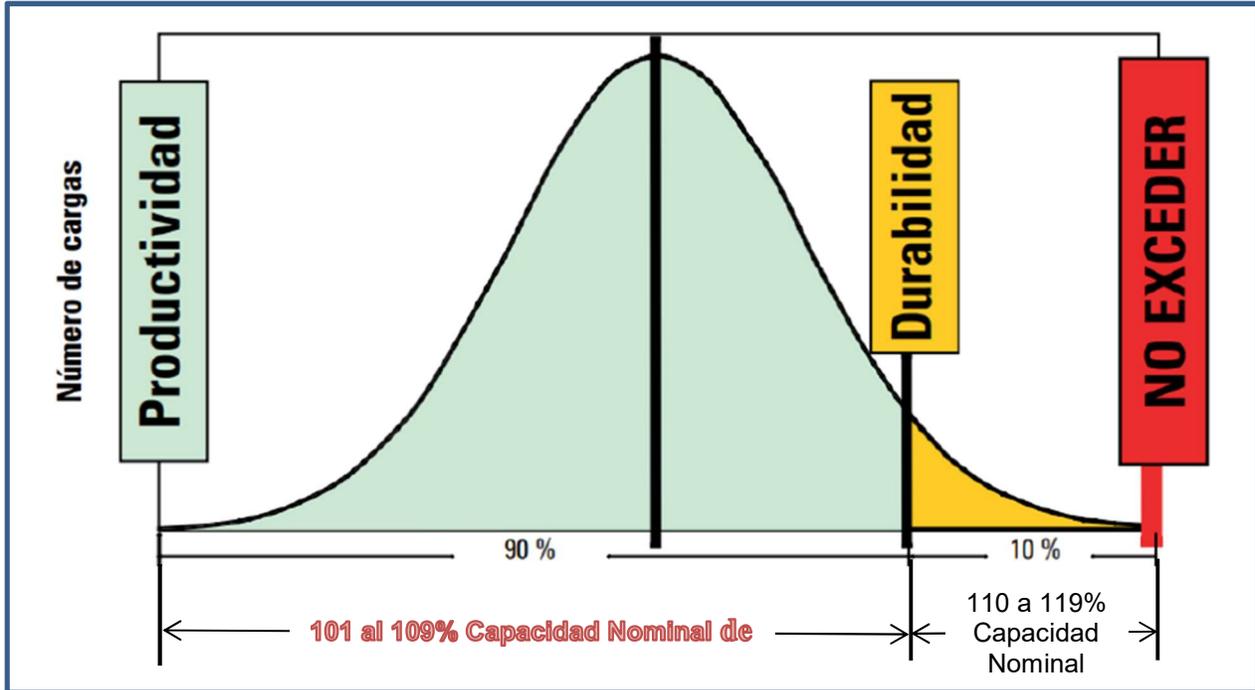


Gráfico 3: Distribución Factor de Carga en CAEX (Fuente Caterpillar)

5.4.2 Gasto de Inversión y Mantenimiento Sistema Argus

Como se explicó anteriormente, la prueba fue realizada en 2 de las 4 palas eléctricas que están en operación, por lo tanto, los resultados que se obtengan de esta prueba serán los que orienten la decisión final que tome el Comité Ejecutivo de la compañía de implementar la instalación de Argus en el total de los equipos de carguío y transporte (palas eléctricas, palas hidráulicas, cargadores frontales, todas las flotas de camiones de extracción, independiente de su capacidad y marca)

Al considerar la implementación al total en las palas eléctricas 4100XPC más los 47 camiones de extracción de mayor capacidad (797B, 797F y 930E) el gasto de implementación asociado a inversión (CAPEX) será el siguiente:

Ítem	Descripción	Valor Unitario (kUSD)	Unidades	Subtotal (kUSD)
1	Instalación en Pala Eléctrica	200	4	800,00
2	Logística por Pala	60	4	240,00
3	Instalación en Camión	0,635	47	29,85
TOTAL				1069,85

Tabla 4: Inversión (CAPEX) del Sistema Argus

Desde el punto de vista de la operación, es necesario considerar el soporte que entrega la empresa Mineware, ellos ofrecen el servicio de mantenimiento por cada punto, es decir, por el buen funcionamiento del sistema en cada pala a un valor de 65 kUSD anuales. Esto implica que todos los años será necesario incluir en el presupuesto de operacional de la compañía un OPEX de 260 kUSD Este monto incluye soporte a distancia y una visita mensual a faena para asegurar disponibilidad y confiabilidad de la información, importante mencionar, que 260 kUSD no es un monto elevado dentro del budget operacional de la compañía ya que su presupuesto anual OPEX es de aprox. 1.200 MUSD

6. PLAN DE PRODUCCIÓN

El presupuesto o budget de producción es de 275.500 ton de Cobre fino de los cuales 190.300 ton corresponden a concentrado de cobre y 85.200 a cátodos de cobre más 199.100 onzas de Oro, 1.561 ton de Molibdeno y 1.322 ton de Plata, con un gasto operacional (OPEX) de 1.287 MUSD. Por lo tanto, el costo unitario de cada libra de cobre presupuestado después de los créditos obtenidos de la venta de los subproductos (Oro y Plata) es de 133 cUSD/lb

Para lograr los compromisos de producción señalado en el párrafo anterior, es necesario la extracción de mineral de los diferentes rajos, ya sea, operados con personal y equipos propios como por terceros. En el caso de las flotas de camiones analizadas en el estudio, el movimiento de estos es de 137,625 kton de un total de 259,8 kton. El detalle es el siguiente:

Ítem	Flota	Factor de Carga	Nº Nominal de Camiones	Movimiento (kton)
1	797B	95,25%	10	35.601
2	797F	95,25%	24	74.269
3	930E	95,25%	13	27.755
Total		95,25%	47	137.625

Tabla 5: Número Camiones por Flota en Budget

Los movimientos de cada flota indicados en la tabla anterior, se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Tonelaje (kton)} = (\text{Nº CAEX} * \text{Horas Nominales} * \text{Dispo. Física} * \text{Utili} * \text{Rend}) / 1.000$$

Flota	Nº CAEX	Horas Nomi por CAEX(hrs)	Dispo. Física (%)	Utili (%)	Rend (ton/hr)	Tonelaje (kton)
797F	24	8.760	83%	74%	575,15	74.269
797B	10	8.760	83%	73%	670,75	35.601
930E	13	8.760	85%	72%	398,24	27.755
Total						137.625

Tabla 6: Cálculo de Movimiento Mina

Como se observa en la tabla 6, el cálculo de movimiento de las tres flotas de camiones de extracción, se realiza asumiendo que el factor de carga es menor al de

diseño indicado por los fabricantes, por lo tanto, el budget se crea a partir de una subutilización de los equipos de transporte, generando pérdida de negocio. En virtud de lo anterior, se observa la oportunidad de buscar una alternativa que logre corregir esta desviación, objeto de buscar mejores resultados a los considerados en el budget, es decir, aparece la oportunidad de “desafiar” el presupuesto para obtener mayores beneficios al resultado global del negocio.

7. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ARGUS

Como se indicó en el punto 5 el plan de producción se construye asumiendo una subutilización de los camiones de extracción (95,25%) por lo cual, si el sistema Argus cumple la promesa de valor definida en el caso de negocio, la productividad del proceso de extracción y carguío aumentará, es decir, sería posible obtener durante el ejercicio beneficios mayores a los considerados en el budget.

Para implementar el sistema Argus, se definieron dos Palas Eléctricas marca P&H modelo 4100 XPC y las tres flotas de camiones más importantes desde el punto de vista de capacidad, ubicadas en fases de movimiento de estéril para no poner en riesgo la alimentación de mineral a la planta ante una falla o imprevisto, las etapas de implementación son las siguientes:

Etapas 1, creación de línea base: Esta etapa inicial del proyecto busca definir y confirmar el valor el factor de carga de los camiones de extracción y el rendimiento de las palas eléctricas operando las máquinas de manera tradicional, es decir, según la percepción de los operadores y con retraso de feedback ya que el pesaje de los camiones se realiza en la romana ubicada en un lugar distante que no interfiere en la ruta.

Etapas 2, instalación del sistema: Como se explicó anteriormente la instalación del sistema Argus se realiza en dos palas eléctricas y en los 47 camiones que se distribuyen de la siguiente manera 10 camiones 797B, 24 camiones 797F y 13 camiones 930E todos ellos con diferentes capacidades de carga 360 ton, 363 ton y 286 ton respectivamente.

Etapas 3, capacitación de los operadores: Simultáneamente a la instalación de los dispositivos, se capacita a los operadores sobre el uso y funcionamiento del sistema, explicándoles cómo se utiliza esta herramienta de gestión y cómo pueden obtener el mayor beneficio.

Etapas 4, puesta en marcha: Una vez instalados los dispositivos y capacitados los operadores se da inicio a la prueba con el sistema en funcionamiento, es aquí donde los operadores comienzan a ser retroalimentados por el sistema en cada "pase" o baldada que realiza sobre el camión, con la finalidad de alcanzar el mayor factor de carga de manera sostenida.

8. PROPUESTA DE MEJORA

8.1 Creación Línea Base Factor de Carga

Como se indica en el punto 2C la primera etapa del piloto es definir una línea base de los factores de carga de los 3 modelos de camiones con mayor capacidad que operan en los rajes, por lo tanto, este KPI antes de iniciar las pruebas se obtiene durante la operación convencional, de acuerdo con esto, los resultados obtenidos son los siguientes:

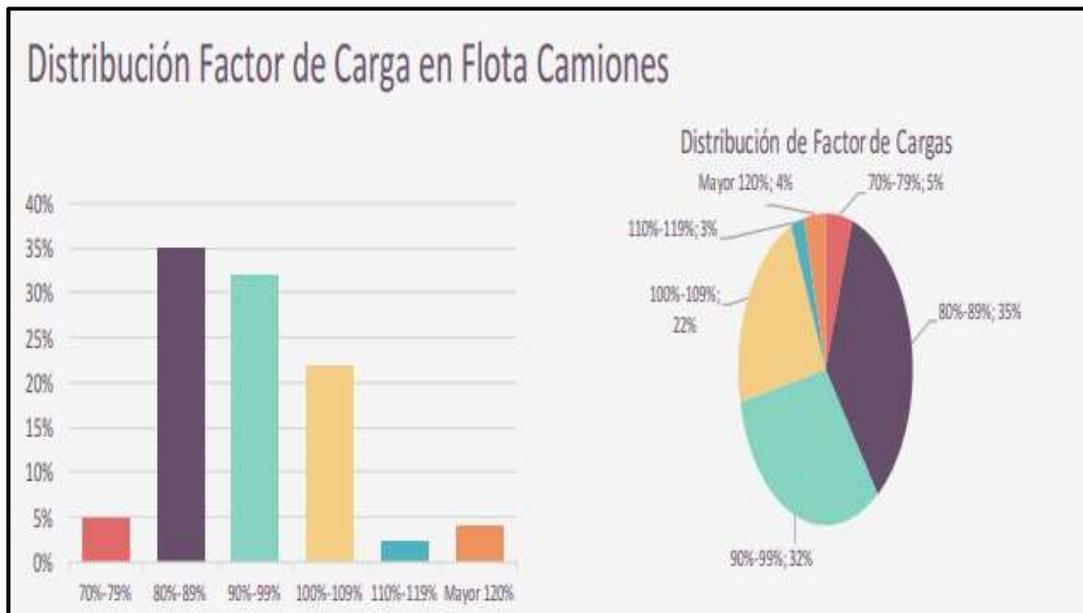


Gráfico 4: Distribución Factor de Carga en Operación Tradicional

Como se observa en el gráfico se comprueba que el factor de carga de los camiones es de 95,25% cuando se opera de manera tradicional, es decir, cuando la experiencia, habilidad y percepción de los operadores es lo que gestiona la productividad de los camiones y movimiento total mina.

Ítem	Flota	Factor de Carga	Capacidad (ton)	Pérdida (ton)
1	797B	95,25%	360	17,1
2	797F	95,25%	363	17,2
3	930E	95,25%	286	13,6

Tabla 7: Pérdida de Carga por Ciclo en Cada Flota Operación Tradicional

8.2 Resultados Obtenidos Con Argus

Como se indica en el 8.1 el factor de carga obtenido en la operación convencional es de 95,25% por lo tanto, la segunda etapa es obtener el valor o resultado del factor de carga de los mismos camiones, pero ahora, con el sistema Argus operando, es decir, entregando feedback en línea a los operadores de los equipos de carguío, buscando un mejor llenado en cada camión. Los resultados obtenidos son los siguientes:

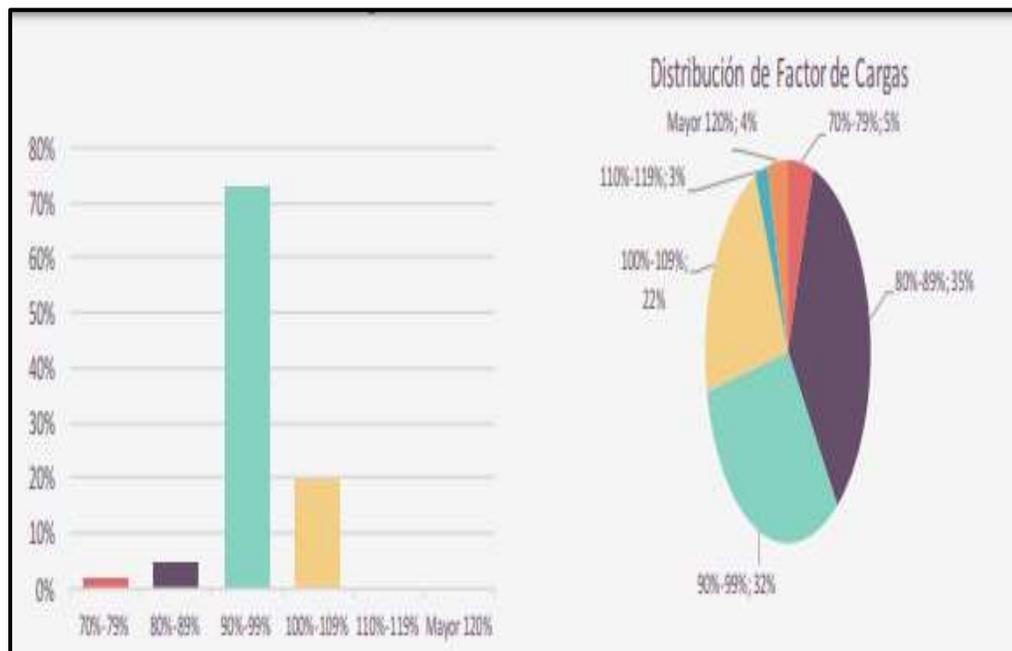


Gráfico 5: Distribución Factor de Carga en Operación con Argus

Al observar la figura 9, es posible observar que el factor de carga promedio de los camiones aumenta de 95,25% a 98,85% si bien es cierto no se logra el óptimo definido por cada fabricante, si es posible mejorar un 3,6% el indicador por lo cual la pérdida entre un ejercicio y otro es menor, ahora las pérdidas por cada ciclo en cada uno de los viajes de los camiones son los siguientes como muestra la tabla:

Ítem	Flota	Factor de Carga	Capacidad (ton)	Pérdida (ton)
1	797B	98,85%	360	4,14
2	797F	98,85%	363	4,17
3	930E	98,85%	286	3,29

Tabla 8: Pérdida de Carga por Ciclo en Cada Flota Operación con Argus

8.3 Benchmark del Factor de Carga

Si bien es cierto, una vez realizado el piloto fue posible observar mejoras en el factor de carga de los camiones de extracción, no está demás realizar una comparación del rendimiento operativo de estas máquinas con el resto de la industria objeto de identificar si existen brechas que sean necesarias abordar. Es importante destacar que el sistema Argus no está instalado en ninguna flota, por lo tanto, la comparación es homogénea. A continuación, se ilustra tabla de KPI's de la flota de camiones.

CONTINUACIÓN TABLA: CAMIONES 300 t												
Indicador	Gráfico	Unidad	X19	X35	X35	X36	X36	X36	X38	X38	X40	Promedio
Modelo			930E	797F	930E	797B	797F	930E	797A	930E	930E	-
Nº de Equipos		Nº	92	6	44	10	24	13	4	11	56	29
Edad Promedio	24	h	25,454	4,215	15,087	47,358	30,313	17,585	68,106	2,714	s/i	31,241
Disponibilidad	23	%	87,72	s/i	s/i	83,41	82,60	86,63	83,33	82,20	87,46	86,52
Utilización Operativa Nominal	26	%	76,42	s/i	s/i	62,26	67,21	68,75	43,90	68,84	74,38	64,28
Utilización Operativa Disponible	27	%	87,12	s/i	s/i	74,64	81,37	79,36	52,69	83,75	85,05	74,29
Rendimiento Operativo	25	t/h	364,13	s/i	s/i	469,20	373,29	385,19	809,76	788,07	493,65	410,60
MTBF		h	38,69	40,15	64,15	48,86	65,53	83,38	29,60	45,10	42,09	50,61
MTTR		h	3,16	4,38	3,50	3,97	5,02	4,71	9	7,85	6,01	5,14

n/a: No aplica.
s/i: Sin información.
s/u: Sin unidad.

Tabla 9: Benchmark Indicadores Resultados CAEX (Fuente Encare)

La compañía en la que se realizó el piloto el benchmark la identifica como X36, por lo tanto, se observa un desempeño mayor a las 410,60 toneladas por hora del promedio de las 13 empresas que participaron en el estudio, ya que la flota 797B de X36 tiene un rendimiento operativo de 469,20 toneladas por hora, sin embargo, en la flota 797F el rendimiento operativo de X36 es de 373,29 toneladas por hora, es decir 37,31 toneladas por hora menos que el promedio de las compañías estudiadas. Esto ratifica que es necesario realizar planes de acción que mejoren el rendimiento de los camiones.

NOTA: Los camiones 930E no pueden ser comparados con el estudio realizado por Encare, ya que su capacidad nominal por diseño es menor a la de los camiones 797, por lo cual, no son comparables los rendimientos operativos

9. EVALUACIÓN

Como es posible observar, el plan de producción considera un factor de carga de los camiones que asume una subutilización de 4,75% ya que al realizar el proceso de carguío de manera tradicional solo se logra un 95,25% de la capacidad nominal cada camión. Esto explica el mayor gasto y costo unitario que se produce en transporte debido al mayor número de horas operativas que deben entregar las máquinas para lograr el movimiento de material considerado en el plan, por lo cual, aumentan las principales variables que son parte del gasto como combustible, mantenimientos planificados, cambio de componentes, etc. todo esto encarece el proceso.

Producto de lo anterior, es necesario continuar mejorando el factor de carga, principalmente utilizando la regla 10-10-20 ya que maximizar el rendimiento mejora la eficiencia global del activo, generando un proceso mejor al definido en el budget, es decir, el gasto y costo unitario disminuyen obteniendo como resultado un proceso mas eficiente.

En resumen, aumentar el factor de carga de los camiones de extracción traerá oportunidades de negocio que contribuirán a mejorar los indicadores financieros y de producción, según esto se analizan las siguientes opciones:

Opción 1 Disminuir el Número de Camiones de Extracción

Si bien es cierto, el Sistema Argus durante las pruebas fue regulado para alcanzar 100% del factor promedio de carga de cada camión, es posible mejorar aún mas el rendimiento de los procesos de carguío y transporte, para ello, es necesario maximizar la regla 10-10-20 explicada en el punto 5.4.1 A continuación se indican los números de camiones necesario para cumplir el movimiento mina utilizando un factor de carga de 95,25% (definido en el budget) y 98,85% (alcanzado con sistema Argus)

○ Número de camiones definidos en el presupuesto

Ítem	Flota	Nº Nominal de Camiones	Movimiento (kton)
1	797B	10	35.601
2	797F	24	74.269
3	930E	13	27.755
TOTAL		47	137.625

Tabla 9: Nº Camiones por Flota Considerados en Budget de Producción

○ **Número de Camiones Utilizando Sistema Argus**

1	797B	9,64	35.601
2	797F	23,14	74.269
3	930E	12,53	27.755
TOTAL		45,31	137.625

Tabla 10: N° Camiones por Flota al Utilizar Sistema Argus

Como se observa en el cuadro anterior, el número disminuye de 47 a 45,31 camiones, producto de esto es posible detener 1,69 camiones sin afectar el plan de producción, esto trae consigo un beneficio económico directo, ya que es posible disminuir el gasto y costo unitario del proceso de transporte.

En virtud de lo anterior, la disminución en el gasto y costo unitario es el que se indican en las siguientes tablas:

Flota	N° CAEX	% Mejora Factor de Carga	Menor N° CAEX	Gasto (USD)			Ahorro (USD)		
				Operaciones	Mantenimiento	Total	Operaciones	Mantenimiento	Total
797B	10	3,6%	0,36	\$ 9.700.625	\$ 16.517.029	\$ 26.217.654	\$ 349.223	\$ 943.836	\$ 1.293.058
797F	24	3,6%	0,86	\$ 23.779.279	\$ 33.375.626	\$ 57.154.905	\$ 856.054	\$ 2.057.577	\$ 2.913.631
930E	13	3,6%	0,47	\$ 11.885.946	\$ 16.709.757	\$ 28.595.703	\$ 427.894	\$ 601.551	\$ 1.029.445
	47	3,6%	1,69	\$ 45.365.850	\$ 66.602.412	\$111.968.262	\$ 1.633.171	\$ 3.602.963	\$ 5.236.134

Tabla 11: Disminución Gasto por Optimización Número de CAEX

En términos de costo unitario (USD/ton) el ahorro que es posible generar es el siguiente:

Flota	Presupuesto				Presupuesto			
	N° CAEX	Tonelaje Plan	Gasto USD	C. Unitario (USD/ton)	N° CAEX	Tonelaje Plan	Gasto USD	C. Unitario (USD/ton)
797B	10	35.601.000	\$ 26.217.654	0,74	9,64	35.601.000	\$ 24.924.596	0,70
797F	24	74.269.000	\$ 57.154.905	0,77	23,14	74.269.000	\$ 54.241.274	0,73
930E	13	27.755.000	\$ 28.595.703	1,03	12,53	27.755.000	\$ 27.138.364	0,98
	47	137.625.000	\$ 111.968.262	0,81	45,31	137.625.000	\$106.304.234	0,77

Tabla 12: Disminución Costo Unitario por Optimización N° CAEX

NOTA: La máxima disminución teórica es de 6,63 camiones (3,39 797F, 1,41 797B y 1,83 930E) utilizando al máximo potencial de la regla 10-10-20, con esto, los rendimientos suben de 575,15 ton/hr a 669,65 ton/hr en los 797F, de 670,75 ton/hr a 780,96 ton/hr en los 797B y de 398,24 ton/hr a 463,67 ton/hr en los 930E

Seguridad: El número de total de camiones de extracción que operan en los diferentes rajos es de 73 unidades, por lo tanto, al disminuir 1,69 camiones en el año implica una reducción de 2,3% este mismo valor de reducción se refleja un menor nivel de exposición, aumentando los indicadores de seguridad por el menor tráfico de camiones en las rutas, es importante destacar, que la pérdida de control de equipos mina, es un riesgo que en gran parte de las compañías mineras se encuentra identificado dentro de las matrices de probabilidad y consecuencia como una actividad de alto riesgo, por lo cual, se invierten recursos importantes en medidas de mitigación que evitan la interacción entre equipos minero y/o vehículos menores

A continuación, se muestra el gráfico de tipos de accidentes de la industria minera:

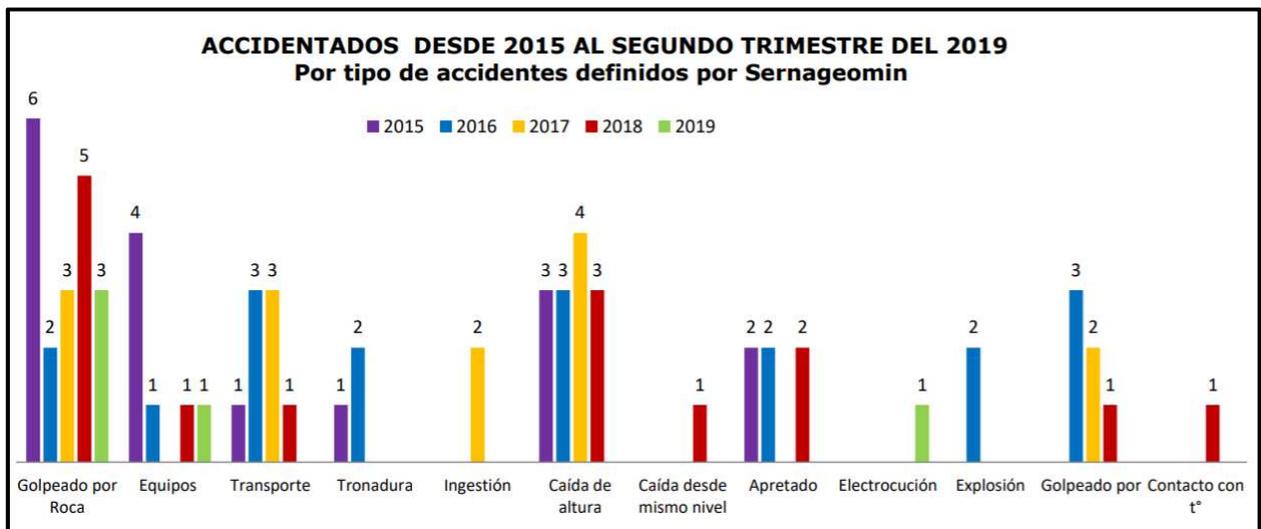


Gráfico 6: Accidentes en Operaciones Mineras, por tipo de evento (Fuente Sernageomin)

Como se observa en el gráfico anterior, desde el año 2015 al 2019 la suma de accidentes por concepto de transporte es de 8 eventos, todos de alto potencial por la energía involucrada en cada uno de ellos, por lo tanto, disminuir el nivel de exposición contribuye a evitar accidentes de equipos móviles

Medio Ambiente: La ventaja que se obtiene en esta materia, al disminuir en 1,69 el número de camiones del total de las flotas, es un menor consumo de combustible, en este caso 2.084.696 litros de diésel durante el año como se indican en las siguientes tablas:

Flota	Nº CAEX	Horas Nomi por CAEX(hrs)	Dispo. Física (%)	Utili (%)	Horas Caex	Consumo por Hora	Consumo Combustible
797F	24	8.760	83%	74%	129.129	240	30.991.058
797B	10	8.760	83%	73%	53.077	225	11.942.289
930E	13	8.760	85%	72%	69.695	216	15.054.025
Total					251.901		57.987.372

Tabla 13: Budget Consumo de Combustible en CAEX 797B, 797F y 930

Flota	Nº CAEX	Horas Nomi por CAEX(hrs)	Dispo. Física (%)	Utili (%)	Horas Caex	Consumo por Hora	Consumo Combustible
797F	23,14	8.760	83%	74%	124.502	240	29.880.545
797B	9,64	8.760	83%	73%	51.166	225	11.512.367
930E	12,53	8.760	85%	72%	67.175	216	14.509.764
Total					242.843		55.902.676

Tabla 14: Consumo de Combustible en CAEX Implementado Sistema Argus

El menor consumo de 2.084.696 litros de combustible, implica una disminución de emisión de CO2 de 5.211 ton al año*

Opción 2 Utilizar Camiones Como Make UP

El equipo de mantenimiento mina, realiza un gran esfuerzo para mantener disponibles los CAEX, para que operaciones mina cumpla con el movimiento considerado en los diferentes ejercicios del presupuesto, por lo tanto, si aumenta el factor de carga y es posible dejar camiones detenidos, estos pueden ser utilizados como make up, es decir, ante un imprevisto o una mantención planificada larga (por ejemplo un cambio de módulo de potencia) de los camiones que siguen en operación, los camiones make up vuelven a operar para disminuir la brecha de disponibilidad que se genera producto de mantenciones mayores planificadas o imprevistas que se generen.

* Cada litro de combustible implica una generación de 2,5 kg de CO2 (Fuente Universidad del Bio Bio, ISSN Online 0718-8307)

Opción 3 Aumentar Movimiento Total Mina

Disponer de un mayor factor de carga mayor y manteniendo los indicadores de disponibilidad y utilización, se genera mayor capacidad transporte, por lo cual es posible aumentar el movimiento de material, sin embargo, es necesario contar con un equipo adicional de carguío para alimentar los camiones de back up que se generan por la mayor eficiencia en la operación.

Ítem	Flota	N° Nominal de Camiones	Movimiento (kton)
1	797B	10	39.517
2	797F	24	82.439
3	930E	13	30.808
TOTAL		47	152.764

Tabla 15: Aumento Movimiento Mina Utilizando Argus y Regla 10-10-20

En resumen, aumenta el tonelaje de 137.657 kton a 152.764 kton, es decir el movimiento total aumenta en 15 Mton, considerar que en un mes el movimiento de acuerdo con el budget es de 11,5 Mton

Opción 4 Mejorar Selección de Mineral

Esta opción consiste, en aumentar el número de camiones definidos en el plan, para aumentar el tonelaje de mineral de mayor ley que se aporta a las plantas, esto trae como beneficio un aumento del tonelaje y la ley promedio de mineral, lo que implica, una mayor producción de concentrado y cátodos de cobre. En el caso de la compañía donde se realizó el estudio, el aumento de producción es de 4.694 ton Cu, por lo cual, el aumento del EBITDA de 15,139 MUSD

Opción 5 Generar Stock

Esta es una opción que no beneficia en el corto plazo al negocio, ya que es una práctica ineficiente que busca acumular mineral en distintas ubicaciones estratégicas definidos para alimentar las plantas ante un evento no deseado como por ejemplo fallas en las rampas de acceso y salida que disminuyan el tránsito de camiones o cuando por diferentes motivos los puntos de extracción de mineral quedan cautivos, esta práctica aumenta el costo de los procesos de carguío y transporte, pero asegura la alimentación de mineral ante eventos no deseados como los indicados anteriormente. En resumen, si aumentan los stocks que se generen al interior de los rajos, aumentarán los puntos de alimentación de mineral al chancado.

* EBITDA calculado de acuerdo a los resultados financieros 2019, valor promedio 2,72 USD/lb Bolsa de Metales de Londres (BML) y costo de producción después de créditos por subproductos

NOTA: Una práctica habitual de utilización de los stocks se produce cuando los equipos de carguío de mineral se encuentran en mantenimiento, por lo cual la alimentación a las plantas se realiza desde estos puntos estratégicos, normalmente ubicados a distancias menores que ayudan al cumplimiento del plan de aporte de mineral con bajo número de camiones (menor ciclo de acarreo)

8. CONCLUSIÓN

El piloto realizado, producto de un caso de negocio u oportunidad de mejora, se desarrolló en una empresa minera del norte del país, cuya identidad se mantiene con resguardo de privacidad.

Esta compañía durante la generación del presupuesto asume una subutilización de los equipos de transporte, ya que no logra alcanzar el factor de carga definido por los fabricantes de cada una de las flotas de camiones de extracción y el rendimiento de las palas eléctricas, por este motivo, la prueba la realiza en los 47 CAEX que forman parte de las 3 flotas mas importantes de transporte.

Una vez realizado el piloto, es decir, utilizando el sistema Argus, fue posible observar un incremento de 3,6% del factor de carga de cada una de las flotas, por lo cual, se recomienda que esta herramienta se mantenga y que la prueba no quede como un intento que finalmente no se implementó, es muy importante destacar, que durante el periodo analizado, los valores máximos recomendados por los fabricantes no fueron alcanzados, por lo tanto, el equipo de mejores prácticas debe continuar con entrenamiento a los operadores y así lograr el máximo potencial, logrando obtener una operación de clase mundial, donde los indicadores de desempeño sean el reflejo de una utilización global del activo (OEE) óptima.

Contar con mayor capacidad de transporte producto de la incorporación del sistema Argus genera diferentes alternativas que impactan positivamente los resultados globales del negocio, ya que es posible disminuir 1,69 camiones, por lo tanto, el gasto operacional (OPEX) se reduce en 5,23 MUSD, desde el punto de vista de seguridad, el nivel de exposición se baja un 2,3% el medio ambiente también se ve beneficiado, ya que, el CO2 disminuye en 5.211 ton/año. Por último, destacar la reducción del gasto de inversión (CAPEX) para la compra de CAEX en los próximos proyectos de expansión

La otra mirada de negocio es mantener los 47 camiones operativos con la finalidad de generar resultados de producción mayores a los considerados en el presupuesto, es decir, si se mantienen los 47 camiones nominales, es posible aumentar en 15 Mton el movimiento mina, además se puede mejorar la selección de mineral lo que implica un aumento de la ley y tonelaje de alimentación de las plantas, en este caso, este beneficio podría implicar 4.694 ton Cu fino de mayor producción, lo que se traduce en un aumento en el EBITDA 15,139 MUSD. Otro beneficio es adelantar la extracción de las fases de estéril para acelerar la exposición de minerales futuros.

En general implementar la herramienta genera beneficios a la organización que contribuyen al desempeño en seguridad, medio ambiente y financiero, indicadores fundamentales en la administración global del negocio que conllevan a prolongar el desarrollo sustentable de la compañía

9. BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Chilena de Productividad. Informe de productividad en la gran minería del web: <https://www.comisiondeproductividad.cl/>
- Contreras, Eduardo y Diez, Christian . (2015). Diseño y evaluación de proyectos. Un enfoque integrado. 2020, de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Sitio web: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136613>
- Haultrax. (2017). Aumento de Productividad Minera. 2020, de SIMIN Sitio web: <http://www.simin.cl/wp-content/uploads/2017/05/Programa-Preliminar-SIMIN-2017-Actualizado-13-de-agosto-2017.pdf> Simposio Ingeniería en Mina 2017
- Jeff Flores Ferrer. (Sin información). Eficiencia Global de Activos. 2020, de Sin información Sitio web: <https://es.slideshare.net/JeffFloresFerrer/185754707-eficienciaglobaldelosequipos>
- Carlos Casilimas / Roberth Poveda. (2012). Implementación Indicadores de Productividad . 2020, de Universidad Tecnológica Francisco José de Caldas Sitio web: <http://udistrital.edu.co:8080/documents/138588/3157626/IMPLEMENTACION+OEE.pdf>
- Cochilco. (2020). Precio de los Metales. 2020, de Cochilco Sitio web: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>
- Mineware. (2019). La tecnología de productividad de MineWare deja su marca en Chile. 2020, de MCH Sitio web: <https://www.mch.cl/2019/07/01/la-tecnologia-de-productividad-de-mineware-deja-su-marca-en-chile/#>

10. ANEXOS

10.a Seguridad

10.a.1) Matriz de Riesgos

Las criticidades de cada particularidad se identifican con la matriz de criticidad, también conocida con el nombre de probabilidad por consecuencia.

		Probabilidad				
		1	2	3	4	5
Impacto	5	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto
	4	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto
	3	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado	Alto
	2	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
	1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

10.a.2) Matriz Probabilidad Ocurrencia de un Riesgos

Nivel Criticidad	Cualitativo	Cuantitativo
1	Sólo en circunstancias extremas	Una o dos veces cada 50 años
2	No ha sucedido todavía pero podría suceder	Una o dos veces cada 10 años
3	Podría suceder y ha sucedido aquí o en otra Compañía	Una o dos veces al año
4	Podría suceder fácilmente	Una vez al mes o más
5	Pasa a menudo	Una vez a la semana

10.a.3) Matriz de Impacto en Ebitda

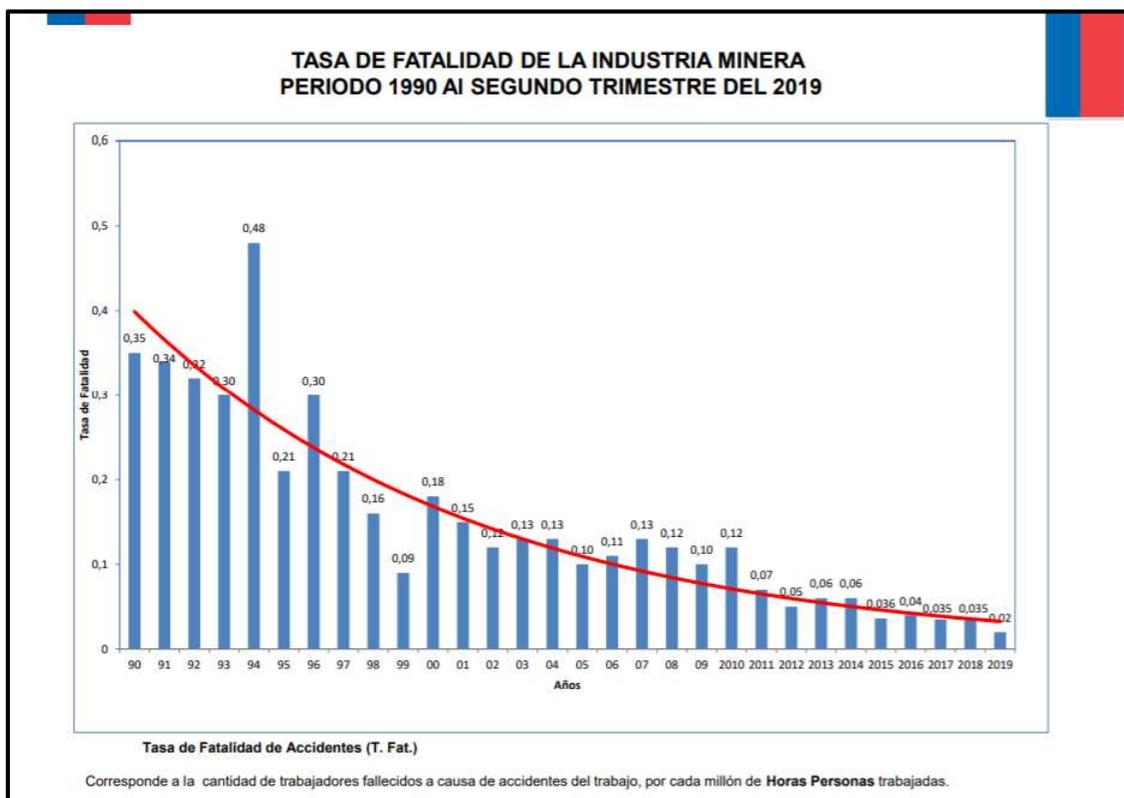
Nivel	Factor de Impacto Económico Sobre EBITDA (Ppto año)	Seguridad	Salud Ocupacional	Medio Ambiente	Políticas y Cumplimiento Legal	Reputación y Entorno Socio-Económico
1	0,15% Insignificante	Accidente menor que no requiere tratamiento médico	Enfermedad ocupacional menor que no requiere tratamiento médico	Daño limitado a un área reducida con baja significancia y fácil de reparar	Transgresiones o incumplimientos que, se estima, no darán lugar a sanciones monetarias.	Impacto menor o sin inconveniencia para la comunidad en el área afectada. Sin cambio socio-económico.
2	0,15% - 3% Menor	Accidente menor que requiere tratamiento médico (STP)	Enfermedad ocupacional que requiere tratamiento médico o asistencia de un especialista (STP)	Daño ambiental menor, localizado y reversible.	Transgresiones o incumplimientos que se espera tengan una sanción o resultado adverso inferior a un 0,15% del EBITDA.	Molestia pública en la comunidad afectada. Cambio socio-económico menor.
3	3% - 10% Moderado	Accidente que requiere tratamiento médico (CTP) Accidente que cause incapacidad temporal Accidente que cause incapacidad permanente menor a un 40%	Enfermedad ocupacional que requiera tratamiento médico o asistencia de un especialista (CTP) Enfermedad ocupacional que cause incapacidad temporal Enfermedad ocupacional que cause incapacidad permanente menor a un 40%	Daño moderado, de efecto de corto plazo y reversible.	Transgresiones o incumplimientos que razonablemente puedan llevar a una formalización penal o se espera tengan una sanción o resultado adverso entre un 0,15%-3% del EBITDA.	Atención mediática local limitada y/o molestia pública en la comunidad afectada. Cambio socio-económico limitado.
4	10% - 100% Mayor	Accidente que causa una incapacidad permanente mayor al 40% o una fatalidad	Enfermedad ocupacional que cause una incapacidad permanente, mayor a un 40% o una fatalidad	Daños ambientales serios con efectos en el mediano plazo, extenso y reversible.	Transgresiones o incumplimientos a normas de la ley 20.393, Anticorrupt Act o similar, que razonablemente puedan llevar a una condena penal o se espera tengan una sanción o resultado adverso superior a un 3% del EBITDA.	Títulos de alcance nacional. Impacto serio a la relación con las comunidades. Atención de ONG's de alto nivel. Cambio socio-económico significativo.
5	>100% Catastrófico	Accidente que cause fatalidades múltiples.	Enfermedad ocupacional que cause una incapacidad total o la muerte a más de un trabajador	Daño ambiental grave al ecosistema con impacto a largo plazo, extenso e irreversible.	Transgresiones o incumplimientos que razonablemente puedan llevar a una suspensión, revocación o pérdida de los permisos para operar.	Títulos de alcance internacional, relación con las comunidades interrumpidas. Atención de ONG's de nivel significativo. Cambio socio-económico masivo.

Riesgo Alto: Se requieren acciones para hacerlo aceptable, es decir, incorporar controles que ayuden a evitar o reducir el riesgo actual tanto sea posible. Deben ser presentados al directorio una vez al año.

Riesgo Moderado: Los esfuerzos deben estar orientados a reducir o transferir los riesgos sin que el aumento de los costos sea desproporcionado en relación con los beneficios que se lograrán.

Riesgo Bajo: Estos niveles de riesgos deben ser monitoreados de forma sistemática, no se requieren medidas adicionales a las ya establecidas para mitigar el riesgo

10.a.4) Tasa de Fatalidad de la Industria Minera (Sernageomin, 2019)



10.b) Benchmark

Estudio de benchmark Encare Semestre 1

CAMIONES 300 t														
Indicador	Gráfico	Unidad	X4	X14	X14	X15	X15	X15	X18	X18	X18	X18	X18	Promedio
Modelo			930E	930E	LIBT 282	795	930E	960E	797B	797B-Finning	797F-Finning	930E	960E	-
N° de Equipos		N*	53	s/i	s/i	11	51	2	35	50	18	4	42	29
Edad Promedio	24	h	50,540	s/i	s/i	21,640	45,087	24,717	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	31,241
Disponibilidad	23	%	85,94	s/i	s/i	79,74	87,60	86,52	85,78	87,34	87,57	82,91	87,58	86,52
Utilización Operativa Nominal	26	%	69,96	s/i	s/i	65,75	72,45	68,29	46,34	49,14	46,11	40,85	47,92	64,28
Utilización Operativa Disponible	27	%	81,40	s/i	s/i	82,45	82,70	78,93	54,02	56,27	52,66	49,27	54,71	74,29
Rendimiento Operativo	25	t/h	455,77	s/i	s/i	349,15	317,37	345,30	398,43	405,14	459,49	410,71	365,06	410,60
MTBF		h	77,94	s/i	s/i	37,00	49,13	36,29	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	50,61
MTTR		h	5,02	s/i	s/i	5,58	4,32	4,36	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	5,14

CONTINUACIÓN TABLA: CAMIONES 300 t												
Indicador	Gráfico	Unidad	X19	X35	X35	X36	X36	X36	X38	X38	X40	Promedio
Modelo			930E	797F	930E	797B	797F	930E	797A	930E	930E	-
N° de Equipos		N*	92	6	44	10	24	13	4	11	56	29
Edad Promedio	24	h	25,454	4,215	15,087	47,358	30,313	17,585	68,106	2,714	s/i	31,241
Disponibilidad	23	%	87,72	s/i	s/i	83,41	82,60	86,63	83,33	82,20	87,46	86,52
Utilización Operativa Nominal	26	%	76,42	s/i	s/i	62,26	67,21	68,75	43,90	68,84	74,38	64,28
Utilización Operativa Disponible	27	%	87,12	s/i	s/i	74,64	81,37	79,36	52,69	83,75	85,05	74,29
Rendimiento Operativo	25	t/h	364,13	s/i	s/i	469,20	373,29	385,19	809,76	788,07	493,65	410,60
MTBF		h	38,69	40,15	64,15	48,86	65,53	83,38	29,60	45,10	42,09	50,61
MTTR		h	3,16	4,38	3,50	3,97	5,02	4,71	9	7,85	6,01	5,14

n/a: No aplica.
s/i: Sin información.
s/u: Sin unidad.

Estudio de benchmark Encare Semestre 2

CAMIONES 300 t															
Indicador	Gráfico	Unidad	A1	A1	A1	A1	A1	A4	A4	A5	A5	A9	A11	A11	Promedio
Modelo			797B	797B-Finning	797F-Finning	930E	960E	797F	930E	797A	930E	930E	930E	LIBT 282	-
N° de Equipos		N*	35	50	18	3	43	21	9	2	14	55	90	6	31
Edad Promedio	21	h	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	4,641	s/i	s/i	s/i	28,041
Disponibilidad	20	%	81,51	85,52	84,40	84,89	84,29	87,37	86,89	60,74	81,56	86,14	82,17	76,94	84,81
Utilización Operativa Nominal		%	70,66	74,11	70,58	68,49	72,99	77,74	76,16	38,12	70,92	71,87	69,91	65,15	71,83
Utilización Operativa Disponible	23	%	86,69	86,65	83,62	80,68	86,59	88,98	87,65	62,77	86,96	83,43	85,08	84,68	84,69
Rendimiento Operativo	22	t/h	535,67	541,55	476,82	506,05	358,01	538,20	405,73	617,77	747,76	403,82	437,74	696,19	443,55
MTBF		h	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	46,28	69,30	18,19	43,72	83,75	37,88	25,59	47,05
MTTR		h	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	3,47	6,94	21,00	5,31	4,82	6,08	5,89	6,04

CONTINUACIÓN TABLA: CAMIONES 300 t													
Indicador	Gráfico	Unidad	A14	A24	A24	A24	A29	A31	A31	A35	A35	A35	Promedio
Modelo			930E	795	930E	960E	930E	797F	930E	797B	797F	930E	-
N° de Equipos		N*	58	11	56	2	92	8	44	s/i	24	13	31
Edad Promedio	21	h	25,580	24,068	46,366	26,873	28,688	7,553	18,825	s/i	s/i	s/i	28,041
Disponibilidad	20	%	86,64	76,20	88,11	69,21	88,62	s/i	s/i	80,52	80,59	83,70	84,81
Utilización Operativa Nominal		%	73,78	63,90	70,63	50,51	74,42	s/i	s/i	66,98	68,62	70,17	71,83
Utilización Operativa Disponible	23	%	85,16	83,85	80,16	72,99	83,97	s/i	s/i	83,18	85,15	83,83	84,69
Rendimiento Operativo	22	t/h	509,80	363,76	323,14	354,66	370,30	s/i	s/i	462,72	452,52	352,84	443,55
MTBF		h	37,88	36,35	56,66	38,49	35,94	34,54	66,09	43,27	52,55	73,44	47,05
MTTR		h	3,95	7,50	4,50	16,14	2,47	4,14	3,67	4,97	4,67	5,18	6,04

10.c) Sistema Argus

Distribución de cargas en camiones de extracción

